



عنوان مقالات

اثر تاریخ کشت و تراکم بونه بر ویژگی‌های رشدی و اجزای عملکرد گوار (*Cyamopsis tetragoloba* L.) در منطقه بیرجند ۱۸۳
عباس نخعی و رضا برادران

اثر ترکیب‌های کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد سه گونه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) ۲۰۳
پگاه نقی‌پور دهکردی، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و سرور خرم دل

عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و تبدلات گازی ارقام جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) تحت کاربرد منابع مختلف کودی در شرایط دیم ۲۲۱
رحیم ناصری

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول ۲۴۲
زهرا دیلم، حسین کاظمی، مارال نیازمرادی و جاوید قرخلو

ارزیابی تأثیر تاریخ کشت، فاصله ردیف و تراکم بذر بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی و فنولوژیک ماشک گل سفید (*Vicia panonica*) در شرایط دیم ۲۶۷
اکبر شعبانی و ابوذر اسدی

تأثیر کاربرد ترکیبات آلی بر بهبود رنگدانه‌ها، صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) ۲۸۳
رضا صباغیان، مهدی برادران فیروزآبادی، مصطفی حیدری، فرزانه بهادری و صفیه عرب

تجمع و انتقال مواد پرورده در تریپیکاله (X *Triticosecale* Wittmack) کشت مخلوط شده با نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر کاربرد کود زیستی-آلی و کم‌آبیاری ۳۰۵
آینا رشیدی پور، وحید براتی و مهدی نجفی قهری

تأثیر کلات آهن و اسید هیومیک بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط دیم ۳۲۵
آیدین توبه، سلیم فرزانه، احمد توبه و صابر سیف امیری

بررسی اثر مالچ آلی بر مهار علف‌های هرز و کیفیت محصول در کشت مخلوط استویا (*Stevia rebaudiana*) و گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) ۳۴۳
محمد رئیس‌زاده، علیرضا ابدالی مشهدی، محمدحسین قرینه، غلامرضا گودرزی و امین لطفی جلال آبادی

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

دانشگاه فردوسی مشهد

با شماره پروانه ۸۹/۲۲۵۱۵ مورخه ۸۹/۹/۲۸ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی

درجه علمی پژوهشی شماره ۸۹/۳/۱۱/۵۲۴۷۹ مورخه ۸۹/۹/۸ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

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

تابستان ۱۴۰۴

شماره ۲

جلد ۱۷

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر بهنام کامکار، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

مدیر داخلی: دکتر سرور خرم دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا)

دکتر امیربهزاد بذرگر، دانشگاه گوتلف، کانادا

دکتر مرتضی برمکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

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

دکتر همت اله پیردشتی، استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دکتر امیرحجاریپور، پژوهشگر، دانشگاه جولیوس کوهن، آلمان

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

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

دکتر مهدی راستگو، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد، دانشگاه نیو مکزیکو، ایالات متحده آمریکا

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

دکتر امید عبدی، گروه علوم جنگل، دانشگاه هلسینکی، فنلاند

دکتر فرشید قادری فر، استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دکتر منصور قربانپور، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

دکتر بهنام کامکار، استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمدرضا مرادی تلاوت، استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

دکتر احمد مصدق منشادی، دانشیار، گروه علوم زراعی، دانشگاه منابع طبیعی و علوم زیستی، وین

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

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

پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴

آدرس سایت: <https://agry.um.ac.ir>

پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

DOAJ, CABI, Google Scholar, AGRIS, Internet Archive, Ebsco, Europub
پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC)، بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

مقالات این شماره در سایت <https://agry.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۱۸۳ اثر تاریخ کشت و تراکم بوته بر ویژگی‌های رشدی و اجزای عملکرد گوار (*Cyamopsis tetragoloba* L.) در منطقه بیرجند
عباس نخعی و رضا برادران
- ۲۰۳ اثر ترکیب‌های کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد سه گونه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)
پگاه نقی‌پور دهکردی، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و سرور خرم دل
- ۲۲۱ عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و تبادلات گازی ارقام جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) تحت کاربرد منابع مختلف کودی در شرایط دیم
رحیم ناصری
- ۲۴۲ ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.)
(L. بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول)
زهرا دیلم، حسین کاظمی، مارال نیازمادی و جاوید قرخلو
- ۲۶۷ ارزیابی تأثیر تاریخ کشت، فاصله ردیف و تراکم بذر بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی و فنولوژیک ماشک گل سفید (*Vicia panonica*) در شرایط دیم
اکبر شعبانی و ابوذر اسدی
- ۲۸۳ تأثیر کاربرد ترکیبات آلی بر بهبود رنگدانه‌ها، صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*)
رضا صباغیان، مهدی برادران فیروزآبادی، مصطفی حیدری، فرزانه بهادری و صفیه عرب
- ۳۰۵ تجمع و انتقال مواد پرورده در تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) کشت مخلوط شده با نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر کاربرد کود زیستی-آلی و کم‌آبیاری
آیدا رشیدی پور، وحید براتی و مهدی نجفی قیری
- ۳۲۵ تأثیر کلات آهن و اسید هیومیک بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط دیم
آیدین توبه، سلیم فرزانه، احمد توبه و صابر سیف امیری
- ۳۴۳ بررسی اثر مالچ آلی بر مهار علف‌های هرز و کیفیت محصول در کشت مخلوط استویا (*Stevia rebaudiana*) و گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*)
محمد رئیس زاده، علیرضا ابدالی مشهدی، محمدحسین قرینه، غلامرضا گودرزی و امین لطفی جلال آبادی

Effect of Planting Date and Plant Density on Growth Characteristics and Yield Components of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Birjand Region

Abbas Nakhaei¹ and Reza Baradaran^{ib 2*}

1 and 2- M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran, respectively.

(* - Corresponding author's Email: baradaran@iaubir.ac.ir)

Received: 21-07-2022
Revised: 20-10-2022
Accepted: 06-11-2022
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:

Nakhaei, A., & Baradaran, R. (2025). Effect of planting date and plant density on growth characteristics and yield components of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Birjand region. *Journal of Agroecology*, 17(2), 181-200. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/agry.2022.77801.1120>

Introduction

The growing global population, coupled with the scarcity and limitations of food resources, has prompted researchers and agricultural professionals to seek more effective solutions for feeding millions of people, particularly in developing countries. Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) is an annual legume known for its tolerance to salinity and drought, making it a promising alternative crop for low-water plains. Determining the appropriate planting date and optimal plant density are crucial factors that contribute to the efficient use of environmental resources and achieving high yields.

Materials and Methods

This experiment was performed in the form of split plots based on a randomized complete block design with three replications in 1398 in Mohammadih Agricultural Research Station, Birjand. Experimental factors include planting date in four levels (May 10, June 10, June 25 and July 10) as main plots and plant density in three levels (distances of 10, 20 and 30 cm between plants in a row) as plots. Guar cultivar was a Pakistani mass that was prepared from Pakan Bazar Isfahan Company. For planting, the land was ploughed after preparation so that each plot consists of 4 ridges 60 cm wide and 3 m long, and on each row of two rows was planted manually at a depth of five centimeters, and irrigation was carried out immediately. After reaching the final height of Guar plant and physiological maturity before final harvest, taking into account the marginal effect of five plants from each plot, they were randomly selected and the characteristics of plant height, number of sub-branches per plant, pod length, number of pods per plant, number pods per plant, 1000-seed weight, initial plant weight, plant weight without pods and pod weight were measured. The number of pods per square meter, plant yield, and biological yield were calculated after removing the marginal effects based on plants harvested from one square meter in the middle of each plot. Data were analyzed using SAS software (V9.1) and comparisons of means were performed by Duncan method at 5% level and graphs were drawn with Excel.

Results and Discussion

One of the most important fields of research on legumes is the study of different environmental conditions



©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.2022.77801.1120>

affecting their quantitative (biological) yield and economic performance. Therefore, studying and obtaining the best growing environment conditions that can lead to crop production with the highest economic yield is one of the most important goals in research related to the cultivation of legumes. The results of the present study showed that seed yield and its components were affected by planting date and with delay in planting, the amount of studied traits was significantly reduced, so that this decrease was more in the planting date of 10 July because the planting date late exposure of guava plants to adverse conditions such as lower temperature, more humidity and less day length at the end of the growing season and causes a decrease in grain yield. Also, in this experiment, planting density levels on the studied traits were significant, and according to the results of the experiment, it can be stated that with increasing plant density, the distribution of sources such as light, nutrients, and moisture between plants was more favorable. It led to an increase in grain yield and biological yield per unit area, so that the highest grain yield and biological yield were obtained at the highest density (10 cm distance between plants per row). Therefore, planting at higher plant densities will probably be economically justified.

Conclusions

Based on this research, it can be concluded that planting guar in early June with a spacing of 10 cm between plants yields the highest productivity and optimal crop components.

Keywords: Legumes, Biological yield, Grain yield, Planting time, Plant spacing

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۱۸۱-۲۰۰

اثر تاریخ کشت و تراکم بوته بر ویژگی‌های رشدی و اجزای عملکرد گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) در منطقه بیرجند

عباس نخعی^۱ و رضا برادران^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

چکیده

به منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر گیاه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی محمدیه بیرجند انجام شد. عوامل آزمایش شامل تاریخ کاشت در چهار سطح (۱۰ اردیبهشت، ۱۰ خرداد، ۲۵ خرداد و ۱۰ تیر) به عنوان کرت‌های اصلی و تراکم در سه سطح (تعداد ۱۱، ۱۷ و ۳۳ بوته در مترمربع) به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بوته بر روی صفت تعداد غلاف در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار و بر روی سایر صفات اثرات معنی‌داری نداشتند. بیشترین تعداد غلاف در بوته از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و تراکم ۱۱ بوته در مترمربع با افزایش ۲۴۹/۶ درصدی نسبت به کمترین تعداد غلاف در بوته از تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت ماه در تراکم مشابه حاصل گردید. اثرات اصلی تاریخ کاشت و تراکم بوته بر روی کلیه صفات به ترتیب به جز تعداد شاخه فرعی در بوته و طول غلاف و نیز تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود. بیشترین میزان صفات رشدی و عملکردی از تراکم ۳۳ بوته در مترمربع و از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه به دست آمد. به طوری که عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه از افزایش ۷۹/۳ درصدی نسبت به تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه برخوردار بود و این کاهش عملکرد می‌تواند به دلیل برخورد گیاه با دمای نامناسب آخر فصل باشد. با توجه به نتایج آزمایش، می‌توان بیان کرد که افزایش تراکم گیاهی منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح گردید، بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که بر اساس شرایط و نتایج این آزمایش، اگر گوار در اوایل خرداد ماه و با تراکم ۳۴ بوته در مترمربع کشت گردد، افزایش عملکرد و اجزای آن دور از انتظار نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: بقولات، زمان کاشت، عملکرد دانه، فواصل بوته

مقدمه

سیر صعودی افزایش جمعیت در جهان از یک سو و کمبود و محدودیت منابع غذایی از سوی دیگر، محققین و دست‌اندرکاران بخش کشاورزی جهان را بر آن داشته تا به فکر دستیابی به راه‌حل -

های مناسب‌تر و مؤثرتر برای تأمین غذای میلیون‌ها انسان به‌ویژه در کشورهای جهان سوم باشند (Dan & Wong, 2016). گوار با نام علمی *Cyamopsis tetragonoloba* L.، گیاهی یک ساله از خانواده بقولات است که با توجه به متحمل بودن به شرایط شوری و خشکی می‌توان از این گیاه به عنوان یک محصول جایگزین با پتانسیل بالقوه در دشت‌های کم‌آب استفاده کرد (Chiofalo et al., 2018). تأثیر عوامل محیطی بر مراحل فنولوژیکی گیاه باعث می‌شود که تاریخ کاشت از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی در یک منطقه بین ژنوتیپ -

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: r.baradaran@yahoo.com)

های یک گیاه متفاوت باشد و هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن زمان کاشت مطلوب یک گیاه است، به طوری که مجموعه عوامل محیطی در آن زمان برای سبز شدن، استقرار و بقای گیاهچه و ادامه رشد و نمو گیاه مناسب باشد و گیاه با شرایط نامساعد محیطی مواجه نشود (Khajepoor, 2009).

آزمایشی به منظور تعیین بهترین تاریخ کاشت در هندوستان با آب و هوای مرطوب گرمسیری، بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام مختلف گوار مربوط به تاریخ کاشت هفته دوم و سوم تیر ماه بود (Lakshmi Kalyani, 2012). در تحقیقی دیگر، اثر تاریخ‌های مختلف کاشت بر گیاه گوار در شرایط آب و هوایی ایلام گزارش شد که عملکرد دانه گوار در تاریخ کاشت ۸ مرداد ماه بیشتر از تاریخ کاشت ۲۴ تیر ماه بود (Meftahizade et al., 2017). گزارش شده که مدیریت تاریخ کاشت برای انطباق حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تابش در طول فصل رشد اهمیت زیادی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی دارد (Scott & Jaggard, 2006).

تراکم گیاهی از جمله عواملی است که بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه اثر دارد (Nandini et al., 2017). همچنین تعیین تراکم بوته نیز اهمیت فراوانی در عملکرد گیاه گوار دارد، زیرا تراکم بوته بر تعداد شاخه‌های جانبی و در نتیجه، بر تعداد غلاف در بوته تأثیر دارد. در تحقیقی نشان داده شد که رقابت درون گونه‌ای در تراکم‌های بالا و عدم استفاده مناسب از عوامل محیطی مانند نور، فضا، آب و خاک توسط گیاه در تراکم‌های پایین، در نهایت، منجر به کاهش عملکرد می‌شود (Lone et al., 2009). نتایج یک تحقیق نشان داد که کاشت گوار در تراکم‌های بالا باعث رشد بیشتر زیست‌توده شده و ممکن است نتایج مطلوب‌تری به دنبال داشته باشد (Akhtar et al., 2012). افزایش تراکم کاشت ناشی از کاهش فواصل بین و روی ردیف، شاخص سطح برگ کافی برای دریافت نور در طی مرحله پر شدن دانه در گیاه گوار را فراهم کرده و در نتیجه، کارایی مصرف انرژی خورشیدی افزایش می‌یابد و این امر منجر به افزایش عملکرد دانه در واحد سطح می‌گردد. بنابراین، افزایش تعداد بوته در واحد سطح از طریق افزایش تعداد غلاف در مترمربع می‌تواند کاهش تعداد غلاف در بوته را جبران نماید و در نهایت، منجر به افزایش عملکرد کل در هکتار گردد (Deka et al., 2015).

به نقل از مقاله مهدی‌پور افرا و همکاران (Mehdipour Afra et al., 2019)، در صورت تبیین مناسب‌های اکولوژیک و سودمندی-

های متعدد گیاه گوار برای نظام‌های کشاورزی و همچنین، مصارف عمده صنعتی و دارویی فرآورده‌های حاصل از دانه آن همراه با امکان استفاده از شاخصه گیاه به عنوان علوفه و کودسبز (Eldirany et al., 2015) برای متخصصین زراعت، رویکرد بخش تحقیقات پایه برای کشت و بهره‌برداری از این گیاه در بوم‌نظام‌های زراعی کشور افزون خواهد شد. در چند سال اخیر، تقاضای جهانی برای توسعه کشت گوار به طور قابل توجهی زیاد شده و قیمت آن نیز افزایش پیدا کرده است (Ashraf & Foolad, 2005). همچنین با توجه به اهمیت گوار به عنوان محصول خوراکی، صنعتی، علوفه‌ای و دارویی و با توجه به اینکه تاکنون در ایران و به خصوص در خراسان جنوبی، تحقیقات و کشت گسترده این محصول صورت نگرفته است، لذا انجام تحقیقاتی در خصوص واکنش رشد این گیاه در منطقه به فاکتورهای مدیریت به خصوص تاریخ و تراکم کاشت گیاه ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر گیاه گوار به عنوان یک گیاه بقولاتی جایگزین برای شرایط آب و هوایی خراسان جنوبی و سایر مناطق با اقلیم مشابه، برای دستیابی به بالاترین عملکرد و کیفیت دانه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

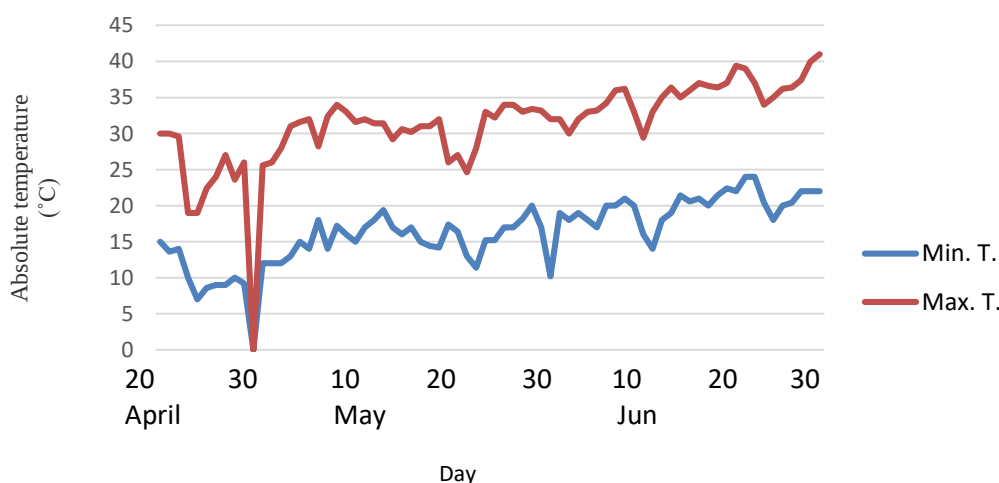
آزمایش در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی محمدیه به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ انجام شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی محمدیه در ۲۰ کیلومتری غرب بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۸۰ متر با متوسط بارندگی بلندمدت ۱۷۰ میلی‌متر و حداکثر دمای ۴۲/۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل ۱۶/۴- درجه سانتی‌گراد واقع شده است (Weatherbase, 2023). تاریخ کاشت در چهار سطح شامل کاشت در تاریخ‌های ۱۰ اردیبهشت، ۱۰ خرداد، ۲۵ خرداد و ۱۰ تیر به عنوان کرت‌های اصلی و تراکم بوته در سه سطح شامل ۱۱، ۱۷ و ۳۳ بوته در مترمربع (به ترتیب شامل فواصل ۳۰، ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر بین بوته‌های روی ردیف و ۳۰ سانتی‌متر فاصله بین ردیف‌ها) به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. رقم مورد بررسی گیاه گوار توده پاکستانی بود که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. بر اساس نتایج آزمون بذر، نمونه بذری دارای قوه نامیه

فیزیکی و شیمیایی انجام گردید (جدول ۱). آمار میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه سال ۱۳۹۸ از ایستگاه هواشناسی محمدشهر دریافت گردید (شکل ۱).

۱۰۰ درصدی داشت. به‌منظور ضد عفونی سطحی بذور از محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت دو دقیقه استفاده شد و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. قبل از تهیه بستر کاشت، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش برای تعیین خصوصیات

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری
Table 1- Physical and chemical properties of farm soil at a depth of 0-30 cm

عمق (cm)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت Texture	چگالی ظاهری Apparent density	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ماده آلی OC (%)	ظرفیت زراعی FC (%)	درصد اشباع SP (%)
0-30	12	38	50	Loam	1.2	12	250	0.03	8.16	5.2	0.29	17	32



شکل ۱- میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه سال ۱۳۹۸ ایستگاه هواشناسی محمدشهر
Fig. 1- Average minimum and maximum daily temperature of Mohammad Shahr weather station in 2018

استقرار بوته‌ها با عمل تنک کردن اعمال گردید. خطوط کاشت با مقدار یکسانی خاک پوشانده شد تا عمق کاشت مناسب ایجاد شود. بعد از اتمام این عملیات، بلافاصله آبیاری انجام گرفت و به‌عنوان تاریخ کاشت ثبت گردید. مراقبت‌های زراعی شامل استفاده از کودهای شیمیایی پرمصرف از جمله نیتروژن و فسفر بر اساس نیاز گیاه و آزمایش خاک صورت گرفت. همچنین، محلول‌پاشی عناصر میکرو یک بار و در طی دوره رشد و نمو گیاه انجام گرفت. وجین علف‌های هرز مزرعه که شامل اویارسلام (*Cyperus rotundus* L.)، پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.)، خرفه (*Portulaca oleracea* L.)، چچم (*Lolium persicum* L.) و خارشر (*Alhagi*

برای کاشت، زمین مورد نظر بعد از آماده‌سازی، کرت‌بندی شد به‌طوری‌که هر کرت شامل چهار پشته به‌عرض ۶۰ سانتی‌متر (عرض کرت ۲/۴ متر) و طول سه متر بود که روی هر پشته دو ردیف کاشت گردید. فاصله بین هر تکرار سه متر در نظر گرفته شد. کاشت بذرها به‌صورت دستی در عمق پنج سانتی‌متری انجام شد. کاشت در تاریخ-های مورد نظر انجام گرفت و ابتدا میزان بذر مورد نیاز جهت دستیابی به تراکم‌های مطلوب با توجه به وزن هزار دانه، درصد خلوص و درصد جوانه‌زنی برای هر خط کاشت محاسبه شد. برای کاشت در کنار هر پشته شیاریایی ایجاد گردید و سپس، بذور به‌صورت پر بر روی ردیف‌ها کاشت گردید. تراکم‌های مختلف بعد از جوانه‌زنی و

(*maurorum* L.) بود، به‌صورت دستی و در طی دوره رویشی انجام گرفت. آفت و بیماری در طول دوره رویشی مشاهده نگردید، بنابراین هیچگونه مبارزه شیمیایی صورت نگرفت. پس از رسیدگی فیزیولوژیک شامل زردی، خشک شدن برگ‌ها و قهوه‌ای شدن غلاف‌ها برداشت از دو ردیف میانی هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای در سطح یک مترمربع انجام شد. اندام رویشی بلافاصله پس از برداشت در مجاورت هوای آزاد به‌طور طبیعی خشک گردیدند و پس از اینکه گیاهان توسط آون الکتریکی خشک شدند، وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن گیاه گوار به ارتفاع نهایی و رسیدگی فیزیولوژیک قبل از برداشت نهایی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، پنج بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، وزن اولیه بوته، وزن بوته بدون غلاف و وزن غلاف اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان اندازه صفات در هر کرت محاسبه گردید. صفات تعداد غلاف در مترمربع، عملکرد بوته و عملکرد بیولوژیک پس از حذف اثرات حاشیه‌ای بر اساس بوته‌های برداشت شده از یک مترمربع وسط هر کرت اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت براساس عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محاسبه شده در هر کرت به‌دست آمد. تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS (V9.1) و مقایسات میانگین‌ها با روش دانکن در سطح پنج درصد و رسم نمودارها با Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت و تراکم بوته بر صفت ارتفاع بوته به‌ترتیب در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) و پنج درصد ($p \leq 0.05$) معنی‌دار گردید. اما اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تاریخ کاشت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تاریخ‌های کاشت مختلف بود، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته از تاریخ کاشت ۲۵ خرداد ماه به‌دست آمد که با تاریخ کاشت ۱۰ خرداد اختلاف آماری معنی‌دار دارا نبود و همچنین، کمترین ارتفاع بوته متعلق به تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه بود که با تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت اختلاف آماری معنی‌دار نداشت (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که هر چند بیشترین و کمترین ارتفاع بوته از تراکم‌های ۱۰ سانتی‌متر و ۳۰ سانتی‌متر فاصله بین

ردیف به‌دست آمد، اما به‌لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین تراکم‌های کاشت مورد مطالعه وجود نداشت (شکل ۳). در بررسی اثر تاریخ کاشت بر روی ارتفاع بوته، شاید علت کاهش ارتفاع بوته در تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت را با توجه به آمار هواشناسی بتوان شوک دمایی ایجاد شده در اردیبهشت ماه بیان کرد که از طریق ایجاد وقفه در رشد رویشی منجر به کاهش رشد ساقه و در نهایت، کاهش ارتفاع بوته شده است (شکل ۱). در ارزیابی اثر تاریخ کاشت (۱۰ و ۲۴ تیر، ۱۰ و ۲۴ مرداد) و فواصل کاشت (۳۰ در ۴۵ سانتی‌متر، ۳۰ در ۶۰ سانتی‌متر و ۴۵ در ۴۵ سانتی‌متر) بر رشد و عملکرد گوار گزارش دادند که در تاریخ کاشت‌های زودهنگام به‌علت رشد رویشی مناسب، ارتفاع بوته‌ها بیشتر بود و با تأخیر در کاشت به‌دلیل اینکه بوته‌ها دارای دوره رویشی کوتاه‌تری هستند، از میزان ارتفاع آن‌ها به‌طور معنی‌داری کاسته شد (Deka et al., 2015). گزارش کردند که بیشترین ارتفاع بوته گوار در تاریخ کاشت ۵ خرداد و تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و کمترین ارتفاع بوته در تاریخ کاشت ۲ تیر و تراکم ۶۰ بوته در مترمربع (۲۵/۲۶ درصد کاهش) به‌دست آمد (Heydarzadeh et al., 2020). در این مطالعه، مشخص شد که گیاهان کاشته شده در ۱۰ خرداد و ۲۵ خرداد، نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت، دارای ارتفاع بالاتری هستند. به نظر می‌رسد، گیاه در این تاریخ کاشت، به‌دلیل شرایط آب و هوایی مطلوب، فرصت کافی برای رشد داشته و افزایش طول ساقه و در نهایت، افزایش ارتفاع گیاه را به دنبال خواهد داشت (شکل ۱ و ۲).

محققین بیان نمودند که با افزایش تراکم گیاهی، ارتفاع گیاه افزایش یافت. این افزایش ارتفاع احتمالاً به‌دلیل بروز رقابت بیشتر بین بوته‌ها در تراکم بوته بالاتر به‌واسطه اعمال فاصله بوته نزدیک‌تر (۱۰ سانتی‌متر) نسبت به فاصله‌های ردیف ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر برای دریافت انرژی خورشیدی می‌باشد، که بدینوسیله گیاه با افزایش فاصله بین میانگره‌ها، سعی در دریافت بیشتر نور خورشید نموده است (Sharifi et al., 2016). نتایج بررسی سه تراکم کاشت (۱۵، ۲۲ و ۳۳ بوته در مترمربع) گوار نشان داد که تراکم ۳۳ بوته در مترمربع باعث افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با سایر تراکم‌ها گردید (Nandini et al., 2017). همچنین، با افزایش تراکم در واحد سطح، به‌دلیل سایه‌اندازی گیاه طول میانگره‌های ساقه زیاد شده و در نتیجه، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد. در ارتباط با این موضوع، بیان شده است که افزایش ارتفاع گیاه در تراکم‌های بالا را می‌توان ناشی از کاهش نفوذ نور در سایه‌انداز، کاهش فتواکسیداسیون اکسین و رقابت شدید

گیاهان برای دریافت نور بیشتر دانست (Al-Ramamneh, 2009).

بیشترین تعداد شاخه در بوته مربوط به تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و کمترین مربوط به تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه بود، ولیکن تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. تاریخ کاشت زودهنگام (۱۰ اردیبهشت) تعداد شاخه فرعی کمتری نسبت به تاریخ کاشت ۱۰ خرداد از خود نشان داد، ولی این اختلاف معنی‌دار نبود.

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که در بین اثرات و تیمارهای مورد مطالعه، تنها اثر تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد بر میزان این صفت معنی‌دار گردید (جدول ۲). در بین تیمارهای تاریخ کاشت،

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گوار تحت تاریخ‌های کاشت و تراکم بوته مختلف

Table 2- Results of analysis of variance of studied guar traits under different planting dates and plant densities

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته Number of pod.plant ¹	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of sub-branches per plant	طول غلاف Pod length	تعداد دانه در غلاف Number of seed.pod ¹	وزن هزار دانه 1000-seed weight	وزن اولیه بوته Plant initial weight
تکرار Replication	2	83.84*	204.34*	0.54 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.25 ^{ns}	3.01 ^{ns}	1048375
تاریخ کاشت Sowing date (S)	3	134.35**	551.78**	0.88 ^{ns}	0.70 ^{ns}	2.43**	65.21*	2458559**
خطای a Error a	6	13.32	27.17	0.67	0.26	0.20	9.46	329016
تراکم Density (D)	2	50.90*	597.52**	4.80**	2.62*	2.53 ^{ns}	77.10**	3740241**
D × S	6	6.74 ^{ns}	174.84*	0.30 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.34 ^{ns}	8.35 ^{ns}	257007 ^{ns}
خطای b Error b	16	10.85	63.64	0.43	0.66	1.20	6.72	302072
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.93	30.08	20.68	14.74	16.68	6.46	32.27

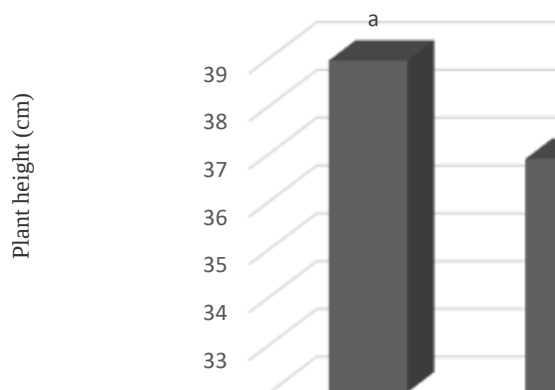
ns, * and **: are non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گوار تحت تاریخ‌های کاشت و تراکم بوته مختلف

Table 3- Results of analysis of variance of studied guar traits under different planting dates and plant densities

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	زیست‌توده Biologica yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن بوته بدون غلاف Plant weight without pods	وزن غلاف Pods weight
تکرار Replication	2	57418.17 ^{ns}	0.1430**	0.0769**	10465.71 ^{ns}	0.0875*
تاریخ کاشت Sowing date (S)	3	204042.34**	0.1331**	0.0629*	104464.31**	0.2233*
خطای a Error a	6	16728.03	0.0053	0.0039	5572.39	0.0209
تراکم Density (D)	2	572853.87**	0.4179**	0.0347 ^{ns}	321088.14**	0.2326**
D × S	6	36201.25 ^{ns}	0.0569 ^{ns}	0.0434 ^{ns}	21345.23 ^{ns}	0.0423 ^{ns}
خطای b Error b	16	9026913	0.0456	0.0323	12574.65	0.0243
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		25.16	10.77	14.99	27.82	6.64

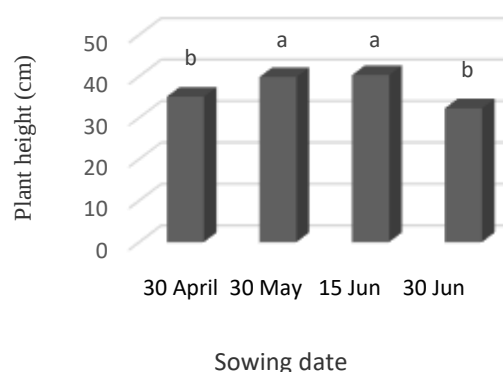
ns, * and **: are non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۳- اثر تراکم بوته بر ارتفاع گیاه گوار

Fig. 3- Effect of plant density on Guar plant height

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level



شکل ۲- اثر تاریخ کاشت بر روی ارتفاع گیاه گوار

Fig. 2- Effect of sowing date on Guar plant height

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

تراکم بوته (افزایش فاصله بین بوته‌ها روی ردیف) از ۳۳ به ۱۱ بوته در مترمربع، طول غلاف به اندازه ۱۷/۶۱ درصد افزایش پیدا کرد. دلیل این امر می‌تواند رقابت گیاهان برای منابع طبیعی رشد نظیر نور خورشید، آب و مواد غذایی باشد.

همچنین، در آزمایش بررسی سه تراکم کاشت (۱۵، ۷/۵ و ۵/۵ بوته در مترمربع) در گوار نشان داد که تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع به‌طور قابل توجهی باعث افزایش طول غلاف در بوته گردید (Siddaraju et al., 2010).

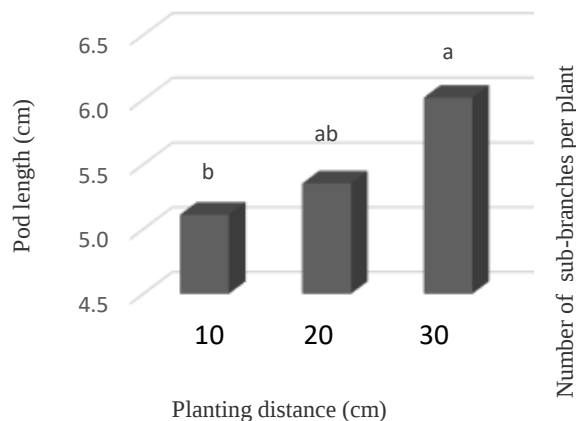
تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته در سطح احتمال پنج درصد ($p \leq 0.05$) بر صفت تعداد غلاف در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت و تراکم‌های بوته مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد، به‌گونه‌ای که بیشترین تعداد غلاف در بوته از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و در فاصله بین بوته ۳۰ سانتی‌متر و کمترین تعداد از تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت و در فاصله بین بوته ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۶).

شاید بتوان علت آن را به تنش دمایی اتفاق افتاده در اردیبهشت ماه نسبت داد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته از فاصله بین بوته ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمد و همچنین، از نظر آماری بین دو تراکم با فواصل ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۴). با کاهش تراکم بوته (افزایش فاصله بین بوته)، به‌دلیل افزایش دسترسی به نور خورشید و کاهش رقابت بین بوته‌ها جهت دستیابی به منابع غذایی، امکان رشد بیشتری برای هر بوته فراهم گردید و در نتیجه، تعداد شاخه فرعی افزایش یافت. نتایج یک پژوهش روی سه سطح تراکم (۶۵، ۸۰ و ۹۵ بوته در مترمربع) کلزا (*Brassica napus* L.) نشان داد که با افزایش تراکم، تعداد شاخه فرعی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین تعداد شاخه فرعی به‌ترتیب در تراکم‌های ۶۵ و ۹۵ بوته در مترمربع به‌دست آمد (Shojaee Ghadicolaei et al., 2011).

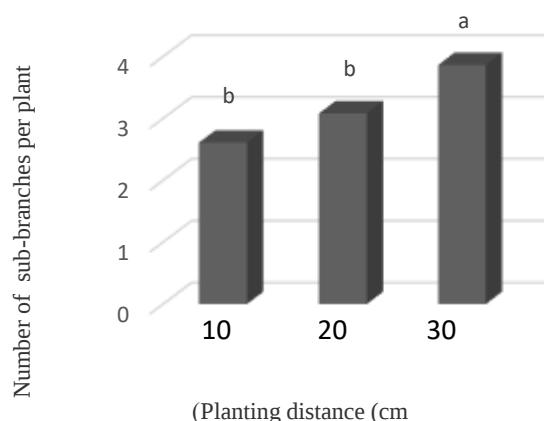
طول غلاف

در بین تیمارهای مورد بررسی، فقط اثر تراکم بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین طول غلاف از فاصله بین بوته ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمد که با فاصله بین بوته ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود (شکل ۵). نتایج نشان داد که با کاهش



شکل ۵- اثر تراکم بوته بر طول غلاف گوار
Fig. 5- Effect of plant density on Guar pod length

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level



شکل ۴- اثر تراکم بوته بر تعداد شاخه فرعی در بوته گوار
Fig. 4- Effect of plant density on Guar number of Sub- branches.plant⁻¹

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

غللاف‌های بیشتری شده باشد، اما در تاریخ کاشت‌های دیرتر مرحله زایشی گیاه به‌مرور با شرایط نامساعد محیطی (روزهای کوتاه و هوای خنک) مصادف شده و احتمالاً فتوسنتز بوته‌ها کمتر از تاریخ کاشت زود هنگام خواهد بود. همچنین، اظهار داشتند که کشت زود هنگام در بقولات پاییزه مانند نخود و باقلا (*Vicia faba* L.)، به‌علت فرار از خشکی آخر فصل و شرایط مساعد رطوبتی در ابتدای فصل می‌باشد که می‌تواند منجر به افزایش تعداد غلاف‌ها و تعداد دانه در بوته گردد. همچنین، در شرایط محدودیت زمان تولید، مواد فتوسنتزی کاهش یافته و در نتیجه، ریزش غلاف‌ها افزایش می‌یابد که سبب کاهش تعداد غلاف در کشت‌های تأخیری می‌گردد (Masoudi Kia & Azizi, 2008).

نتایج آزمایش نشان داد که با کاهش تراکم بوته (افزایش فاصله بین بوته)، تعداد غلاف در بوته برای تمامی تاریخ‌های کشت به‌جز تاریخ کشت ۱۰ اردیبهشت افزایش یافته است. در تاریخ کشت ۱۰ اردیبهشت، تفاوتی معنی‌داری از لحاظ تعداد غلاف در بوته ما بین سطوح تراکم دیده نشد. شاید بتوان محدودیت دسترسی به منابع غذایی در اثر تنش دمایی را علت اصلی این عامل دانست. همچنین، با تأخیر در کاشت به‌علت کاهش طول دوره رشد، تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد که دلیل این امر را می‌توان مواجه شدن مراحل رشد گیاه با حرارت و خشکی آخر فصل بیان کرد و در این شرایط، پوشش سبز و دوام سطح برگ کاهش یافته و در نتیجه، ساخت مواد فتوسنتزی

در تاریخ کاشت زود هنگام، با توجه به مساعد بودن شرایط در دوره رشد زایشی (روزهای بلندتر، گرم و رطوبت کم) می‌توان احتمال داد که فتوسنتز بوته‌های گوار در حداکثر مقدار خود بوده و باعث تولید گل‌ها و غلاف‌های بیشتری شده باشد، اما در تاریخ کاشت‌های دیرتر، مرحله زایشی گیاه به‌مرور با شرایط نامساعد محیطی (روزهای کوتاه و هوای خنک) مصادف شده و احتمالاً فتوسنتز بوته‌ها کمتر از تاریخ کاشت زود هنگام خواهد بود. تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت به‌عنوان تاریخ کاشت زود هنگام می‌بایست بیشترین تعداد غلاف در بوته را شامل می‌شد، ولی به‌علت تغییرات ناگهانی دما و به طبع آن کاهش دوره رویشی و زایشی، کاهش چشمگیر تعداد گل و تعداد غلاف را در پی داشت. کاهش تعداد غلاف در بوته با تأخیر در کاشت نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش شده است و بیان کردند که عامل اصلی افزایش تعداد غلاف در بوته در تاریخ‌های کاشت زود هنگام می‌تواند ناشی از طولانی‌تر شدن دوره رشد رویشی و زایشی و تولید اندام‌های زایشی بیشتر در آن‌ها باشد. همچنین، کاشت زود هنگام با توسعه زودتر و بیشتر سطح برگ موجب جذب بیشتر نور، افزایش فتوسنتز و در نتیجه، فراهم آوردن مواد فتوسنتزی بیشتر جهت تکامل غلاف‌ها می‌گردد (Kebraie et al., 2010). در تاریخ کاشت زود هنگام، با توجه به مساعد بودن شرایط در دوره رشد زایشی (روزهای بلندتر، گرم و رطوبت کم)، می‌توان احتمال داد که فتوسنتز بوته‌های گوار در حداکثر مقدار خود بوده و باعث تولید گل‌ها و

بلکه ریزش گل نیز زیاد شده و در نهایت، تعداد غلاف در هر بوته کاهش می‌یابد.

کاهش پیدا کرده و با کم شدن مواد فتوسنتزی، رقابت درون بوته‌ای افزایش یافته و نه تنها تعداد گل کمتری در هر بوته تشکیل می‌شود،

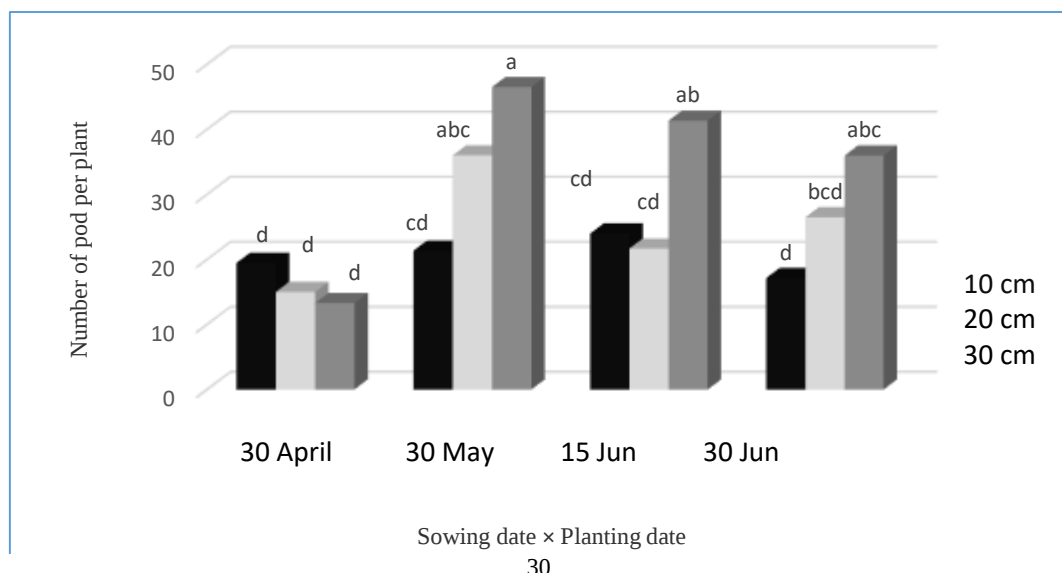


Fig. 6- Interaction of sowing date and plant density on Guar number of pod.plant⁻¹

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

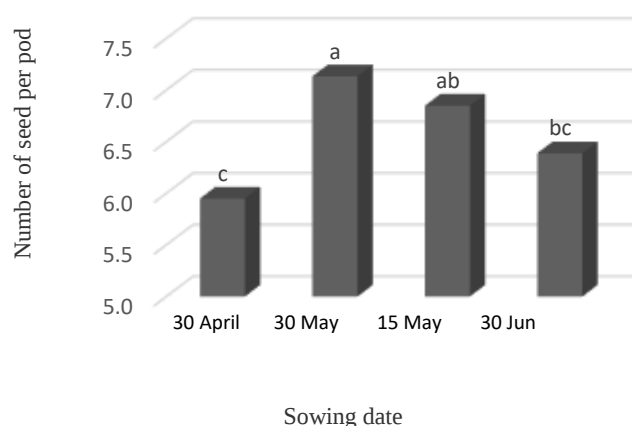
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

۲۰۱۷). محققین بیان نمودند که افزایش تراکم بوته از ۱۳۰ به ۴۰۰ هزار بوته در هکتار باعث کاهش تعداد غلاف در مترمربع شد. واضح است که افزایش تراکم بوته باعث کاهش تعداد غلاف تک بوته‌ها می‌شود، ولی افزایش تراکم بوته می‌تواند کاهش تعداد غلاف تک بوته را جبران کند، اما این در صورتی است که افزایش تراکم بوته بیش از حد مطلوب گیاه نباشد (Mehdipour Afra et al., 2019).

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در غلاف بود. اما اثر تراکم بوته (فواصل بوته روی ردیف) و اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت مختلف تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد و بیشترین تعداد دانه در غلاف از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به‌دست آمد که با تاریخ کاشت ۲۵ خرداد اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود و کمترین تعداد دانه در غلاف از تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت به‌دست آمد (شکل ۷).

همچنین، علت بیشتر بودن تعداد غلاف‌های گوار در تاریخ کاشت‌های مناسب را شرایط آب و هوایی مطلوب در طول دوره رشد می‌توان بیان کرد (شکل ۶). در همین رابطه، ریفاعی (Rifae et al., 2004) در باقلا و شرر (Sharar et al., 2001) در نخود زراعی گزارش کردند که با افزایش تراکم گیاهی تعداد غلاف در بوته کاهش پیدا کرد. همچنین، گزارش کردند که در سه تاریخ کاشت مورد مطالعه، با افزایش تراکم گیاهی، تعداد غلاف در بوته‌های لوبیا قرمز کاهش یافت (Masoudi Kia & Azizi, 2008). نتایج یک تحقیق نشان داد که زیاد بودن تراکم کاشت، موجب کاهش فضای کافی برای رشد و توسعه اندام‌ها و نیز کاهش جذب نور توسط هر بوته و افزایش رقابت بوته‌ها شده و در نتیجه، گیاهان غلاف کمتری تولید می‌کنند. در تراکم‌های پایین بوته به‌دلیل در حداقل بودن میزان رقابت درون گونه‌ای امکان رشد بیشتر ساقه‌های فرعی و به طبع آن غلاف در هر بوته فراهم شده و در نتیجه، بر تعداد غلاف در هر بوته افزوده می‌گردد (Nakhzari Moghadam, 2013). همچنین، در تراکم‌های کمتر محدودیت چندان برای گیاه وجود نداشته و گیاه نور، آب و عناصر غذایی کافی را جذب نموده و در نتیجه، گل‌دهی بیشتر در هر بوته صورت می‌گیرد و تعداد غلاف افزایش می‌یابد (Nandini et al.,



شکل ۷- اثر تاریخ کاشت بر تعداد دانه در غلاف گوار
Fig. 7- Effect of sowing date on Guar number of seed.pod⁻¹

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

(۳۸/۹۸ گرم) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۸). نتایج مقایسه میانگین اثر تراکم بوته نیز نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تراکم‌های مختلف بود، به گونه‌ای که بیشترین (۴۲/۶۵ گرم) و کمترین (۳۷/۵۸ گرم) مقدار وزن هزار دانه به ترتیب از فواصل بین بوته‌ای ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر روی ردیف به دست آمد (شکل ۹).

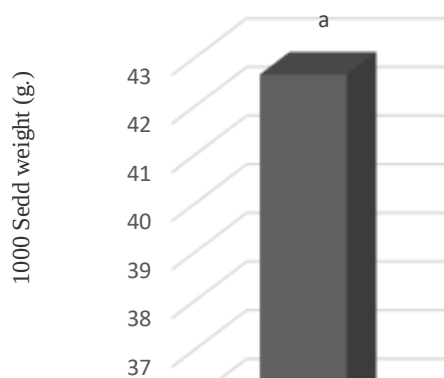
وزن هزار دانه به عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد در گیاه گوار نشان‌دهنده رابطه بین منبع و مخزن حاصل از پدیده فتوسنتز در طول زمان پر شدن غلاف‌ها است. اگرچه شرایط آب و هوایی طی دوره رشد و نمو گیاه بر وزن هزار دانه مؤثر است، اما به طور عمده متأثر از میزان مواد فتوسنتزی، تعداد دانه در غلاف و ظرفیت هر بذر است. از این رو، شاید بتوان یکی از دلایل افزایش وزن هزار دانه در تاریخ‌های کشت ۲۵ خرداد و ۱۰ تیر ماه را کاهش تعداد دانه در غلاف ذکر کرد هر چند این اختلاف معنی‌دار نبود. مطالعات محققین درباره تأثیر تاریخ کاشت بر ارقام مختلف گوار نشان داد که کاشت ارقام گوار در ماه آگوست (مرداد ماه) به ترتیب باعث کاهش معنی‌دار (۳۸، ۳۸/۶، ۳۹/۵ و ۳۲/۶ درصد) وزن هزار دانه در مقایسه با کاشت آن در ماه فوریه (بهمن ماه) شد (Mefthazade et al., 2019). گزارش شده است با تأخیر در کاشت نخود و مصادف شدن مرحله پر شدن دانه با تنش خشکی و دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انتهای فصل رشد، تولید زیست‌توده به ترتیب ۶۶ و ۸۹ درصد نسبت به تاریخ‌های کاشت زودتر کاهش یافت، که این کاهش عملکرد عمدتاً به دلیل کاهش

با توجه به اینکه تراکم بوته تأثیر معنی‌داری بر صفت تعداد دانه در غلاف نداشته است، به نظر می‌رسد که افزایش تعداد دانه در غلاف محدود بوده و بیشتر بستگی به طول غلاف دارد که این صفت تحت تأثیر ساختار ژنتیکی است. صفت تعداد دانه در غلاف با تأخیر در کاشت به جز تاریخ کشت ۱۰ اردیبهشت، از روند کاهشی برخوردار بوده که تا اندازه‌ای وابستگی به صفت طول غلاف را نشان می‌دهد. محققین کاهش تعداد دانه در غلاف را ناشی از تأخیر در کاشت و در نتیجه، رشد ضعیف، دوره کوتاه‌تر پر شدن دانه و رسیدگی، تعداد کم غلاف در بوته گزارش نمودند (Sahile et al., 2008).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار گردید، اما اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تاریخ‌های مختلف بود، به گونه‌ای که بیشترین (۴۳/۶۱ گرم) وزن هزار دانه از تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه به دست آمد که از نظر آماری با تاریخ کاشت ۲۵ خرداد (۴۰/۴۶ گرم) اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود (شکل ۸). همچنین، کمترین (۳۷/۲۷ گرم) میزان وزن هزار دانه متعلق به تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت ماه بود که با تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه

تراکم کاشت (۱۵، ۲۲ و ۳۳ بوته در مترمربع) بر گیاه گوار گزارش شده است که تراکم ۳۳ بوته در مترمربع (تراکم بیشتر) باعث افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با سایر تراکم‌ها گردید (Nandini et al., 2017).



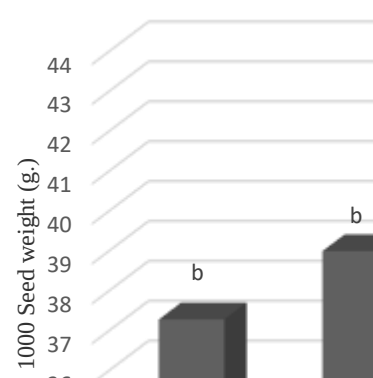
شکل ۹- اثر تراکم بوته بر وزن هزار دانه گوار

Fig. 9- Effect of plant density on Guar 1000-seed weight

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

خرداد ماه علاوه بر برتری به لحاظ حداکثر تولید و زودتر رسیدن آن در مقایسه با کشت زودهنگام اردیبهشت ماه و کاشت‌های تاخیری آخر خرداد و تیر ماه، نرخ رشد تولید اولیه بیشتر است. همچنین، بیشترین وزن اولیه بوته از تراکم بوته بیشتر (فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد، چرا که در این شرایط تعداد بوته‌ها بیشتر و به‌دلیل سایه‌اندازی، رشد رویشی بیشتر شده که منجر به افزایش وزن اولیه بوته نسبت به تراکم‌های کمتر گردید. در ارتباط با افزایش وزن اولیه بوته (عملکرد ماده خشک) در خصوص تراکم بالا، مقدار ماده خشک هر بوته نیز کاهش پیدا کرد، از آنجایی که تعداد شاخه فرعی در هر بوته در تراکم‌های بالا (۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر فاصله بین بوته روی ردیف) کمتر بود؛ انتظار می‌رفت که با افزایش تراکم بوته به‌سبب ایجاد رقابت گیاهی، وزن اولیه کاهش پیدا کند اما در تراکم‌های بالاتر به‌دلیل تعداد بوته بیشتر در واحد سطح مقدار ماده خشک کل افزایش پیدا کرده که منجر به افزایش وزن اولیه (عملکرد اولیه ماده خشک) شده است. هم‌راستا با این نتایج، محققین اظهار داشتند که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، عملکرد بیولوژیکی تک بوته کاهش یافت، ولی عملکرد بیولوژیکی در هکتار نیز افزایش پیدا کرد (Lio et al., 2004).

تعداد غلاف در بوته (۶۰ درصد) و کاهش وزن صد دانه (۳۲ درصد) بود (Mousavi & Pezeshkpur, 2006). همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش فواصل بین بوته‌ها روی ردیف (کاهش تراکم بوته) میزان وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد. در آزمایش بررسی اثر سه



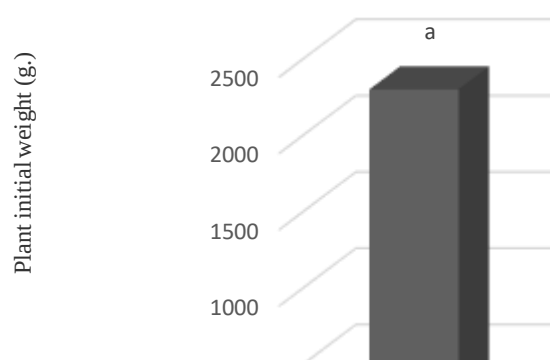
شکل ۸- اثر تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه گوار

Fig. 8- Effect of sowing date on Guar 1000-seed weight

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

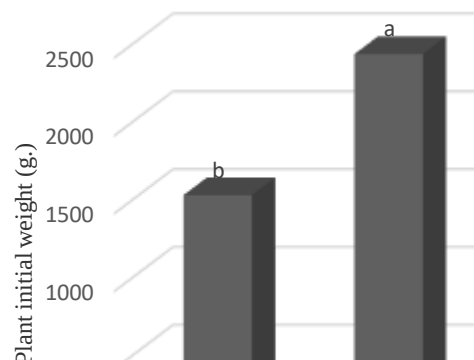
وزن اولیه بوته

وزن اولیه بوته تحت تأثیر اثرات معنی‌دار تاریخ کاشت و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد ($p \leq 0.01$) قرار گرفت، اما اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تاریخ‌های کاشت مختلف بود، به‌طوری‌که بیشترین وزن اولیه بوته (۲۴۳۷/۱) از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه به‌دست آمد که با سایر تاریخ‌های کاشت‌های مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری دارا بود و کمترین (۱۲۰۶/۲) وزن اولیه بوته متعلق به تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه بود (شکل ۱۰). همچنین، نتایج مقایسه میانگین اثر تراکم بوته نیز نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تراکم‌های مختلف مورد بررسی بود و بیشترین (۲۳۰۳/۵ گرم) و کمترین (۱۱۹۹/۵ گرم) وزن اولیه بوته به‌ترتیب از فواصل بین بوته‌ای ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۱۱). نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین وزن اولیه بوته از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه به‌دست آمد. به‌طور کلی، انطباق دوره زمانی بر خورداری گیاه زراعی از شرایط رشدی مساعد از نظر رطوبت و دما تضمین‌کننده دست‌یابی به سطوح بالای تولید است. در کشت



شکل ۱۱- اثر تراکم بوته بر وزن اولیه بوته گوار
Fig. 11- Effect of plant density on Guar plant initial weight

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level



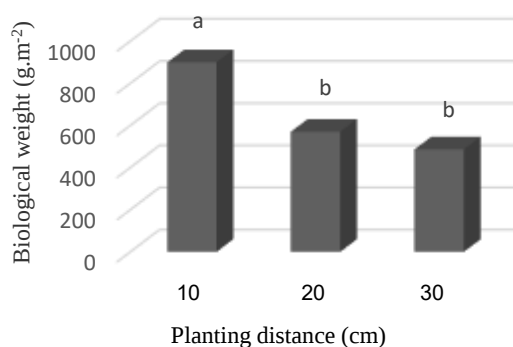
شکل ۱۰- اثر تاریخ کاشت بر وزن اولیه بوته گوار
Fig. 10- Effect of sowing date on Guar plant initial weight

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

زیست‌توده

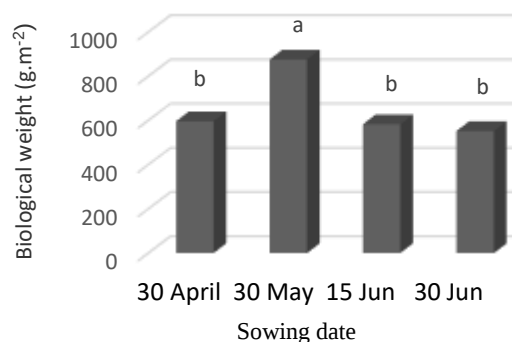
زیست‌توده از تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه به‌دست آمد، اما نتایج نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت ۱۰ اردیبهشت، ۲۵ خرداد و ۱۰ تیر ماه اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۱۲). همچنین بین تراکم‌های مورد بررسی، بیشترین (۸۹۹/۶۱ گرم در متر مربع) و کمترین (۴۸۶/۲۶ گرم در متر مربع) مقدار زیست‌توده به‌ترتیب از فواصل بین بوته‌ای ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمد که در مورد کمترین مقدار زیست‌توده اختلاف آماری معنی‌داری بین ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر فواصل بوته روی ردیف مشاهده نگردید (شکل ۱۳).

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌های مورد مطالعه نشان داد که در بین اثرات مورد مطالعه، اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد بر میزان صفت زیست‌توده معنی‌دار گردید، درحالی‌که اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تاریخ‌های کاشت مورد بررسی بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان زیست‌توده (۸۷۶/۱۴ گرم در متر مربع) از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه به‌دست آمد (شکل ۱۲). هر چند که کمترین مقدار



شکل ۱۳- اثر تراکم بوته بر زیست‌توده گوار
Fig. 13- Effect of plant density on Guar biological yield

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level



شکل ۱۲- اثر تاریخ کاشت بر زیست‌توده گوار
Fig. 12- Effect of sowing date on Guar biological yield

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

عملکرد دانه

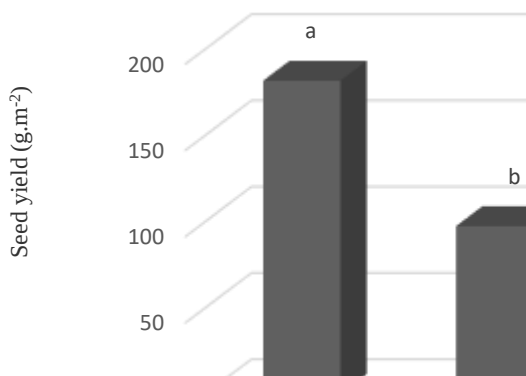
میزان این صفت تحت تأثیر اثرات معنی‌دار تاریخ کاشت و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. اما اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۴۷/۷۹ گرم در مترمربع) از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه به‌دست آمد که با تاریخ کاشت‌های ۲۵ خرداد (۱۲۲/۲) و ۱۰ تیر ماه (۱۱۹/۴۲) اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود (شکل ۱۴). همچنین، نتایج مقایسه میانگین اثر تراکم بوته بر روی عملکرد دانه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تراکم بالا (فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف) با سطوح تراکم کمتر (۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر فاصله روی ردیف) بود، به‌طوری‌که بیشترین (۱۸۱/۶۲) و کمترین (۷۴/۹۷) مقدار عملکرد دانه به‌ترتیب از فواصل بین بوته‌ای ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۱۵). هر چند به‌لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت ۱۰ خرداد، ۲۵ خرداد و ۱۰ تیر وجود نداشت، اما تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه، بیشترین میزان عملکرد دانه را دارا بود. با توجه به اینکه تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و طول دوره رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و طول دوره گل‌دهی و پر شدن دانه ارتباط مثبتی با عملکرد دانه دارند، لذا به نظر می‌رسد که با کاهش فاصله سبز شدن گیاهچه تا گل‌دهی و گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک، گیاه قبل از رسیدن به شاخص سطح برگ مناسب وارد مرحله زایشی شده و در نتیجه، کاهش دریافت انرژی تابشی توسط برگ‌ها باعث کاهش عملکرد در تاریخ کاشت‌های دیر هنگام می‌شود (Khademhamzeh et al., 2004). میانگین دمای هوای مطلوب، روزهای طولانی و رطوبت هوای مناسب باعث تحریک فتوسنتز و در نتیجه، افزایش زیست‌توده و عملکرد دانه گوار در تاریخ کاشت‌های اردیبهشت تا تیر ماه می‌شود (Sudhir et al., 2015). محققین طی یک آزمایش در مکزیک نشان دادند که کشت گوار در اواسط ماه ژوئن (خرداد) بیشترین عملکرد دانه را در مقایسه با کشت در اوایل و اواخر جولای (تیر تا مرداد) داشت (Singla et al., 2016). همچنین، طی یک آزمایش در ایتالیا نشان داده شد که کشت گوار در تاریخ کاشت‌های زودتر باعث افزایش عملکرد دانه شد (Gresta et al., 2013). در تحقیقی در شهر پاربهنی واقع در غرب هند، کاشت گوار در بیست و هشتم ماه می (معادل ۷ خرداد ماه) بیشترین عملکرد دانه را به خود

اختصاص داد (Jagtap et al., 2011). در گزارش دیگری، اثر زمان - های کاشت ۷ می و ۲۶ ژوئن ۲۰۰۳ و ۱۸ می و ۳۰ ژوئن ۲۰۰۴ (معادل ۱۷ اردیبهشت و پنجم تیر ماه در سال ۱۳۸۲ و ۲۸ اردیبهشت و نهم تیر ماه در سال ۱۳۸۳) بر عملکرد دانه و صمغ گالاکتومانان چهار رقم گوار که در ایتالیا مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که عملکرد دانه گوار در کاشت زودهنگام (۲/۳ تن در هکتار) به‌مراتب بیشتر از عملکرد در کاشت تاخیری (۰/۵ تن در هکتار) بود (Gresta et al., 2013). نتایج یک آزمایش در شهر تیروپاتی هندوستان (دارای آب و هوای مرطوب گرمسیری با زمستان‌های معتدل) نشان داد که در زمان‌های مختلف کاشت (هفته اول، دوم، سوم و چهارم جولای، هفته اول، دوم، سوم و چهارم آگوست) (معادل هفته دوم، سوم و چهارم تیر ماه و هفته اول، دوم، سوم و چهارم مرداد ماه و هفته یکم شهریور ماه) بیشترین عملکرد دانه در ارقام مختلف گوار در کشت‌های هفته اول و دوم جولای (معادل هفته دوم و سوم تیرماه) به‌دست آمد (Lakshmi Kalyani et al., 2012).

گزارش‌های سینگ (Singh, 2014) درباره تأثیر تاریخ کاشت بر چهار ژنوتیپ گوار حاکی از آن بود که در کشت‌های تأخیری، بعد از اواسط ماه ژوئن (معادل ۲۵ خرداد) عملکرد دانه کاهش یافت و بیان کردند که با تأخیر در کاشت طول فصل رشد نیز کاهش یافته و در نتیجه، ماده خشک تجمعی در طول فصل کمتر شده و عملکرد دانه کمتری به‌دست می‌آید. در این آزمایش، بیشترین عملکرد دانه از فاصله بین بوته‌ای ۱۰ سانتی‌متر (تراکم بالا) به‌دست آمد. هم‌راستا با این نتایج، (Gresta et al., 2013) گزارش کردند که هر چند با افزایش تراکم بوته عملکرد تک بوته تا حدودی کاهش می‌یابد، اما عملکرد کلی از طریق افزایش تعداد بوته در واحد سطح جبران شده و می‌توان در تراکم‌های بالاتر عملکرد دانه بیشتری را به‌دست آورد، اما اگر تراکم بوته بیشتر از حد مطلوب شود، به‌دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای، عملکرد دانه کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات نشان داد که با افزایش تراکم بوته باقلا از ۸ به ۱۶ بوته در مترمربع، عملکرد دانه ۶۳ درصد افزایش یافت (Sharifi et al., 2016). محققان گزارش کردند که بین عملکرد دانه نخود و تراکم بوته رابطه مثبت و معنی‌داری وجود داشته و دلیل بیشتر بودن عملکرد دانه در تراکم‌های بالاتر را تعداد بیشتر بوته در واحد سطح اعلام کردند (Regan et al., 2003). گزارش گردید، در مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه تحت تأثیر تراکم

عملکرد دانه بود و افزایش عملکرد دانه در واکنش به افزایش تراکم بوته احتمالاً به دلیل استقرار بهتر بوته‌ها و افزایش تعداد بوته در واحد سطح می‌باشد که منجر به تولید غلاف بیشتر در واحد سطح می‌شود و سبب می‌گردد که امکان استفاده بهتر از منابع فراهم گردد (Turk & Tawaha, 2002).

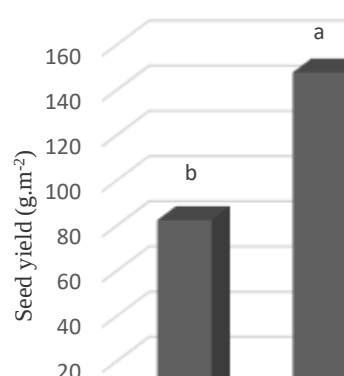
بوته با افزایش تراکم بوته از هشت بوته در مترمربع به ۱۶ بوته در مترمربع بر میزان عملکرد دانه افزوده شد و بالاترین عملکرد دانه در تراکم ۱۶ بوته در مترمربع به دست آمد (Sharifi et al., 2016). در تحقیقی دیگر نیز با اعمال سه تراکم ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع نشان داده شد که تغییرات تراکم کاشت دارای اثرات معنی‌داری بر



شکل ۱۵- اثر تراکم بوته بر عملکرد دانه گوار

Fig. 15- Effect of plant density on Guar plant yield

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level



شکل ۱۴- اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه گوار

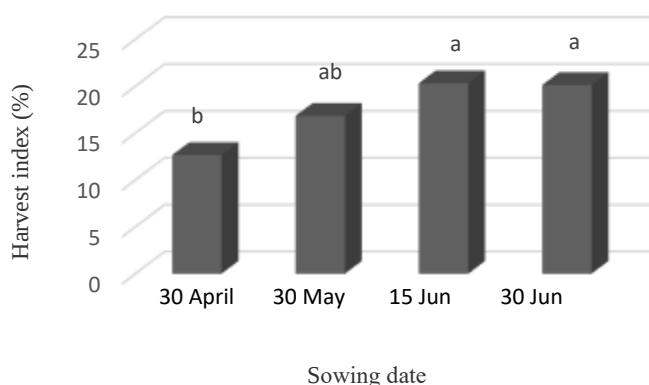
Fig. 14- Effect of sowing date on Guar plant yield

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

نشان داد که در بین تاریخ کاشت‌های مورد بررسی، تاریخ کاشت ۲۵ خرداد ماه بیشترین (۲۰/۳۲) میزان شاخص برداشت را دارا بود که با تاریخ کاشت‌های ۱۰ خرداد (۱۶/۸۴) و ۱۰ تیر ماه (۲۰/۱۳) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و همچنین، کمترین میزان شاخص برداشت (۱۲/۶۷) از تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت ماه به دست آمد (شکل ۱۶).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر اثر معنی‌دار تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد بر میزان صفت شاخص برداشت بود و اثر تراکم بوته و اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تاریخ کاشت



شکل ۱۶- اثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت گوار

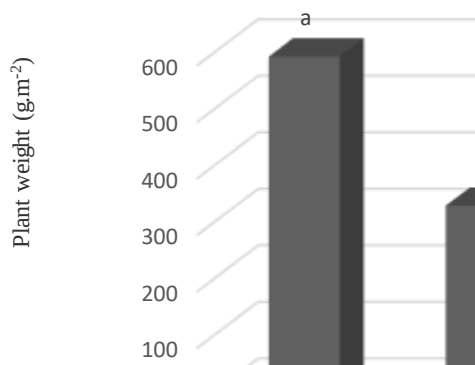
Fig. 16- Effect of sowing date on Guar harvest index

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

که با تأخیر در کاشت گوار، فصل رشد گیاه به‌خصوص مرحله زایشی کاهش یافته و در نهایت، باعث کاهش تعداد گل و غلاف در بوته شده و به تبعیت از آن عملکرد دانه و شاخص برداشت نیز کاهش می‌یابد.

وزن بوته بدون غلاف

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تاریخ کاشت و تراکم بوته در سطح احتمال یک درصد بر میزان صفت وزن بوته بدون احتساب غلاف بود. اما اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تاریخ کاشت-های مورد بررسی می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین (۵۴۰/۵۷) و کمترین (۲۹۰/۲۶) میزان این صفت به‌ترتیب از تاریخ‌های کاشت ۱۰ خرداد و ۱۰ تیر ماه به‌دست آمد (شکل ۱۷). همچنین، در بین تراکم-های مورد بررسی بیشترین و کمترین میزان به‌ترتیب از فواصل بین بوته‌ای ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر به‌دست آمد، هر چند که بین فواصل ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱۸).



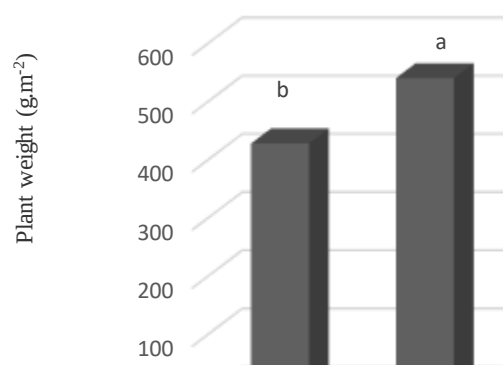
شکل ۱۸- اثر تراکم بوته بر وزن بوته بدون غلاف گوار

Fig. 18- Effect of plant density on Guar plant weight without pods

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

نمونه‌ای را دارا بوده و منجر به افزایش عملکرد ماده خشک اندام-های هوایی (بدون غلاف) شده است. هم‌راستا با نتایج مذکور گزارش کردند که بیشترین میزان عملکرد ماده خشک در تاریخ کاشت ۲۲ اردیبهشت به‌دست آمد و با تأخیر در کاشت، وزن خشک بوته در کلیه

بیشترین میزان شاخص برداشت در تاریخ کاشت ۲۵ خرداد به-دست آمد که هم‌راستا با نتایج (Mehdipour Afra et al., 2019) بود. همان‌طور که در نتایج عملکرد دانه مشهود می‌باشد، بیشترین عملکرد دانه نیز در تاریخ کاشت‌های ۲۵ و ۱۰ خرداد ماه می‌باشد و بنابراین، دور از انتظار نیست که شاخص برداشت نیز در تاریخ کاشت-های مذکور بالاترین میزان را داشته باشد. همچنین بیان نمودند که در هر دو اکوتیپ گوار، بیشترین شاخص برداشت در تاریخ کاشت اول خرداد مشاهده شد و تاریخ کاشت ۱۵ تیر کمترین مقدار شاخص برداشت را داشت. با تأخیر در کاشت، شاخص برداشت نیز کاهش داشت. کاهش در شاخص برداشت می‌تواند به‌دلیل کوتاه شدن فصل رشد و تأثیر آن بر مرحله زایشی گیاه باشد. همچنین، در این آزمایش هر چند که میزان شاخص برداشت در تاریخ کاشت تیر ماه نیز بالا و قابل رقابت با تاریخ کاشت خرداد ماه بود، اما نتایج بیانگر روند کاهش می‌باشد، چرا که با تأخیر در کاشت، به‌دلیل کوتاه شدن فصل رشد و تأثیر آن بر مرحله زایشی گیاه، میزان عملکرد دانه و شاخص برداشت دستخوش تغییراتی می‌گردد (Mehdipour Afra et al., 2019). در همین راستا، دکا و همکاران (Deka et al., 2015) گزارش کردند



شکل ۱۷- اثر تاریخ کاشت بر وزن بوته بدون غلاف گوار

Fig. 17- Effect of sowing date on Guar plant weight

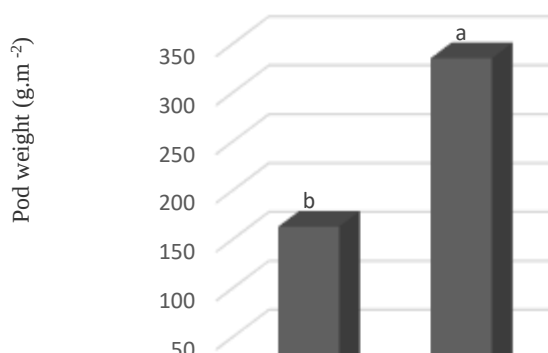
حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

بیشترین میزان وزن بوته از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد ماه به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تاریخ‌های کاشت مورد بررسی دارا بود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد، از آنجایی که در این تاریخ کاشت شرایط محیطی و آب و هوایی برای گیاه ایده‌آل بوده، لذا گیاه رشد و

امکان پذیر می‌گردد، اما با افزایش تراکم و با توجه به افزایش تعداد بوته در واحد سطح مقدار عملکرد بیولوژیکی افزایش می‌یابد. همچنین مجنون حسینی (Majnoun Hosseini, 2008) اظهار داشت که در اکثر محصولات زراعی تحت شرایط مساعد، تولید ماده خشک با افزایش تراکم بوته تا رسیدن به سطح ثابتی، که بالاتر از آن رقابت بین بوته‌ای مانع هر نوع افزایش در تولید می‌شود، افزایش می‌یابد.

وزن غلاف

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد و اثر تراکم گیاهی در سطح احتمال یک درصد بر میزان این صفت معنی‌دار گردید. اما اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن غلاف (۳۳۵/۳۲ گرم) از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به‌دست آمد که با تاریخ کاشت‌های ۲۵ خرداد و ۱۰ تیر ماه اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود و همچنین کمترین وزن غلاف (۱۶۳/۱۲ گرم) متعلق به تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت بود (شکل ۱۹). نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین تراکم‌های مورد بررسی بود، به‌طوری که بیشترین وزن غلاف از بالاترین تراکم (فاصله بین بوته‌ای ۱۰ سانتی‌متر) به‌دست آمد و کمترین مقدار نیز به‌لحاظ عددی متعلق به کمترین تراکم (فاصله بین بوته‌ای ۳۰ سانتی‌متر) بود که با تراکم متوسط (فاصله بین بوته‌ای ۲۰ سانتی‌متر) اختلاف آماری معنی‌داری دارا نبود (شکل ۲۰).

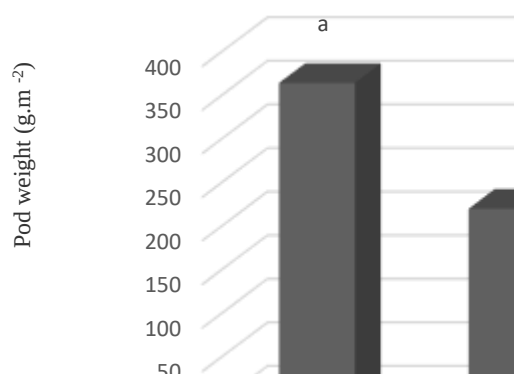


شکل ۲۰- اثر تراکم بوته بر وزن غلاف گوار

Fig. 20- Effect of plant density on Guar pod weight

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

تراکم‌ها کاهش یافت که دلیل آن را کاهش طول فصل رشد دانستند (Nandini et al., 2017). همچنین دکا و همکاران (Deka et al., 2015) بیان کردند که با تأخیر در کاشت به‌دلیل عدم فراهمی شرایط بهینه رشد، گیاه با رکود مواجه شده و همچنین، تعداد انشعابات فرعی در گیاه نیز کاهش پیدا می‌کند که همه این عوامل در نهایت، منجر به کاهش عملکرد بیولوژیکی می‌گردد. همچنین کبرایی و همکاران (Kebraie et al., 2010) گزارش کردند که در تاریخ کاشت‌های به موقع باقلا و نخود به‌علت فرار از خشکی آخر فصل و شرایط مساعد رطوبتی در ابتدای فصل منجر به توسعه زودتر و بیشتر برگ، جذب نور بیشتر شده و منجر به افزایش فتوسنتز می‌گردد که در نهایت، گیاه عملکرد بیولوژیکی بیشتری خواهد داشت. همچنین، در بین تراکم‌های مورد بررسی بیشترین وزن بوته از فاصله بین بوته ۱۰ سانتی‌متر (تراکم بالا) به‌دست آمد که با نتایج زیست‌توده و عملکرد دانه مطابق داشت. در تراکم‌های بالا هر چند که تعداد انشعابات گیاه تا حدودی کاهش می‌یابد، اما تعداد بوته بیشتر جبران این کاهش را می‌کند و لذا، عملکرد بیولوژیک در نهایت، افزایش می‌یابد. همچنین رحمان (Rahman, 1992) اظهار داشت که میزان زیست‌توده کل به‌طور مستقیم با مقدار تابش جذب شده به‌وسیله برگ‌های گیاه در مدت زمان کاشت تا برداشت ارتباط دارد و تغییر در تراکم، ظرفیت تولید ماده خشک را تغییر می‌دهد. همچنین کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 1995) بیان کردند که در تراکم‌های کمتر با وجود فضای کافی به‌منظور توسعه گیاهی و همچنین افزایش سطح تغذیه‌ای هر یک از بوته‌ها، افزایش عملکرد بیولوژیکی در تک بوته



شکل ۱۹- اثر تاریخ کاشت بر وزن غلاف گوار

Fig. 19- Effect of sowing date on Guar pod weight

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد
Dissimilar letters indicate a significant difference at the 5% probability level

(Khademhamzeh et al., 2004). همچنین نتایج نشان داد که در تراکم بالا (فاصله بین بوته ۱۰ سانتی‌متر) وزن غلاف بیشتر از تراکم متوسط (۲۰ سانتی‌متر فاصله بین بوته) و تراکم پایین (۳۰ سانتی‌متر فاصله بین بوته) بود.

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقی در مورد گیاهان خانواده بقولات، بررسی شرایط مختلف محیطی تأثیرگذار بر میزان عملکرد کمی (بیولوژیک) و عملکرد اقتصادی آن‌هاست. بنابراین، بررسی و به‌دست آوردن بهترین شرایط محیط کشت که بتواند منجر به تولید گیاهی با بیشترین عملکرد اقتصادی گردد، از مهم‌ترین اهداف در تحقیقات مربوط به کشت گیاهان خانواده بقولات می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عملکرد دانه و اجزای آن تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفتند و با تأخیر در کاشت از میزان صفات مورد بررسی به‌طور معنی‌داری کاسته شد، به‌طوری‌که این کاهش در تاریخ کاشت ۱۰ تیر ماه بیشتر بود، چرا که تاریخ کاشت‌های دیر هنگام باعث مواجه شدن بوته‌های گوار با شرایط نامطلوب از جمله دمای کمتر، رطوبت بیشتر و طول روز کمتر در انتهای فصل رشد شده و باعث افت عملکرد دانه می‌گردد. همچنین، در این آزمایش سطوح تراکم کاشت بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود و با توجه به نتایج آزمایش می‌توان بیان کرد که با افزایش تراکم گیاهی توزیع منابع نظیر نور، مواد غذایی و رطوبت بین بوته‌ها به‌شکل مطلوب‌تری صورت گرفته که این واکنش منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح گردید، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیک در بالاترین تراکم (۱۰ سانتی‌متر فاصله بین بوته روی ردیف) مورد بررسی به‌دست آمد. از این رو، احتمالاً کاشت در تراکم‌های بالاتر بوته از توجیه اقتصادی برخوردار خواهد بود. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که بر اساس شرایط و نتایج این آزمایش، اگر گوار در اوایل خرداد ماه و با فاصله بین بوته‌ای ۱۰ سانتی‌متر کشت گردد، بیشترین عملکرد و اجزای آن حاصل خواهد شد.

همان‌طور که در نتایج موجود در شکل ۱۳ مشهود می‌باشد، بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به‌دست آمد. همچنین، نتایج این آزمایش نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن اولیه، زیست‌توده، عملکرد دانه، وزن بوته بدون احتساب غلاف و همچنین بیشترین وزن غلاف از تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به‌دست آمد. از آنجایی که در تاریخ ۱۰ خرداد شرایط آب و هوایی برای گیاه ایده‌آل می‌باشد لذا میزان رشد، فتوسنتز و به تبع آن انتقال مواد غذایی به اندام‌های زایشی از جمله غلاف‌ها افزایش پیدا می‌کند، لذا وزن غلاف در این شرایط بیشتر از شرایط کاشت زودهنگام یا کاشت تأخیری خواهد بود. محققین گزارش کردند که عامل اصلی افزایش تعداد غلاف در بوته در تاریخ کاشت مناسب، شرایط آب و هوایی مطلوب در طول دوره رشد گیاه، طولانی‌تر شدن دوره رشد رویشی و زایشی و تولید اندام‌های زایشی بیشتر در آن‌ها می‌باشد (Nandini et al., 2017). گزارش شده است که در گیاه لوبیا غلاف حاوی دانه‌ها می‌باشد و هر چه سرعت رشد دانه و پر شدن دانه بیشتر باشد، غلاف وزن بیشتری را دارا می‌باشد و در تاریخ کاشت‌های مناسب، گیاه به‌سبب دریافت تابش خورشیدی در طی دوره رشد تعداد دانه بیشتر و با وزن بیشتری را خواهد داشت و نتیجه گرفت، تعداد و وزن دانه بیشتر منجر به غلاف سنگین‌تر می‌شود (Farajie, 2006). همچنین گزارش شده است که در تاریخ کاشت‌های دیر هنگام به‌دلیل فراهم نشدن شرایط مناسب و به‌دلیل برخورد مراحل زایشی گیاه با دماهای بالا و نامطلوب بسیاری از غلاف‌ها و دانه‌ها ریزش پیدا کرده و همچنین، به‌دلیل عدم فتوسنتز و انتقال مواد غذایی کافی به دانه‌ها تعداد زیادی از دانه‌ها پوک می‌گردند که در نهایت، منجر به وزن کمتر غلاف و در نهایت، عملکرد کمتر دانه می‌گردد (Mehdipour Afra et al., 2019). همچنین گزارش کردند که تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و طول دوره رشد گیاه تأثیر می‌گذارد و طول دوره گل‌دهی و پر شدن دانه ارتباط مثبتی با عملکرد دانه دارد، لذا به نظر می‌رسد که با کاهش فاصله سبز شدن گیاهچه تا گل‌دهی و گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک، گیاه قبل از رسیدن به شاخص سطح برگ مناسب وارد مرحله زایشی شده و به‌دلیل کاهش دریافت انرژی تابشی توسط برگ‌ها، عملکرد در تاریخ کاشت‌های دیر هنگام، کاهش می‌یابد.

References

1. Akhtar, L.H., Bukhari, S., Salah-ud-Din, S., & Minhas, R. (2012). Response of new guar strains to various row

- spacings. *Pakistan Journal Agriculture Science*, 49(4), 469-471.
2. Al-Ramamneh, E. (2009). Plant growth strategies of *Thymus vulgaris* L. in response to population density. *Industrial Crops and Products*, 30(3), 389-394. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.008>
3. Ashraf, M., & Foolad, R.M. (2005). Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88, 223-271. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(05\)88006-x](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(05)88006-x)
4. Chiofalo, B., Lo Presti, V., D'Agata, A., Raso, R., Ceravolo, G., & Gresta, F. (2018). Qualitative profile of degummed guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) seeds grown in a Mediterranean area for use as animal feed. *Journal Animal Physiology. Animal Nutrition*, 102, 260-267. <https://doi.org/10.111/jpn.12687>
5. Dan, X., & Wong, J.H. (2016). A hemagglutinin isolated from Northeast China black beans induced mitochondrial dysfunction and apoptosis in colorectal cancer cell. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Molecular Cell Research*, 1863(9), 2201-2211. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2016.05.019>
6. Deka, K.K., Das Milu, R., Bora, P., & Mazumder, N. (2015). Effect of sowing dates and spacing on growth and cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) in subtropical climate of Assam. *Indian Journal Agriculture Research*, 49(3), 250-254. <https://doi.org/10.5958/0976-058x.2015.00039.6>
7. Eldirany, A.A., Mohamed-Nour, A.A., Khadir, K.E., Gadeen, K.A., & Ibrahim, M.A. (2015). Physicochemical and functional properties of four new genotypes of guar gum (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *American Journal of Food Science and Health*, 1(2), 43-50.
8. Farajie, A. (2006). The effect of planting date on yield and grain yield and oil components of four rapeseed genotypes in the Gombad. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(3), 189-201. (In Persian with English abstract)
9. Gresta, F., Sortino, O., Santonoceto, C., Issi, L., Santonoceto, C., & Santonoceto, Y.M. (2013). Effects of sowing times on seed yield, protein and galactomannans content of four varieties of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in a Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, 41, 46-52.
10. Heydarzadeh, M., Ehteshami, S.M.R., & Rabiee, M. (2020). Effect of planting date and plant density on qualitative characteristics, yield and yield components of guar in Guilan province. *Plant Process and Function*, 39(9), 197-214. (In Persian with English abstract)
11. Jagtap, D.N., Waghule, L.D., & Bhale, V.M. (2011). Effect of sowing time, row spacing and seed rate on production potential of cluster bean. *Advnace Research Journal of Crop Improvement*, 2(1), 27-30.
12. Kebraie, S., Shams, K., & Pazoki, A.R. (2010). Effect of cultivar and planting date on grain yield and quantitative traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 2(6), 53-64. (In Persian with English abstract)
13. Khademhamzeh, H.R., Karimie, M., & Rezaie, A. (2004). Effect of plant density and planting date on agronomic characteristics, yield and yield components in soybean. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(2). (In Persian with English abstract)
14. Khajepoor, M.R. (2009). *Principles and Bases of Agriculture* (Third edition). Publication by University Jahad of Isfahan, Iran. p. 654.
15. Koocheki, A., Rashed Mohassel, M.H., Nassiri, M., & Sadr Abadi, R. (1995). (Translators) *Physiological Basis of Crop Growth and Development*. Imam Reza University Publication, Mashhad-Iran. p. 404. (In Persian)
16. Lakshmi Kalyani, D. (2012). Performance of cluster bean genotypes under varied time of sowing. *Agricultural Research. Legume Research*, 35(2), 154-158.
17. Lio, W., Tollenaar, M., Stewart, G., & Deen, W. (2004). Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. *Crop science*, 44(3), 847-854. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.8470>
18. Lone, B.A., Hasan, B., Singh, A., Haq, S.A., & Sofi, N.R. (2009). Effects of seed rate, row spacing and fertility levels on yield attributes and yield of soybean under temperate conditions. *ARPN. Journal of Agricultural and Biological Science*, 4(2), 19-25.
19. Majnoun Hosseini, N. (2008). Grain legume production (in Iran), (4thEd.). Jihad Daneshgahi Publisher, Tehran, Iran. pp. 294.
20. Masoudikia, M., & Azizi, K. (2008). The effect of cultivation date and plant density on yield, yield components and protein content of red bean cultivars. *Daneshvar Journal of Crop Sciences*, 1(2), 1-14. (In Persian)
21. Meftahizade, H., Ghorbanpou, M., & Asarehc, M.H. (2019). Changes in phenological attributes; yield and phytochemical compositions of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) landraces under various irrigation regimes

- and planting dates. *Science Horticulture*, 256, 108577. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108577>
22. Meftahizade, H., Hamidoghli, Y., Assareh, M.H., & Jaanmard Dakheli, M. (2017). Effect of sowing date and irrigation regimes on yield components, protein and galactomannan content of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Iran climate. *Australian Journal Crop Science*, 11(11), 1481-1487.
23. Mehdipour Afra, M., Agha Alikhani, M., Soofizadeh, S., & Mokhtasi Bidgoli, A. (2019). Effect of sowing time and plant density on growth and seed yield of two guar ecotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(2), 109-126. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/abj.21.2.109>
24. Mousavi, K., & Pezeshkpur, P. (2006). Evaluation of kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars response to sowing date. *Journal of Iranian Field Crop Research*, 4, 141-154. (In Persian with English abstract)
25. Nakhzari Moghadam, A. (2013). Effect of pruning and plant density on yield and its components in Barakat beans (*Vicia faba* L.) cultivar in Gonbad Kavous region. *Iranian Journal of Crop Science*, 44(4), 710-720. (In Persian with English abstract)
26. Nandini, K.M., Sridhara, S., Patil, S., & Kumar, K. (2017). Effect of planting density and different genotypes on growth, yield and quality of guar. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 5(1), 320-328. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.2499>
27. Rahman, M.M. (1992). Growth analysis of chickpea genotypes in relation to grain filling period and yield potential in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Botany*, 21(2), 225-231.
28. Regan, K.L., Siddique, K.H., & Martin, L.D. (2003). Response of Kabuli chickpea to sowing rate in Mediterranean type environments of southwestern Australian. *Journal of Experimental Agriculture*, 43, 87-97. <https://doi.org/10.1071/ea01200>
29. Rifaee, M., Turk, M.A., & Tawaha, A.R. (2004). Effect of seed size and plant population density on yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L.). *Int. Journal of Agriculture and Biology*, 6(2), 294-299. <https://doi.org/10.7176/jnsr/9-5-07>
30. Sahile, S., Ahmed, S., Fininsa, C., Abang, M.M., & Sakhuja, P.K. (2008). Survey of chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease of faba bean (*Vicia faba* L.) and assessment of factors influencing disease epidemics in northern Ethiopia. *Crop Protection*, 27, 1457-1463. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.07.011>
31. Scott, R.K., & Jaggard, K.W. (2006). Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in UK since 1970. *Agriculture Science*, 134, 341-352. <https://doi.org/10.1017/s0021859699007832>
32. Sharar, M.S., Ayub, M., Ather Nadeem, M., & Noori, S.A. (2001). Effect of different row spacing and seeding densities on the growth and yield of gram (*Cicer arieunum* L.). *Pakistan Journal of Agriculture Science*, 38, 51-53.
33. Sharifi, P., Niknami, F., & Sadeghi, S.M. (2016). Effect of plant density and planting date on yield and yield components of faba bean. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 12(1), 83-95. (In Persian with English abstract)
34. Shojaei Ghadicolaei, M., Daneshian, J., Mobaser, H.R., & Nasiri, M. (2011). Affects different levels of nitrogen and plant density in canola (*Brassica napus* L.) yield in paddy field. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 6(4), 37-47. (In Persian with English abstract)
35. Siddaraju, R., Narayanaswamy, S., & Prasad, S.R. (2010). Studies on growth, seed yield and yield attributes as influenced by varieties and row spacings in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) Mysore. *Journal of Agricultural Sciences*, 44, 16-21.
36. Singh, S. (2014). An Analysis of Guar Crop in India. Gain Report Number: IN4035.
37. Singla, S., Grover, K., Angadi, S.V., Begna, S., Schutte, B., & Leeuwen, S.V. (2016). Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid southern high plains. *American Journal Plant Science*, 7, 1246-1258. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.78120>
38. Sudhir, S., Grover, K., Angadi, S., Schutte, B., Vanleeuwen, D., & Auld, D. (2015). Growth and seed yield performance of promising guar genotypes under different planting dates in desert southwest. *27th Annual Meeting Association for the Advancement of Industrial Crops*. October 18-22, Overton Hotel and Conference Center, Lubbock, Texas, USA.s
39. Turk, M.A., & Tawaha, A.R.M. (2002). Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence of moisture stress. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 6(3), 171-178. <https://doi.org/10.4141/cjps86-005>
40. Weatherbase: Historical Weather for Birjand, Iran. <https://www.weatherbase.com/weather/weather-summary.php3?s=90804&cityname=Birjand%2C+Khorasan-e+Jonubi%2C+Iran&units=>.



Effect of Replacement Intercropping Combinations on the Yield of Three Medicinal Plants of Black Cumin (*Nigella sativa* L.), Borage (*Borago officinalis* L.), and Marigold (*Calendula officinalis* L.)

Pegah Naghipour¹, Alireza Koocheki ^{2*}, Mehdi Nassiri Mahallati ², and Soroor Khorramdel ³

1, 2, and 3- Ph.D. Student, Professor, and Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively

(*- Corresponding author's Email: akooch@um.ac.ir)

Received: 01-08-2015
Revised: 07-09-2016
Accepted: 15-09-2016
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:

Naghipour, P., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Khorramdel, S. (2025). Effect of replacement intercropping combinations on the yield of three medicinal plants of black cumin (*Nigella sativa* L.), borage (*Borago officinalis* L.), and marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Agroecology* 17(2), 201-218. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.48788>

Introduction

Medicinal plants play major roles in human health services worldwide. Many people in both developing and developed countries are turning to herbal medicine. Iran has a long medical tradition and a traditional learning of plant remedies. Besides serving medical and cultural functions, medicinal plants have also played an important economic role across the country. The planting area of medicinal plants is about 166,527 ha, which is nearly 1% of the total planting area in Iran. Marigold (*Calendula officinalis*) is a medicinal plant of the Asteraceae family. It is popular for the verdant color and an aromatic perfume which is provided by this plant. It grows in sun or partial gloominess and is effortless to grow, requiring little cultivation. Borage is from the Boraginaceae family and has the proper name of *Borago officinalis*. Borage is also known as the Bee plant and Bee Bread because the blue, purplish, star-shaped flower attracts bees all summer long. Throughout history, Borage has been used to treat a multitude of ailments and to improve overall health. The Romans would mix Borage tea and wine prior to combat, most likely to fortify themselves for the battle. The leaves are robust and have medicinal properties, and the topper of the plant is a striking blue star-shaped flower, hence the name. The flowers are edible as well and are often used for cake decorations or sweet syrups. Black cumin (*Nigella sativa*) belongs to the Ranunculaceae family. It has been used as a herbal medicine for more than 2000 years. It is also used as a food additive and flavor in many countries. Black cumin volatile oil has recently been found to contain 67 constituents, many of which have the potential to induce beneficial pharmacological effects in humans. Intercropping involves the integration of various elements of organism interactions in ecosystems and can be categorized as a pro-ecological approach to plant cultivation. This method aims to minimize harmful human interference in the environment, particularly the use of chemicals. Additionally, intercropping enables the attainment of high yields, superior quality, and enhanced economic productivity. The relationship between the intercropped components has garnered significant interest among researchers, particularly in terms of environmental resource management and its impact on productivity and economic indicators.



©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/jag.v1i1.48788>

Therefore, the objective of the present study was to quantitatively determine the yield of black cumin (*Nigella sativa* L.), borage (*Borago officinalis* L.), and marigold (*Calendula officinalis* L.) in replacement intercropping.

Materials and Methods

An experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, in the growth year of 2013-14. Treatments included 50:50 ratio of black cumin-marigold, black cumin-borage, and marigold-borage, and 33:33:33 ratio of black cumin-marigold-borage and monoculture of each of the three species. Economic and biological yield, harvest index, and yield components of three plants and LER were studied. For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and least significant difference test (LSD), Minitab 16.0 was used.

Results and Discussion

The results showed that, except for HI, applied treatments have a significant effect on the number of branches per plant, number of follicles per plant, number of seeds per follicles, the percentage of hollow follicles, grain weight, and partial LER of black cumin has been affected by intercropping. Treatments also affected the number of flowers per plant, biological yield, flower yield, and flower harvest index of marigold, and they also had a significant effect on the number of flowers per plant, number of sub-branches, biological and flower yield of borage, but HI was not affected by the treatments. The highest biological and economic yield of the three plants was observed in monoculture of the studied plants, but their partial LER increased in all of the intercropping treatments. It could mean the improvement in land use efficiency and other economic resources for more production of biomass of the plants. According to these results, the highest total LER based on biological and economical yield, 1.3 and 1.41, were gained in triple intercropping treatment, respectively. Therefore, it seems that triple intercropping of black cumin-marigold-borage in the ratio of 33:33:33 can be beneficial in terms of ecological management.

Conclusions

Intercropping is an effective strategy for optimal use of available environmental factors for plants and can be very useful, especially in times of land limitation. The results of this experiment clearly showed the synergistic effects of intercropping species on each other. According to the findings of this experiment, in general, intercropping of three medicinal plant species has been able to improve the growth conditions, increase the efficiency of these plants in using land and other available resources, and increase the production of these plants, while ensuring the sustainability of production in these plants. Therefore, according to the results of this study, it seems that in order to maximize the biological and economic performance of black seed, European borage, and perennial ryegrass, along with benefiting from the health of the produced product and sustainability in the production of these species, it is recommended to consider the triple intercropping of black seed, European borage, and perennial ryegrass.

Acknowledgements

We are grateful to the Honorable Vice Chancellor of Research and Technology of Ferdowsi University of Mashhad for providing the costs of this research.

Keywords: Land equity ratio, Medicinal plants, Pure cultivation, Sustainable agriculture

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۲۱۸-۲۰۱

اثر ترکیب‌های کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد سه گونه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)

پگاه نقی‌پور دهکردی^۱، علیرضا کوچکی^{۲*}، مهدی نصیری محلاتی^۲ و سرور خرم دل^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۵

چکیده

به منظور ارزیابی عملکرد کمی سه گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) در کشت مخلوط جایگزینی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۵۰:۵۰ سیاهدانه با گاوزبان، ۵۰:۵۰ سیاهدانه با همیشه‌بهار، ۵۰:۵۰ گاوزبان اروپایی با همیشه‌بهار، کشت سه‌گانه ۳۳ درصد از هر گیاه و کشت خالص هر سه گونه بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد اقتصادی و زیستی، شاخص برداشت، اجزای عملکرد هر سه گیاه و ارزیابی نسبت برابری زمین (LER) بود. نتایج آزمایش نشان داد که به‌جز در مورد شاخص برداشت، تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، درصد فولیکول پوک، وزن هزار دانه و نیز LER جزئی سیاهدانه در تیمارهای کشت مخلوط داشت. تیمارهای آزمایش همچنین بر تعداد گل در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد گل، شاخص برداشت گل گیاه همیشه‌بهار اثر معنی‌داری داشتند. در مورد گاوزبان نیز به غیر از شاخص برداشت، اثر تیمارهای آزمایش تعداد گل در بوته، تعداد شاخه جانبی، عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد زیستی و عملکرد اقتصادی هر سه گیاه در تیمارهای کشت خالص گیاهان مورد بررسی به‌دست آمد، اما LER جزئی آن‌ها در تمامی تیمارهای کشت مخلوط افزایش داشت که می‌تواند به‌معنای بهبود کارایی استفاده از زمین و سایر منابع در تولید عملکرد زیستی و اقتصادی این گیاهان باشد. بر این اساس، LER کل نیز در کلیه تیمارهای کشت مخلوط افزایش پیدا کرد و بالاترین LER ثبت شده در مورد عملکرد زیستی و اقتصادی به‌ترتیب با مقدار ۱/۳ و ۱/۴۱ به کشت مخلوط سه‌گانه گیاهان مورد بررسی تعلق داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد که کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه-گاوزبان-همیشه‌بهار در نسبت‌های ۳۳:۳۳:۳۳ به لحاظ مدیریت اکولوژیکی سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، کشت خالص، گیاه دارویی، نسبت برابری زمین

مقدمه

(FAO, 2006). این امر موجب فشار بیش از حد بر محیط زیست گردیده و پایداری سیستم‌های کشاورزی را تهدید می‌کند (Heidari Sharifabad & Dorri, 2002). کشاورزی پایدار مدیریت صحیح منابع کشاورزی است که ضمن رفع نیازهای بشر، کیفیت محیط زیست و ظرفیت منابع آب و خاک را نیز حفظ می‌کند (Philipp, 2009). سیستم جنگل زراعی^۲، مدیریت تلفیقی آفات، تناوب زراعی و کشت مخلوط چند مثال از اجزای کشاورزی پایدار است (Tsubo et

افزایش جمعیت جهان و تخریب منابع طبیعی و به دنبال آن نیاز مبرم به افزایش تولیدات غذایی از مشکلات اساسی دنیای امروز به شمار می‌رود. بنابراین، افزایش تولید محصولات کشاورزی برای هماهنگی با تقاضای روزافزون منابع غذایی اجتناب‌ناپذیر است

۱- ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه

اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

Email: akooch@um.ac.ir

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.48788>

منابع مهم و بالقوه در تولید گیاهان دارویی است که باید با مناسب‌ترین روش‌ها از آن استفاده کرد (Omidbeygi, 2005). برای رفع نیازهای فزاینده به داروهای گیاهی، گیاهان دارویی بایستی در سطح وسیعی به‌صورت زراعی کشت شوند. گسترش کشت گیاهان دارویی علاوه بر اینکه می‌تواند نیاز داخلی به محصولات این گیاهان را مرتفع سازد، باعث تولید مواد خام باکیفیت نیز می‌گردد. از سوی دیگر، تأمین مواد اولیه برای منابع داروسازی نیاز به افزایش تولید محصول در واحد سطح دارد که علمی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش دستیابی به این مهم، افزایش کارایی نهاده‌های مورد استفاده در زراعت گیاهان دارویی می‌باشد (Thomas, 2000).

گیاه دارویی سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. گیاهی یک‌ساله و علفی و متعلق به خانواده Ranunculaceae است. دانه این گیاه که به‌طور متوسط دارای ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن، ۲۰ درصد پروتئین و بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد اسانس است (Mehta et al., 2009)، دارای خواصی همچون کاهش قند خون، ضد درد، ضد ویروس و باکتری، ضد نفخ، ضد انگل، مسهل و شیرآور است (Omidbeygi, 2005). رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani, 2009) گزارش دادند که کشت مخلوط سیاهدانه به همراه ماش (*Vigna radiata*) موجب افزایش برخی شاخص‌های رشدی سیاهدانه نظیر شاخص سطح برگ و وزن خشک آن شد. این محققین همچنین بیان داشتند که عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه همچون تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد فولیکول پر در بوته و تعداد دانه در فولیکول در کشت مخلوط با ماش افزایش داشت.

گاوزبان اروپایی با نام علمی *Borago officinalis* L. گیاهی علفی، یک‌ساله و متعلق به خانواده Boraginaceae است که دارای خواص دارویی متعددی است و از آن برای درمان بیماری‌های قلبی، آگزما، دیابت، ورم مفاصل و بیماری MS استفاده می‌شود. دانه گاوزبان اروپایی منبع غنی گیاهی گامالینولینیک اسید است که خاصیت دارویی این گیاه به این ماده آنتی‌اکسیدانت نسبت داده می‌شود (Naghdi Badi et al., 2007). نتایج مطالعه کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) مؤید بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه دارویی گاوزبان اروپایی در شرایط مخلوط ردیفی با لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) می‌باشد.

همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) گیاهی یک‌ساله و

یکی از راهبردهای حفظ و افزایش تولید محصولات کشاورزی، کشت مخلوط گیاهان با یکدیگر، به‌منظور استفاده از مزایای آن است. به‌طور کلی، کشت مخلوط که یکی از قدیمی‌ترین و گسترده‌ترین عملیات زراعی استفاده شده در سیستم‌های کم‌نهاد کشاورزی در بیشتر مناطق جهان است (Lithourgidis et al., 2011)، عبارت است از کشت توأم دو یا چند گونه گیاهی در یک زمان و مکان مشخص، به‌گونه‌ای که گیاه در اکثر دوره رویش خود در مجاورت گیاه دیگر باشد (Caballero et al., 2001). از بهترین و مؤثرترین راهبردهای نیل به پایداری تولید می‌توان به ایجاد تنوع در روش‌های مدیریت و افزایش تنوع کشاورزی اشاره کرد. از این رو، کشت مخلوط به‌عنوان مهم‌ترین عامل افزایش تنوع اکوسیستم‌های زراعی شناخته می‌شود (Koocheki et al., 2009). از کشت مخلوط به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت صحیح تولید محصولات زراعی که منجر به بهبود کارایی مصرف منابع محیطی و افزایش عملکرد می‌شود، یاد می‌گردد (Rezaei-Chianeh et al., 2010). افزایش تولید در کشت مخلوط را می‌توان به دلایلی همچون کاهش رشد علف‌های هرز، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها، سرعت رشد بیشتر و استفاده بهتر از منابع در دسترس نسبت داد (Dahmardeh & Keshtegar, 2014; Gustave et al., 2008). محققین مختلف، دلایل عمده موفقیت تولید در تراکم بالای کشت مخلوط را جذب بیشتر نور خورشید در اوایل فصل کاشت و امکان رقابت بهتر این سیستم با علف‌های هرز دانسته‌اند (Boquet et al., 2003). اصولاً وجود اختلافات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بین اجزای کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی موجب افزایش عملکرد می‌شود و به‌طور کلی، استفاده بیشتر و بهتر از عوامل عوامل محیطی قابل دسترس و افزایش عملکرد یکی از اهدافی است که در کشت مخلوط دنبال می‌شوند (Rezvani Moghadam et al., 2009)؛ از این رو، می‌توان بهبود عملکرد گونه‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را مهم‌ترین دلیل رویکرد به کشت مخلوط دانست. در کشورهای در حال توسعه، کشت مخلوط نقش مهمی در تولید غذا و معیشت مردم ایفا می‌کند و اغلب به‌صورت سنتی در مزارع کوچک توسط کشاورزان مدیریت می‌شوند (Tsubo & Walker, 2002).

کشت گیاهان دارویی در ایران از قدمت بسیاری برخوردار است و از دیرباز جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های کشاورزی سنتی، از نظر ایجاد تنوع و پایداری برخوردار بوده است. در ایران، وجود نور فراوان یکی از

جایگزینی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص هر کدام از سه گونه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ سیاهدانه با گاوزبان اروپایی، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ سیاهدانه با همیشه‌بهار، کشت مخلوط جایگزینی ۵۰:۵۰ گاوزبان اروپایی با همیشه‌بهار و کشت مخلوط جایگزینی سه‌گانه ۳۳:۳۳:۳۳ سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار بود. قبل از اجرای آزمایش و برای اطلاع از وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری مرکب از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری شد که نتایج آزمون خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

عملیات آماده‌سازی مزرعه در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۳، به‌صورت شخم و دیسک، ایجاد ردیف‌های کاشت نیم متری و سپس کرت‌بندی زمین انجام شد و پس از آن کاشت بذرها انجام پذیرفت. مساحت هر کرت شش مترمربع با ابعاد ۱/۵×۴ متر بود. فاصله بین هر کرت نیم متر و فاصله بلوک‌های مجاور نیز یک متر در نظر گرفته شد. کشت هم‌زمان گیاهان در تاریخ ۱۰ اردیبهشت‌ماه، به‌صورت خطوطی در دو طرف هر ردیف کاشت انجام شد (شکل ۱) که پس از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها، تنک و برای هر گیاه به تراکم مورد نظر رسید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of farm's soil

Texture	pH	Salinity (dS.m ⁻¹)	Organic C (%)	Organic matter (%)	N (mg.kg ⁻¹)	Total P (mg.kg ⁻¹)	Total K (mg.kg ⁻¹)
Silty loam	8.76	644	0.78	0.95	15.5	12.2	321

علف‌های هرز به‌صورت دستی بنا به ضرورت در طول فصل رشد انجام شد. به‌منظور بررسی آزمایش در شرایط کم‌نهاد در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از هیچ نهاده شیمیایی نظیر سم و کود استفاده نشد و از طرفی نیز در طول فصل رشد، مزرعه با هیچ بیماری یا آفتی مواجه نگردید.

برداشت هر سه گیاه به‌صورت تقریباً هم‌زمان در اوایل شهریورماه

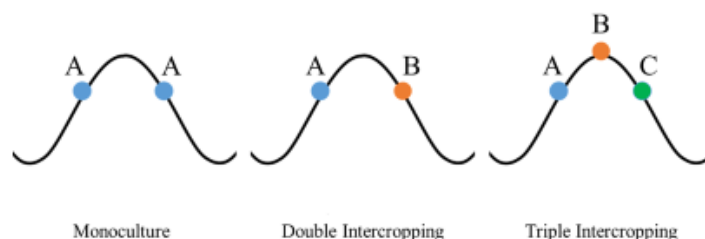
علفی است که مواد مؤثره آن در گل‌ها ساخته شده و ذخیره می‌گردد. مهم‌ترین ترکیبات آن شامل فلاونوئیدهای محلول در آب، کارتنوئیدها، اسانس، مواد موسیلاژی و ویتامین E می‌باشد. گل‌های همیشه‌بهار همچنین حاوی کلندونین، ساپونین، کلسترول، استرول و استراسید لاتوریک هستند و دارای موارد مصرف دارویی (مداوای بیماری‌های معدی و روده‌ای، مداوای زخم‌های پوستی، ضد التهاب)، آرایشی و بهداشتی (تهیه کرم‌های مختلف) و غذایی (رنگ کردن مواد غذایی از جمله پنیر و کره) است. این گیاه دارای خواص متعددی نظیر معرق، تصفیه‌کننده خون، ضد تشنج، التیام‌دهنده زخم، ضد سوختگی، درمان آگزما، سرمازدگی و رفع آکنه است (Ameri et al., 2012).

از آنجا که گیاهان دارویی معمولاً گیاهانی با نیاز غذایی اندک هستند، با روش‌های اکولوژیک و بدون مصرف کودهای شیمیایی به راحتی می‌توان به تولید آن‌ها پرداخت. از طرفی، در مورد تولید گیاهان دارویی، ارزش واقعی به کیفیت محصول و پایداری تولید داده شده و کمیت محصول در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. تحقیقات قبلی گویای آن است که استفاده از نظام کشاورزی پایدار به‌دلیل تطابق با شرایط طبیعی و اصالت کیفیت محصول، بهترین شرایط را برای تولید این گیاهان فراهم می‌آورد و حداکثر ماده مؤثره در چنین شرایطی تولید می‌شود (Darzi et al., 2008). همچنین لزوم سلامت محصولات گیاهان دارویی و عاری بودن آن‌ها از بقایای نهاده‌های شیمیایی، کشاورزان را به این امر تشویق می‌کند تا با استفاده از روش‌هایی همچون کشت مخلوط به تولید آن‌ها بپردازند. بنابراین، هدف از اجرای این آزمایش بررسی عملکرد زیستی، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت گیاهان سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی در سیستم‌های کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه با تأکید بر روش

تراکم کاشت بر مبنای بررسی منابع و عرف رایج منطقه مشهد برای سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار به‌ترتیب برابر با ۳۵ (Torkaman-Nia, 1997)، ۱۰ و ۱۳ (Ameri et al., 2012) بوته در مترمربع بود. روش آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای بود. اولین و دومین آبیاری مزرعه به‌ترتیب در روز کاشت بذرها و سه روز پس از آن انجام و تا پایان فصل، دور آبیاری هفت روزه اعمال شد. وجین

شاخص برداشت برای سیاهدانه، تعداد گل در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد گل و شاخص برداشت گل برای همیشه‌بهار و تعداد گل در بوته، تعداد شاخه جانبی، عملکرد زیستی، عملکرد گل و شاخص برداشت گل برای گاوزبان اروپایی اندازه‌گیری شد.

با حذف حاشیه‌ها و کف‌بر کردن گیاهان از سه مترمربع از هر کرت انجام شد. در پایان، اجزای عملکرد و شاخص برداشت هر گیاه شامل تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، درصد فولیکول پوک، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و



شکل ۱- نحوه کاشت بذره‌های گیاهان مورد مطالعه در تیمارهای مختلف کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه
Fig. 1- Swing pattern of plant seeds in different treatments of monoculture and double and triple intercropping
Curves and dots indicate seed bed and the place of the seed swing.

دانه در فولیکول، درصد فولیکول پوک، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما شاخص برداشت سیاهدانه از تیمارهای این آزمایش اثری نپذیرفت (جدول ۲).

کمترین و بیشترین تعداد شاخه جانبی در هر گیاه مربوط به سیاهدانه در کشت مخلوط سه‌گانه (۵/۶ شاخه) و کشت خالص این گیاه (۸/۶ شاخه) بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین، تعداد شاخه‌های فرعی در تیمارهای کشت مخلوط سیاهدانه- گاوزبان اروپایی و سیاهدانه- همیشه‌بهار در حد میانه دو تیمار قبل قرار داشتند و از نظر آماری با یکدیگر و با دو تیمار کشت مخلوط سه‌گانه و کشت خالص سیاهدانه اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۲- A).

به نظر می‌رسد که تراکم گیاهان در تیمارهای کشت مخلوط و فضای کمتر قابل دسترس برای سیاهدانه (که از لحاظ جثه از همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی کوچک‌تر است) موجب کاهش تعداد شاخه‌های جانبی نسبت به کشت خالص این گیاه شده باشد. در پژوهشی که توسط میزه‌اشمی (Mirhashemi, 2006) در مورد کشت مخلوط زنیان (*Carum copticum*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) انجام شد، مشاهده گردید که تیمارهای کاشت تأثیر معنی‌داری بر روی تعداد شاخه‌های جانبی زنیان داشتند. در آزمایش مذکور، زنیان در کشت مخلوط تک ردیفی بیشترین و در تک

نسبت برابری زمین (LER) بر اساس عملکرد زیستی و اقتصادی از طریق معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شد (Heidari Asl, 2014):

$$LER_a = \frac{Y_{i,m(a)}}{Y_{i,s(a)}} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$LER_T = \sum \frac{Y_{i,m}}{Y_{i,s}} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن‌ها، LER_a : نسبت برابری زمین مربوط به گونه a ، $Y_{i,m(a)}$ و $Y_{i,s(a)}$: به‌ترتیب عملکرد گونه a در کشت مخلوط و کشت خالص آن گونه، LER_T : نسبت برابری زمین کلی هر تیمار کشت مخلوط و $Y_{i,m}$ و $Y_{i,s}$: به‌ترتیب عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط و خالص می‌باشند.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها از برنامه‌های Minitab و MS Excel استفاده گردید و از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد جهت مقایسه میانگین‌ها بهره گرفته شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

اجزای عملکرد: نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات اندازه‌گیری شده سیاهدانه حاکی از آن بود که اثر تیمارهای مختلف آزمایش بر تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد

کشتی کمترین تعداد شاخه جانبی را داشت. این محقق دلیل این یافته دسترس برای سیاهدانه، در تیمار کشت خالص این گیاه وجود داشت. را دسترسی بیشتر به نور توسط زنیان در تیمار کشت مخلوط تک ردیفی عنوان کرد. در پژوهش حاضر نیز بیشترین مقدار نور در

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات سیاهدانه در تیمارهای کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با همیشه‌بهارو گاوزبان اروپایی
Table 2- Analysis of variance for characteristics of black cumin in monoculture and double and triple intercropping with marigold and borage

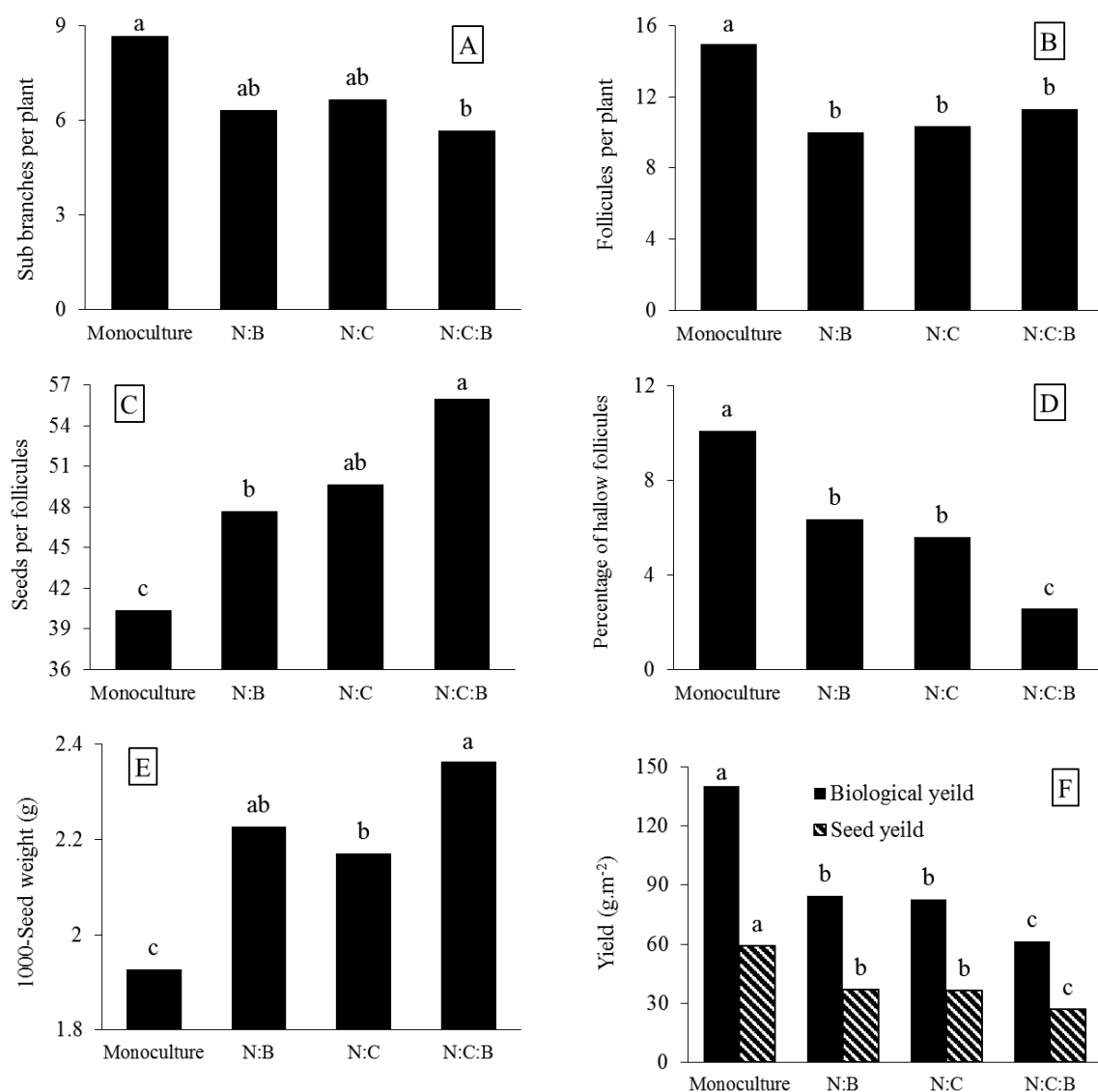
S.O.V.	d.f	Mean of squares							HI
		Sub branches per plant	Follicle per plant	Seeds per follicle	Percentage of hallow follicle	1000-seed weight	Biological yield	Seed yield	
Treatments	3	5*	15.77**	124.97**	28.57**	0.099**	3380.2**	560.6**	1.99 ^{ns}
Replication	2	0.08 ^{ns}	1.08 ^{ns}	2.33 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3.7 ^{ns}	1.25 ^{ns}	0.15 ^{ns}
Error	6	0.75	0.86	5.22	0.48	0.003	6.3	1.75	0.59
CV (%)		12.67	7.95	4.71	11.33	2.57	2.72	3.32	1.92

ns و * و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال یک ($p \leq 0.01$) و پنج درصد ($p \leq 0.05$) و غیرمعنی‌دار است.

ns, * and **: means significant in probability level of 1 ($p \leq 0.01$) and 5 percent ($p \leq 0.05$) and not significant, respectively.

موجب افزایش این صفت نسبت به کشت خالص این دو گیاه شد. درصد فولیکول‌های پوک سیاهدانه در تیمار کشت خالص این گیاه ۱۰ درصد بود. این مقدار برای کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی ۶/۳ درصد و برای کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی ۵/۵ درصد بود که با تیمار کشت خالص سیاهدانه و همچنین سیاهدانه کشت شده در کشت مخلوط سه‌گانه (که با ۲/۵ درصد، دارای کمترین درصد فولیکول پوک بود) اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-D). با توجه به نتایج ذکر شده و همچنین نتایج مربوط به تعداد شاخه‌های جانبی سیاهدانه چنین به نظر می‌رسد که سیاهدانه در ابتدای رشد خود با رشد رویشی زیاد، ناشی از وجود فضای زیاد جهت رشد، تعداد شاخه‌های جانبی و فولیکول‌های زیادی تولید می‌کند که بعداً در موقع تولید دانه‌ها یا پر شدن آن‌ها به دلیلی همچون محدودیت منبع قادر به تولید دانه زیاد و حتی پر کردن فولیکول‌های خود نیست. به این ترتیب، می‌توان افزایش تعداد دانه در فولیکول و کاهش درصد فولیکول‌های پوک در تیمارهای کشت مخلوط را نسبت به تیمارهای کشت خالص توجیه کرد. از سویی دیگر، می‌توان اختلاف بین تیمارهای مختلف از لحاظ درصد فولیکول پوک و تعداد دانه در فولیکول را به سودمندی کشت مخلوط گیاهان مختلف در بهبود شرایط رشدی سیاهدانه نسبت داد.

تعداد فولیکول در بوته جزئی مؤثر در تشکیل عملکرد نهایی محصول سیاهدانه است (Nowroozpoor & Rezvani, 2005). در این آزمایش، تیمار کشت خالص سیاهدانه حائز بیشترین مقدار ثبت شده برای تعداد فولیکول در بوته (۱۵ فولیکول در بوته) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-B). همچنین، هیچ‌کدام از تیمارهای کشت مخلوط از لحاظ تعداد فولیکول در بوته با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما نتایج حاکی از آن بود که تیمار کشت خالص سیاهدانه کمترین مقدار دانه در فولیکول (۴۰/۳ عدد) را دارا بود که با تیمارهای کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-B). سیاهدانه کشت شده در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه با تعداد ۵۶ دانه در فولیکول، بیشترین مقدار مربوط به این صفت را به خود اختصاص داد. همچنین تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار با تعداد ۴۹/۶ دانه در فولیکول و تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی با تعداد ۴۷/۶ دانه در فولیکول در رده‌های بعدی داده‌های ثبت‌شده مربوط به این صفت قرار گرفتند (شکل ۲-C). روستایی و همکاران (Rostaei et al., 2014) ضمن بررسی اثر کودهای آلی و شیمیایی و کشت مخلوط بر شاخص‌های رشدی و عملکرد سیاهدانه و شنبليله گزارش دادند که اثر کشت مخلوط به ترتیب بر تعداد غلاف و فولیکول شنبليله و سیاهدانه و نیز تعداد دانه در غلاف و فولیکول آن‌ها معنی‌دار بود و



شکل ۲-مقایسه میانگین اثر نسبت‌های کشت مخلوط با همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی بر A- تعداد شاخه‌های جانبی، B- تعداد فولیکول در بوته، C- تعداد دانه در فولیکول، D- درصد فولیکول پوک، E- وزن هزار دانه و F- عملکرد زیستی و عملکرد دانه سیاهدانه

Fig. 2- Means comparisons for the effect intercropping rations with marigold and borage on A- Sub branches per plant, B- Follicles per plant, C- Seeds per follicles, D- Percentage of hallow follicles, E- 1000-seed weight, F- biological and seed yield of black cumin

N, B and C indicate black cumin, marigold and borage, respectively.

Monoculture: Monoculture of black cumin, N:B: Black cumin in intercropping with borage, N:C: Black cumin in intercropping with marigold, N:C:B: Black cumin in intercropping with marigold and borage.

In every series of columns, the columns that contain at least one letter in common with each other, had no significant difference.

اروپایی گزارش دادند که تعداد غلاف در بوته سویا به غیر از نسبت ۷۵:۲۵ سویا- گاوزبان اروپایی، در دیگر تیمارهای مخلوط بیشتر از کشت خالص بود.

زعفریان و باقری (Zafarian & Bagheri Shirvan, 2014) ضمن بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد سویا (*Glycine max*)، ریحان (*Ocimum basilicum*) و گاوزبان

شده‌اند، با انجام امور مدیریتی، افزایش چندان در شاخص برداشت نشان نمی‌دهند. اما از طرفی، به نظر می‌رسد که افزایش شاخص برداشت در گیاهان دارویی همچون گیاهان مورد بررسی که هنوز امکان افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به بخش اقتصادی خود دارند، تحت تأثیر کاربرد تیمارهایی نظیر تغذیه (Khorramdel et al., 2008) قرار می‌گیرند، هر چند در این آزمایش، شاخص برداشت سیاهدانه تحت تأثیر نوع کشت قرار نگرفت که دلیل آن را می‌توان به افزایش نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی این گیاه نسبت داد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam et al., 2009) گزارش کردند که ارتفاع بوته، اجزای عملکرد و عملکرد سیاهدانه در کشت مخلوط این گیاه با ماش، نسبت به کشت خالص این گیاه افزایش یافت. این محققان بیان داشتند که با کشت مخلوط سیاهدانه با سایر گیاهان فضای بهتری برای رشد این گیاه ضعیف به وجود می‌آید. به نظر می‌رسد که با استفاده بهتر سیاهدانه از منابع محیطی همچون نور و رطوبت در کشت مخلوط، شرایط برای رشد بیشتر این گیاه فراهم می‌شود. نتایج این آزمایش همچنین با یافته‌های کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) در مورد عدم تأثیرپذیری شاخص برداشت سیاهدانه در کشت مخلوط با لوبیا و نخود (*Cicer arietinum*) همسو است.

عملکرد و اجزای عملکرد همیشه بهار

تیمارهای آزمایش بر تعداد گل در بوته، عملکردهای زیستی، و عملکرد گل، شاخص برداشت گل و شاخص برداشت گل همیشه بهار اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

اجزای عملکرد: گیاه همیشه بهار کشت شده در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه دارای بالاترین تعداد گل در بوته (میانگین ۲۸/۳) بود و پس از آن همیشه بهار کشت شده در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه همیشه بهار - سیاهدانه و همیشه بهار - گاوزبان اروپایی به ترتیب با تعداد ۲۳/۳ و ۲۱/۳ گل در بوته حد میانه تعداد گل در بوته را داشتند که با همیشه بهار در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه اختلاف معنی‌داری داشتند. کمترین تعداد گل در بوته نیز در تیمار کشت خالص همیشه بهار، با مقدار ۱۸ گل در بوته ثبت شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۳-۱). سودمندی‌هایی همچون بهبود شرایط رشدی و کارایی بهتر استفاده از منابع در نتیجه کشت گونه‌های مختلف در کشت مخلوط را می‌توان دلیل این نتیجه دانست (Rezvani et al., 2014). یافته‌های حاضر با نتایج تحقیق حیدری اصل (Heidari ASL, 2014) در مورد تعداد گل‌آذین شبدر برسيم (*Trifolium alexandrinum*) در کشت مخلوط با گیاه برزک (*Linum usitatissimum*) مطابقت دارد.

بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار سیاهدانه کشت شده در کشت مخلوط سه‌گانه برابر با ۲/۳۶ گرم بود که با سایر تیمارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-۲). وزن هزار دانه در تیمارهای کشت مخلوط سیاهدانه - گاوزبان اروپایی (۲/۲۲ گرم) و سیاهدانه - همیشه بهار (۲/۱۷ گرم) بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار کشت خالص سیاهدانه با مقدار ۱/۹۳ گرم ثبت شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲-۲). قلی‌نژاد و رضایی چپانه (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014) گزارش کردند که وزن هزار دانه سیاهدانه در کشت خالص این گیاه کمتر از کشت مخلوط با نخود بود. به اعتقاد این محققین کشت خالص گیاه می‌تواند با افزایش تعداد مخازن موجب کاهش سهم هر کدام از این مخازن از مواد فتوسنتزی شود و وزن هزار دانه را کاهش دهد.

عملکرد زیستی و عملکرد دانه سیاهدانه: از آنجا که در

تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی تراکم کاشت از تراکم کاشت کشت خالص کمتر هستند (تیمارهای کشت مخلوط دوگانه نصف و در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه یک سوم تراکم در کشت خالص)، بنابراین بالاترین عملکرد زیستی و دانه به‌دست آمده در تیمار کشت خالص، پس از آن در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه و در نهایت، کمترین آن در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد (شکل ۲-۲). اما با این وجود، گزارش‌های بسیاری از برتری شاخص‌های رشد و عملکرد گیاهان در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص (تک کشتی) در دسترس است (Bagheri et al., 2012). بنابراین، می‌بایست با توجه به نسبت برابری زمین (LER) به تفسیر نتایج حاصل از عملکردهای زیستی و دانه پرداخت. از طرفی، با مقایسه LER جزئی هر گونه در کشت مخلوط می‌توان به اثر رقابتی گونه‌ها با یکدیگر نیز پی برد (Nematollahi et al., 2009) که در ادامه به این مبحث پرداخته خواهد شد. نتایج پژوهش خاموشی (Khamooshi, 2014) در مورد کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) و لوبیا هم‌راستا با نتایج حاضر بود. بدین گونه که کمترین عملکرد زیستی هر دو گیاه رازیانه و لوبیا در تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی و بیشترین آن‌ها در کشت خالص این گیاهان به‌دست آمد.

شاخص برداشت: شاخص برداشت سیاهدانه در تیمارهای

مختلف آزمایش معنی‌دار نشد (جدول ۲). در این آزمایش، شاخص برداشت که نسبت عملکرد اقتصادی بر عملکرد زیستی است، در تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط سیاهدانه دامنه‌ای بین ۴۲/۱۹ تا ۴۴/۰۵ داشت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). به‌طور کلی، گیاهان اصلاح‌شده همانند گندم (*Triticum aestivum*) و ذرت (*Zea mays*) که به حد پتانسیل تولید اقتصادی خود نزدیک

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات همیشه‌بهار در تیمارهای کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با سیاهدانه و گاوبیان اروپایی
Table 3- Analysis of variance for characteristic of marigold in monoculture and double and triple intercropping with black cumin and borage

S.O.V	d.f	Mean of squares			
		Flowers per plant	Biological yield	Flower yield	Flower H.I.
Treatments	3	56.08**	8271.1**	500.2**	15.58*
Blocks	2	2.25 ^{ns}	1.4 ^{ns}	3.69 ^{ns}	1.48 ^{ns}
Error	6	0.58	5.5	3.84	1.66
CV (%)		2.44	17.5	3.43	4.29

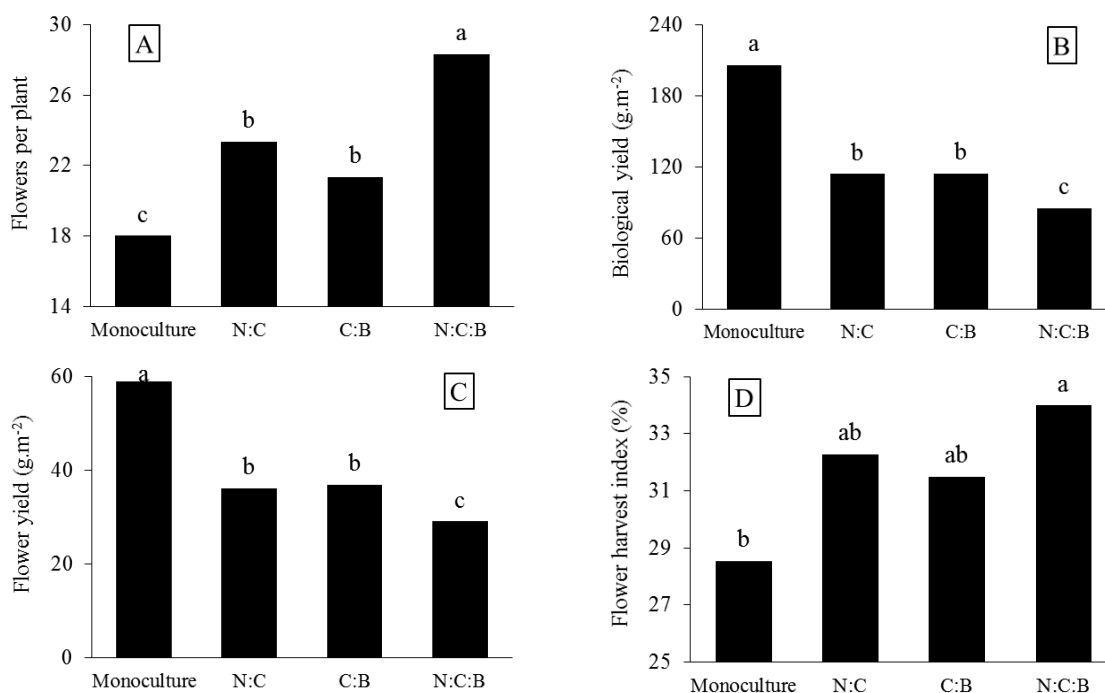
***, * و ns: به‌ترتیب به‌معنای معنی‌دار در سطح احتمال یک ($p \leq 0.01$) و پنج درصد ($p \leq 0.05$) و غیرمعنی‌دار است.

**, * and ns: means significant in probability level of 1 ($p \leq 0.01$) and 5 percent ($p \leq 0.05$) and not significant, respectively.

رازیانه در تیمار ۳۳:۶۶ به‌دست آمد که در این تیمار، رازیانه تراکم کمتری نسبت به شویید داشت. غوش و همکاران (Ghosh et al., 2006) نیز مشاهده کردند که در کشت مخلوط سویا و دال‌عدس بالاترین میزان عملکرد در هر دو گیاه مربوط به کشت خالص بود و در کشت مخلوط، عملکرد سویا و دال‌عدس (Cajanus cajan) به ترتیب ۱۶ و ۲۶ درصد نسبت به خالص کاهش نشان داد.

عملکرد زیستی و عملکرد گل همیشه‌بهار: همانند

سیاهدانه، عملکرد زیستی و عملکرد گل همیشه بهار به‌دلیل وجود تراکم بالاتر، به‌ترتیب در کشت خالص، کشت‌های مخلوط دوگانه و کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد (شکل‌های ۲-B و ۲-C). کاروبا و همکاران (Carrubba et al., 2008) گزارش کردند که در کشت مخلوط رازیانه و شویید بیشترین عملکرد زیستی و اقتصادی هر دو گونه در کشت خالص آن‌ها به‌دست آمد و کمترین عملکرد زیستی



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر کشت خالص همیشه‌بهار و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با سیاهدانه و گاوبیان اروپایی بر: A: تعداد گل در بوته، B: عملکرد زیستی، C: عملکرد گل، D: شاخص برداشت گل همیشه‌بهار

Fig. 3- Means comparisons of the effect of monoculture of marigold and its double and triple intercropping with black cumin and borage on: A: Flowers per plant, B: Biological yield, C: Flower yield, D: Flower harvest index of marigold

N, B and C: indicate black cumin, marigold and borage, respectively.

Monoculture: Monoculture of marigold, N:C: Marigold in intercropping with black cumin, C:B: Marigold in intercropping with borage, N:C:B: Marigold in intercropping with black cumin and borage.

In every series of columns, the columns that contain at least one letter in common with each other, had no significant difference.

بودن فضای بیشتر برای رشد همیشه‌بهار سبب رشد رویشی بیشتر همیشه‌بهار و کمتر شدن سهم گل از کل ماده خشک گیاه شود، اما این اتفاق رخ نداد و علاوه‌بر اینکه کشت مخلوط سیاهدانه و همیشه‌بهار موجب کاهش شاخص برداشت همیشه‌بهار نشد، موجب بهبود جزئی شاخص برداشت گل همیشه‌بهار نیز شد. دلیل این امر و به‌طور کلی، بهبود شاخص برداشت همیشه‌بهار را می‌توان در جنبه‌های اکولوژیک کشت مخلوط از جمله بهبود عوامل خاکی، تأثیر بر جمعیت آفات و بیماری‌ها و افزایش کارایی استفاده از منابع (Ayeneband, 2007; Koocheki et al., 2014) نسبت داد.

عملکرد و اجزای عملکرد گاو زبان اروپایی

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات گاو زبان اروپایی نشان داد که به‌جز شاخص برداشت گل، کلیه سایر صفات اندازه‌گیری شده این گیاه از تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری پذیرفتند (جدول ۴).

شاخص برداشت گل: از آنجا که بالاترین تعداد گل

همیشه‌بهار در بوته در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد و همچنین درصد افزایش LER جزئی مربوط به عملکرد گل همیشه‌بهار (۴۸ درصد) از LER جزئی عملکرد زیستی آن (۲۴/۴ درصد) بیشتر بود، بنابراین بالاترین شاخص برداشت گل همیشه‌بهار نیز در این تیمار و با مقدار ۳۴ درصد به‌دست آمد که با شاخص برداشت تیمار کشت خالص همیشه‌بهار (۲۸/۵ درصد) اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین شاخص برداشت همیشه‌بهار در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار- گاو زبان اروپایی و سیاهدانه- همیشه‌بهار به‌ترتیب برابر با ۳۱/۴ و ۳۲/۲ درصد بود که با یکدیگر و همچنین تیمارهای کشت خالص همیشه‌بهار و نیز همیشه‌بهار کشت شده در کشت مخلوط سه‌گانه اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳- D).

این نتایج همچنین با یافته‌های اله‌دادی و همکاران (Allahdadi et al., 2013) درباره ارزیابی عملکرد و سودمندی کشت مخلوط سویا و همیشه‌بهار همسو است. هرچند به نظر می‌رسید که کشت مخلوط سیاهدانه- همیشه‌بهار به‌دلیل کوچک‌تر بودن جثه سیاهدانه و در اختیار

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات گاو زبان اروپایی در تیمارهای کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه با سیاهدانه و همیشه‌بهار
Table 4- Analysis of variance for characteristic of borage in monoculture and double and triple intercropping with black cumin and marigold

S.O.V	d.f	Mean of squares				
		Flowers per plant	Sub branches per plant	Biological yield	Flower yield	Flower H.I.
Treatments	3	28.83*	5.25**	46280**	117.6**	0.2*
Blocks	2	0.23 ^{ns}	0.35 ^{ns}	18 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Error	6	4.36	0.28	25	0.24	0.038
CV (%)		5.44	8.45	14.2	2.93	4

ns و * : به‌ترتیب به‌معنای معنی‌دار در سطح احتمال یک ($p \leq 0.01$) و پنج درصد ($p \leq 0.05$) و غیرمعنی‌دار است.

**, * and ns: means significant in probability level of 1 ($p \leq 0.01$) and 5 percent ($p \leq 0.05$) and not significant, respectively.

نگویرا و همکاران (Ngwira et al., 2012)، کشت مخلوط می‌تواند با کاستن از اثر تنش‌های مختلفی که در طول فصل رشد به گیاهانی که با یکدیگر کشت شده‌اند، وارد می‌شود، سبب کاهش کمتر شاخص‌های رشدی و اجزای عملکرد مؤثر در عملکرد نهایی آن گیاهان شود. بنابراین، بهبود تعداد گل در بوته گاو زبان اروپایی در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص این گیاه را علاوه‌بر اینکه می‌توان به اثرات هم‌افزایی^۱ گیاهان با یکدیگر دانست، بلکه

تعداد گل در بوته: روندی مشابه آنچه در مورد گیاه

همیشه‌بهار در تیمارهای مختلف آزمایش وجود داشت، در مورد گاو زبان اروپایی نیز صدق می‌کرد. بدین‌صورت که بالاترین تعداد گل در بوته در تیمار کشت سه‌گانه (۴۲/۴ گل در بوته) و حد میانه در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه گاو زبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط گاو زبان اروپایی- همیشه‌بهار و (۳۸/۵ گل در بوته) و تیمار گاو زبان اروپایی- سیاهدانه (۳۷/۴ گل در بوته) که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما با تیمار کشت خالص گاو زبان اروپایی با تعداد ۳۵ گل در بوته اختلاف معنی‌داری داشتند (شکل ۴- A). به عقیده

می‌شود، ارتفاع گیاه افزایش و تعداد شاخه‌های جانبی آن کاهش پیدا کرده است.

عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی: همچون

سیاهدانه و همیشه‌بهار بیشترین عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی در تیمار کشت خالص به‌دست آمد، پس از آن، عملکردهای گاوزبان اروپایی در تیمارهای کشت مخلوط دوگانه و سپس تیمار کشت مخلوط سه‌گانه قرار می‌گرفتند (شکل‌های ۳-D و ۳-E). پورامیر و همکاران (Poor Amir et al., 2010) نیز در تحقیقی بر روی کشت مخلوط جایگزینی کنجد (*Sesamum indicum*) و نخود اظهار داشتند که در بین نسبت‌های مختلف کاشت، تیمار تک کشتی کنجد به‌دلیل داشتن حداکثر مقدار تراکم بوته در بین سایر تیمارها، بیشترین عملکرد زیستی را دارا بود.

شاخص برداشت گل: اثر تیمارهای آزمایش بر شاخص

برداشت گل گاوزبان اروپایی معنی‌دار نبود. مقادیر ثبت شده برای صفت شاخص برداشت گل این گیاه برای کلیه تیمارها بازه‌ای از ۴/۵ تا ۵/۱ درصد و با میانگین ۴/۹ درصد را دارا بود (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند). با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار در صفت تعداد گل در بوته و نیز افزایش توانمندی گیاه گاوزبان اروپایی در تولید وزن خشک در تیمارهای کشت مخلوط، به نظر می‌رسد، افزایش تعداد گل در بوته به موازات افزایش تولید وزن خشک توسط گیاه صورت گرفته باشد که منجر به کسب چنین نتیجه‌ای درباره شاخص برداشت گل گاوزبان اروپایی شده است.

نسبت برابری زمین (LER) در تیمارهای کشت مخلوط

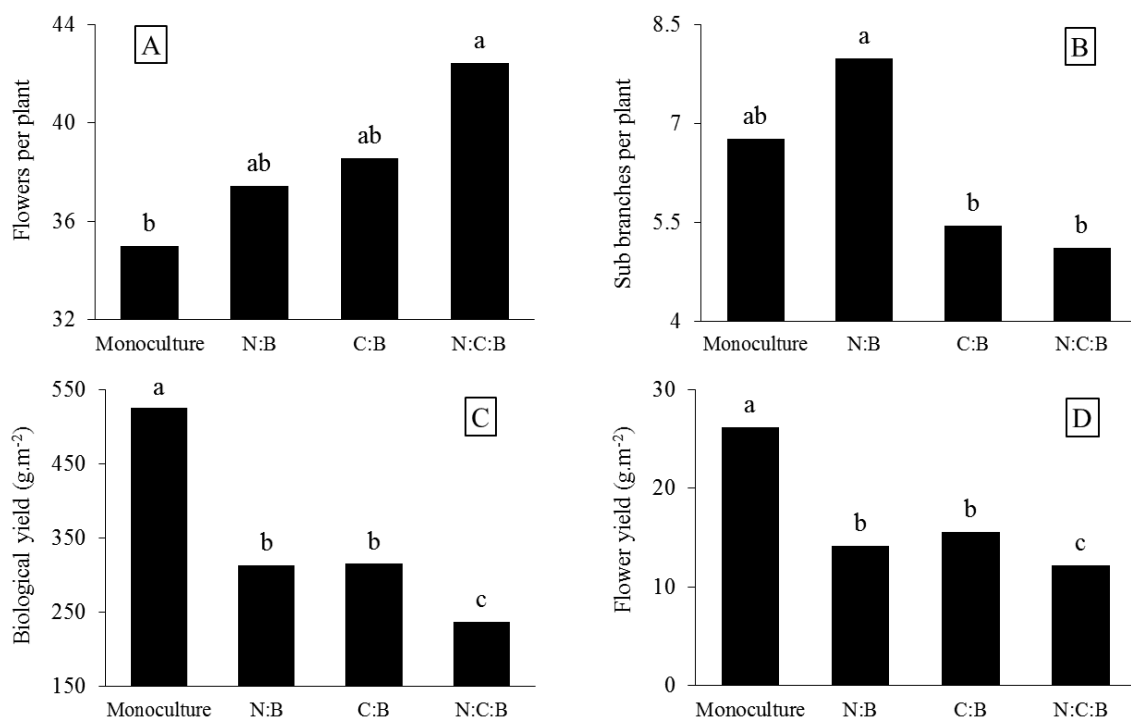
LER جزئی سیاهدانه: با وجود اینکه تراکم گیاهان در تیمار کشت مخلوط دوگانه سیاهدانه-همیشه‌بهار نصف تراکم آن‌ها در تیمار کشت خالص بود، اما با توجه به شکل ۴، LER جزئی مربوط به عملکرد زیستی و دانه سیاهدانه برابر با ۰/۶۱ و ۰/۵۹ بود که به‌ترتیب افزایشی ۲۳/۳ درصدی و ۱۸/۱ درصدی را نشان می‌داد. همچنین، LER جزئی مربوط به سیاهدانه در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی برای عملکرد زیستی و دانه با مقادیر به‌ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶، افزایشی ۲۴/۸ و ۲۰/۵ درصدی داشتند که بیشتر از تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار بود. اعداد مربوط به LER جزئی سیاهدانه در کشت مخلوط سه‌گانه (که سطح پوشش سیاهدانه یک‌سوم پوشش آن در کشت خالص بود)، برای عملکرد زیستی ۰/۴۵

می‌توان آن را به اثر مثبت کشت مخلوط بر گیاه گاوزبان اروپایی در حفظ گل‌های تولید شده خود در آن تیمارها نسبت به کشت خالص دانست. نصیریپور (Nasirpoor, 2010) با بررسی تأثیر کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum*) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) بر شاخص‌های کمی عملکرد این دو گیاه گزارش کرد که به‌طور کلی، در مورد لوبیا چشم‌بلبلی کشت مخلوط موجب افزایش افزایش پانیکول در بوته به‌دلیل تعداد گل‌های بارور در بوته شد. فیضی‌زاده (Feyzizadeh, 2012) نیز گزارش داد که تعداد گل در بوته گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط جایگزینی با ارزن معمولی افزایش یافت و دلیل این امر را مزیت کشت مخلوط نسبت به تک کشتی جهت دستیابی به درصد پوشش سبز بیشتر و استفاده بهتر از منابع در دسترس گیاهان بیان نمود.

تعداد شاخه جانبی: حداکثر تعداد شاخه جانبی گاوزبان

اروپایی در تیمارهای کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی (هشت شاخه) و کشت خالص گاوزبان اروپایی (۶/۷ شاخه) ثبت شد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. تعداد شاخه جانبی گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی ۵/۴ شاخه بود که با تعداد شاخه‌های جانبی گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط این گیاه (۵/۱ شاخه) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴-B). از این نتایج چنین برداشت می‌شود که احتمال تعداد شاخه‌های جانبی گاوزبان اروپایی در پاسخ به محیط در دسترس این گیاه تغییر کرده است. چنان‌که تعداد شاخه‌های جانبی گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی که به‌دلیل جثه کوچک سیاهدانه برای گاوزبان اروپایی فضای بیشتری را نسبت به کشت خالص این گیاه می‌دهد، از سایر تیمارها بیشتر بوده و این صفت گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دلیل وجود حداقل فضای رشد، به حداقل خود رسیده است. بی‌گناه و همکاران (Bigonah et al., 2011) نیز ضمن بررسی خصوصیات گیاهان گشنیز (*Coriandrum sativum*) و شنبلیله در کشت مخلوط گزارش دادند که تعداد شاخه‌های هر دو گیاه در تیمارهای کشت مخلوط کاهش پیدا کرد. این محققین دلیل این امر را چنین بیان داشتند که در کشت خالص که گیاه از فضای بیشتری برخوردار بوده است، گیاه با دریافت نور بیشتر جهت افزایش تعداد شاخه‌های جانبی بیشتر تحریک می‌شود و در کشت مخلوط و کشت‌های غیرمتراکم‌تر نسبت به کشت خالص، به‌دلیل عدم وجود نور اضافی که موجب تحریک شاخه‌دهی

و برای عملکرد دانه ۰/۴۳ بود که افزایش ۳۶/۲ درصدی و ۳۱/۹ درصدی را نشان می‌داد.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر کشت خالص گاوزبان اروپایی و کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه گاوزبان اروپایی با سیاهدانه و همیشه‌بهار بر: A: تعداد گل در بوته، B: تعداد شاخه‌های جانبی، C: عملکرد زیستی، D: عملکرد گل گاوزبان اروپایی

Fig. 4- Means comparisons of the effect of monoculture of borage and its double and triple intercropping with black cumin and marigold on: A: Flowers per plant, B: sub branches per plant, C: Biological yield, D: Flower yield of borage

N, B and C: indicate black cumin, marigold and borage, respectively.

Monoculture: Monoculture of borage, N:B: Borage in intercropping with black cumin, C:B: Borage in intercropping with marigold, N:C:B: Borage in intercropping with black cumin and marigold.

In every series of columns, the columns that contain at least one letter in common with each other, had no significant difference.

این صفت در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بالاتر بود، ولی در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین بیش از یک بود که نشان‌دهنده برتری تیمارهای مخلوط نسبت به خالص است. قلی‌نژاد و رضایی چپانه (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014) نیز در آزمایشی به ارزیابی عملکرد کمی و کیفی و نسبت برابری زمین کشت مخلوط سیاهدانه و نخود در نسبت‌های مختلف کاشت و به‌روش جایگزینی پرداختند و ابراز داشتند که نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه دو گیاه نخود (به جز ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف) و سیاهدانه (به جز میزان اسانس) داشتند. این محققان با بیان اینکه ارزیابی سودمندی کشت مخلوط

بنابراین چنین نتیجه‌گیری می‌شود که به‌طور کلی، LER جزئی سیاهدانه در تیمارهای کشت مخلوط افزایش یافته است و بیشترین نسبت افزایش LER جزئی مربوط به سیاهدانه در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط، هم در مورد عملکرد زیستی و هم عملکرد دانه، در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمده است که این امر به معنای کارایی بیشتر استفاده از زمین و بهبود توانمندی گیاه در تولید ماده خشک و همچنین دانه، بر اثر کشت مخلوط است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) به بررسی عملکرد سیاهدانه در کشت مخلوط با نخود و لوبیا پرداخته و بیان داشتند که عملکرد دانه هر سه گیاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت و میانگین

LER کلی عملکرد زیستی و اقتصادی: چنان‌که در مورد

LER جزئی عملکرد زیستی و اقتصادی هر سه گیاه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی ذکر شد، LER جزئی کلیه گیاهان در کشت‌های مخلوط دوگانه و سه‌گانه افزایش داشت. بنابراین، می‌توان چنین بیان داشت که در هیچ یک از تیمارهای کشت مخلوط، گونه‌ها بر روی یکدیگر اثر رقابتی نداشتند و همچنین می‌توان پیش‌بینی کرد که LER کلی عملکرد زیستی و اقتصادی کشت‌های مخلوط نیز افزایش یافته باشند. بر این اساس، با توجه به شکل ۵، LER عملکرد زیستی و اقتصادی برای کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه‌بهار به ترتیب ۱/۱۴ و ۱/۲۲، برای کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۱/۱۹ و ۱/۲۲، برای کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۲۲ و در نهایت، برای تیمار کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه-همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی به‌ترتیب برابر با ۱/۳ و ۱/۴۱ بود که بالاترین مقدار LER برای هر دو صفت عملکرد زیستی و عملکرد اقتصادی بود. نتایج اغلب آزمایشات حاکی از این است که مهم‌ترین مزیت کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، بالاتر بودن کارایی استفاده از منابعی همچون آب، نیتروژن و به‌ویژه نور است (Awal et al., 2006; Berntsena et al., 2004). از آنجا که سیاهدانه و همیشه‌بهار مورد مطالعه در این آزمایش، از جثه کوچکی برخوردار بودند و در کشت خالص و در تراکم مطلوب خود سطح زمین را کاملاً نمی‌پوشاندند، به نظر می‌رسد کشت مخلوط این گیاهان و به‌خصوص کشت مخلوط سه‌گانه این گیاهان سبب بهره‌وری بیشتر این گیاهان در استفاده از منابع قابل دسترس آن‌ها شده است. بنابراین، از آنجا که در هر سه گیاه سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار، عملکرد زیستی و اقتصادی، در کشت مخلوط بهتر و بیشتر از کشت خالص بوده است، به نظر می‌رسد، بهبود شاخص‌های مورد بررسی در نتیجه برهم‌کنش مثبت گیاهان در کشت مخلوط آن‌ها با یکدیگر بوده که منجر به کسب چنین نتایجی شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد که کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه بر روی عملکرد زیستی و عملکرد گل هر سه گیاه سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی اثر مشابهی داشته است. بهبود عملکرد زیستی و اقتصادی گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در آزمایش باقری و همکاران (Bagheri et al., 2012) نیز به‌دست آمده است. این محققان دلیل این امر را بهبود توانایی این گیاه در استفاده بیشتر از پتانسیل محیط در کشت مخلوط

نشان از برتری کشت مخلوط دو گونه نسبت به تک کشتی هر یک از آن‌ها داشت، گزارش دادند که در تمامی تیمارهای مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود.

LER جزئی همیشه‌بهار: بررسی LER جزئی همیشه‌بهار در

کشت مخلوط سیاهدانه-همیشه بهار نشان می‌دهد که مقدار این شاخص با ۰/۵۵ برای عملکرد زیستی و ۰/۶۱ برای عملکرد گل، افزایشی به‌ترتیب ۱۰/۷ و ۲۲/۶ درصدی داشتند. در مورد همیشه‌بهار در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی LER جزئی این گیاه برای عملکرد زیستی با افزایش ۱۱ درصدی، ۰/۵۵ و عملکرد گل با افزایش ۲۵ درصدی، ۰/۶۲ ثبت شد. در نهایت، در مورد تیمار کشت مخلوط سه‌گانه، LER جزئی همیشه‌بهار مربوط به عملکرد زیستی برابر با ۰/۴۱ (۲۴/۴ درصد افزایش) و LER جزئی مربوط به عملکرد گل ۰/۴۹ (۴۸ درصد افزایش) بود (شکل ۵). بنابراین، با توجه به افزایش LER جزئی همیشه‌بهار در کشت مخلوط، چنین به نظر می‌رسد که تیمارهای کشت مخلوط همانند اثری که بر سیاهدانه داشتند، موجب افزایش بهره‌وری از زمین و نیز بهبود تولید ماده خشک همیشه‌بهار نیز شدند. بهبود شرایط رشدی و اثرات هم‌افزایی گونه‌های مختلف حاضر در کشت مخلوط بر روی یکدیگر (Ayeneband, 2007) را می‌توان دلیل حصول چنین نتایجی دانست. از سویی دیگر، به عقیده فرناندز آپاریچیو و همکاران (Fernandez-Aparicio et al., 2008) اثر گونه کشت مخلوط شده بر کاهش آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز غالب بر گونه دیگر، می‌تواند موجب تغییر شرایط محیطی به نفع گونه کشت مخلوط شده و کاهش رقابت بین‌گونه‌ای شده و رشد آن گونه را بهبود بخشد.

LER جزئی گاوزبان اروپایی: بیشترین درصد افزایش LER

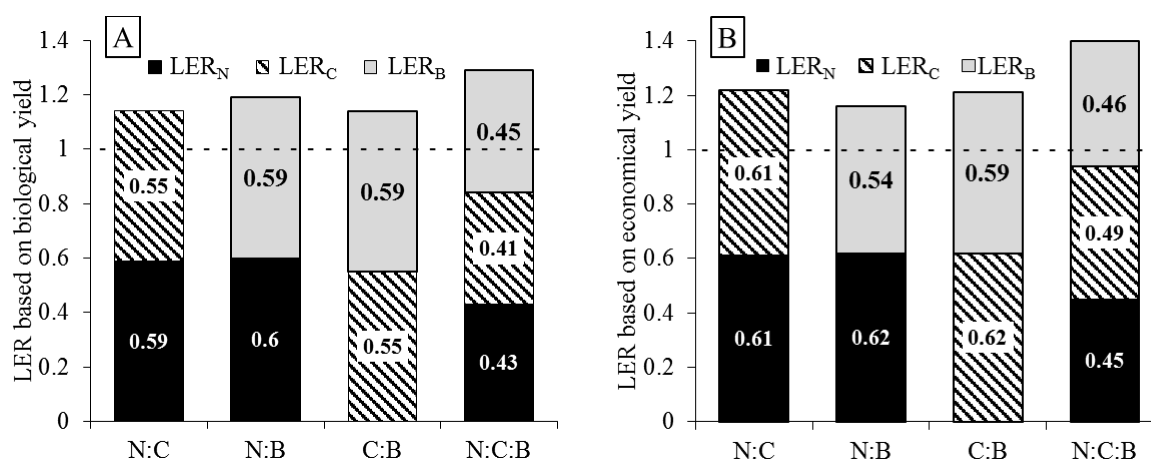
LER جزئی عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی نیز در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه گاوزبان اروپایی به‌ترتیب با مقادیر ۳۵/۲ درصد (LER=۰/۴۵) و ۳۹/۵ درصد (LER=۰/۴۶) به‌دست آمد. LER جزئی عملکرد زیستی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی در تیمار کشت مخلوط سیاهدانه-گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۰/۵۹ (۱۹/۷ درصد افزایش) و ۰/۵۹ (۱۹ درصد افزایش) و در تیمار کشت مخلوط همیشه‌بهار-گاوزبان اروپایی به‌ترتیب ۰/۵۹ (۱۸/۹ درصد افزایش) و ۰/۵۴ (۸/۱ درصد افزایش) بود (شکل ۵). این نتایج با گزارش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) در مورد کشت مخلوط گاوزبان اروپایی و لوبیا همسو است.

با بهبود شرایط جهت رشد، کارایی این گیاهان در استفاده از زمین و سایر منابع در دسترس آن‌ها را افزایش داده و موجب افزایش تولید محصول این گیاهان، ضمن تضمین پایداری تولید در این گیاهان شود. در این آزمایش، به‌طور کلی، کشت مخلوط سه گونه گیاه دارویی سیاهدانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی اغلب صفات این گیاهان شامل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزاردانه و نسبت برابری زمین جزئی سیاهدانه، تعداد گل در بوته و شاخص برداشت گل همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی را افزایش داد و بالاترین مقادیر مربوط به صفات مورد اشاره نیز به کشت مخلوط سه‌گانه گیاهان مورد مطالعه بود. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق به نظر می‌رسد که جهت حصول حداکثری عملکرد زیستی و اقتصادی سیاهدانه، گاوزبان اروپایی و همیشه‌بهار، به همراه بهره‌مندی از سلامت محصول تولیدی و پایداری در تولید این گونه‌ها، توصیه می‌شود، کشت مخلوط سه‌گانه سیاهدانه- گاوزبان اروپایی- همیشه‌بهار مد نظر قرار گیرد.

در مقایسه با کشت خالص ذکر کرده‌اند. عباسی علی‌کمر و همکاران (Abbasi Ali Kamar et al., 2006) در طی آزمایشی، ضمن بررسی تراکم‌های مختلف کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum*) و نخود گزارش کردند که برای تمامی تیمارها نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود که این امر نشان از برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. این محققین همچنین گزارش کردند که هرچند در آزمایش زیره سبز از کشت مخلوط اثر مثبت پذیرفت، اما این سیستم کاشت تأثیری بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد نخود نداشت.

نتیجه‌گیری

کشت مخلوط، راهبرد مؤثر استفاده بهینه از عوامل محیطی قابل دسترس گیاهان است و به‌خصوص در زمان محدودیت زمین می‌تواند بسیار مفید باشد. نتایج این آزمایش به‌خوبی اثرات هم‌افزایی گونه‌های کشت مخلوط بر یکدیگر را نشان داد. با توجه به یافته‌های این آزمایش، به‌طور کلی، کشت مخلوط سه‌گونه گیاه دارویی توانسته است



شکل ۵- LER جزئی گونه‌ها و LER کل مربوط به تیمارهای دوگانه و سه‌گانه کشت مخلوط:

A: بر اساس عملکرد زیستی، B: بر اساس عملکرد اقتصادی

Fig. 5- Partial and total LER of double and triple intercropping treatments based on: A: biological yield, B: Economical yield

N, B and C: indicate black cumin, marigold and borage, respectively

N:C: Intercropping of black cumin and marigold, N:B: Intercropping of black cumin and borage, C:B: Intercropping of marigold and borage, N:C:B: Intercropping of black cumin, marigold and borage

۳۱۶۸۷) و همچنین مسئولین و کارکنان محترم مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به‌خاطر تأمین بودجه این تحقیق از محل اعتبارات این معاونت (شماره

References

1. Abbasi Ali Kamar, R., Hejazi, A., Akbari, G., Kafi, M., & Zand, E. (2006). Evaluation of the effect of different swing plant density in intercropping of cumin and chickpea by emphasis on weed control. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 4(1), 83-94. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V4I1.1320>
2. Allahdadi, M., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., & Amini, R. (2013). Evaluation of yield and advantages of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(3), 47-58. (In Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1618873>
3. Ameri, A.A., Rabbani Nasab, H., Jalilvand, M.R., & Imani, M. (2012). The survey on phenological stages, the effect of nitrogen fertilizer levels and plant density and stage of flower harvest on flower production, active ingredients of marigold (*Calendula officinalis*). *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 4, 57-66. 10.29252/jnkums.4.5.S5.57 (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/jnkums.4.5.S5.57>
4. Awal, M.A., Koshi, H., & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.06.001>
5. Ayeneband, A. (2007). Ecology of Agroecosystems. Chamran University Press, Ahvaz, Iran. p. 276-279, (In Persian)
6. Ayeneband, A. (2007). Ecology of Agroecosystems. Shahid Chamran University Publications., Ahvaz. p. 198-202. (In Persian)
7. Bagheri, M., Zafarian, F., Akbarpoor, V., Asadi, G.A., & Bichranloo, B. (2012). Evaluation of soybean basil and borage growth indexes in different intercropping ratios. *Plant Production Research*, 19(3), 1-25. 20.1001.1.23222050.1391.19.3.1.1 (In Persian with English abstract)
8. Berntsen, J., Hauggard-Nielsen, H., Olesen, J.E., Petersen, B.M., Jensen, E.S., & Thomsen, A. (2004). Modelling dry matter production and resource use in intercrops of pea and barley. *Field Crops Research*, 88, 69-83.
9. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2011). The effect of intercropping of coriander and fenugreek on their some quantitative and qualitative characteristics. National Conference of Sustainable Agriculture, Varamin, Iran, 1 December 2011. (In Persian). <https://civilica.com/doc/129042>
10. Boquet, D.J., Koohce, K.L., & Walker, D.M. (1982). Selected determinate soybean cultivar yield responses to row spacings and planting dates. *Agronomy Journal*, 74, 136-138. <https://doi.org/10.2134/agronj1982.00021962007400010035x>
11. Caballero, R.C., Alzueta, L.T., Ortiz, M.L., Rodriguez, R.T., & Barro, C. (2001). Carbohydrate and protein fractions of fresh and dried common vetch in three maturity stages. *Agronomy Journal*, 93, 1006-1013. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351006x>.
12. Carrubba A., la Torre R., Di Prima A., & Saiano F. (2008) Bio-agronomical behaviour and seed composition of some Apiaceae grown in a Mediterranean semi-arid environment, *Agroindustria*, 2, 81-86.
13. Dahmardeh, M., & Keshtegar, A. (2014). Evaluation of yield and yield Components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology*, 6(2), 311-323. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39371>
14. Darzi, M.T., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & Rejali, F. (2009). The effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24(4), 396-413. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001.1.15625540.1387.10.1.7.0>
15. FAO. (2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at <http://www.faostat.fao.org/faostat/>.
16. Fernandez-Aparicio, M., Emeran, A.A., & Rubiales, D. (2008). Control of *Orobanche crenata* in legumes intercropped with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Crop Protection*, 27, 653-659. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.09.009>.
17. Feyzizadeh, E. (2012). Intercropping of borage (*Borago officinalis*) and millet (*Panicum miliaceum*) affected by different plant density. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.64039>.
18. Gholinezhad, E., & Rezaei-Chiyaneh, E. (2014). Evaluation of grain yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(3), 236-249. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001.1.15625540.1393.16.3.6.5>.
19. Ghosh, P.K., Mohanty, M., Bandyopadhyay, K.K., Painuli, D.K., & Misra, A.K. (2006). Growth,

- competition, yield advantage and economics in soybean/pigeonpea intercropping system in semi-arid tropics of India. I. Effect of subsoiling. *Field Crops Research*, 96, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.05.010>.
20. Gustave, N.M., Jean, F., Ois, L., & Xavier, D. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.008>.
21. Heidari Asl, A. (2014). Effect of nitrogen, weed interference arugula (*Eruca sativa*) and different planting methods on the performance of the intercropping of flax and clover. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. (In Persian with English abstract).
22. Heidari Sharifabad, H., & Dorri, M. (2002). Forage Crops (Tunicates). 1st Ed. Moasese Tahghighate Jangalha VA Marate Press, 311 pp. (In Persian with English abstract).
23. Khamooshi, A. (2014). Comparison of the diiferent ratio of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in addative and replacement series of intercropping. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract).
24. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Ghorbani, R. (2008). The effect of application of bio-fertilizers on growth indexes of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(2), 285-294. (In Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1803088>.
25. Koocheki, A., Lalehgani, B., & Najibnia, S. (2009). Evaluation of productivity in bean and corn intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(2), 605-614. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.20081472.1388.7.2.27.7>.
26. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani, M., & Jafari, L. (2014). Yield responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseoluse vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1), 1-8. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36624>
27. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., & Amin Ghafoori, A. (2012). Ecological study different patterns of row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 4(1), 1-11. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v4i1.14951>.
28. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., & Damalas, C.A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34, 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007>.
29. Mehta, B.K., Pandit, V., & Gupta, M. (2009). New principle from seeds of *Nigella sativa*. *Natural Product Research*, 23, 138-148. <https://doi.org/10.1080/14786410801892078>.
30. Mirhashemi, M. (2009). Study of the intercropping of bishop and fenugreek with emphasis on organic agriculture principles. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary). *Iranian Journal Agricultural Research*, Vol. 7,2, 685-694. <https://civilica.com/doc/1475761>.
31. Naghdi Badi, H.A., Sorooshzadeh, A., Rezazadeh, S., Sharifi, M., Ghalavand, A., & Omid, H. (2007). A review on borage (valuable medicinal plant rich of gamalinolenic acid). *Journal of Medicinal Plants*, 24, 1-17. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.2717204.2007.6.24.1.8>.
32. Nasirpoor, M. (2010). The effect of intercropping of millet and cowpea on grain yield and weed control. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran. (In Persian with English abstract)
33. Nematollahi, E., Jahansuz, M.R., Mazaheri, D., & Bannayan, M. (2013). Intercropping Sustainable Agriculture Reviews, *The Third Iranian Weed Science Conference babolsar*, 12, 119-142.
34. Ngwira, A.R., Aune, J.B., & Mkwinda, S. (2012). On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research*, 132, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.014>
35. Nowroozpoor, G., & Rezvani Moghaddam, P. (2005). The effect of different irrigation periods and plant density on yield and yield components of medicinal plant on black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23, 305-314. (In Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/1803182>
36. Omidbeygi, R. (2005). Approaches of production and processing of medicinal plants (Vol. II). Astane Ghodse Razavi, Publishing Company, Mashhad, Iran. (In Persian)
37. Philipp, A. (2009). What is sustainable agriculture? Empirical evidence of diverging views in Switzerland and New Zealand. *Journal of Ecological Economics*, 68(6), 1872-1882. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.12.016>
38. Poor Amir, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Ghorbani, R. (2010). Evaluation of yield and yield components of sesame and cowpea in replacement series of intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(5), 757-768. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i2.30942>
39. Rezaei-Chianeh, E., Dabagh Mohammadinasab, A., Shakiba, M.R., Ghasemi Golazani, K., & Aharizade, S.

- (2010). Evaluation of light interception and canopy characteristics in monocropping and intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agroecology*, 2(3), 437-447. (In Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/663139>
40. Rezvani Moghadam, P., Raoofi, M.R., Rashed Mohassel, M.H., & Moradi, R. (2009). Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek)- black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. *Journal of Agroecology*, 1(1), 65-79. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.2655>
41. Rezvani, M., Abdali Mashhadi, A., & Aslani, V. (2014). Comparison of some yield characteristics of Black Cumin in intercropping with anise and black seed. 1st International Conference of New Frontiers in Agriculture, Natural Resources and the Environment, Tehran, Iran, 14 February 2015. (In Persian). <https://civilica.com/doc/360256>
42. Rostaie, M., Falah, S. and Souraki, A. (2015). Effect of fertilizer sources on growth, yield and yield components of fenugreek intercropped with black cumin. *Journal of Crop Production*, 7(4), 222-197. <https://doi.org/20.1001.1.2008739.1393.7.4.11.0>
43. Joy, P. P., Thomas, J., Mathew, S., & Skaria, B. P. (1998). Medicinal plants. *Tropical horticulture*, 2, 449-632.
44. Torkaman-Nia, A. (1997). Effect of swing time on the yield of black cumin in Torbat climate conditions. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University (Branch Torbat), Iran. (In Persian with English Summary)
45. Tsubo, M., & Walker, S. (2002). A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110(3), 203-215. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00287-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00287-8)
46. Tsubo, M., Walker, S., & Ogindo, H. O. (2005). A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. *Field crops research*, 93(1), 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.003>
47. Zafarian, F., & Bagheri Shirvan, M. (2014). Effect of intercropping different ratios on yield of soybean, sweet basil and borage. *Journal of Crop Improvements*, 16(1), 197-214. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2014.51952>



Yield, Yield Components, and Gas Exchange in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars Affected by the Applications of Different Sources of Fertilizer under Dryland Farming

Rahim Naseri ^{1*}

1- Assistant Professor, Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.

(*- Corresponding author's Email: r.naseri@ilam.ac.ir)

Received: 02-01-2023
Revised: 25-02-2023
Accepted: 09-05-2023
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:

Naseri, R. (2025). Yield, yield components, and gas exchange in Barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars affected by the applications of different sources of fertilizer under dryland farming. *Journal of Agroecology*, 17(2), 219-238. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2023.80366.1138>

Introduction

Rainfed farming plays an important role in the food production of many countries in the semi-arid regions of the world and includes 80% of the total usable agricultural land. Barley is cultivated in most parts of the world in areas that are threatened by moisture stress, the lack of which affects different stages of plant growth from germination to seed set, and finally affects the grain yield. Studies show that the stress caused by the lack of water in plants is one of the important factors in crop reduction in semi-arid regions. Application of biofertilizers improves yield by improving the physical properties of the soil, increasing soil fertility, and increasing the availability of nutrients for plant uptake, among which mycorrhizal fungi are considered the most important microorganisms. Mycorrhizal fungi are effective in nutrient uptake, including phosphorus, water uptake in dehydrated conditions, hormone production, modulation of environmental stresses, improvement of root growth, and effect on soil granulation. Since not much research has been done on the application of mycorrhizal fungi on dryland barley in the country and especially in Ilam province, the present experiment was conducted to investigate the effect of mycorrhizal fungi on yield, yield components, and gas exchanges of dryland barley.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of mycorrhiza inoculation on yield and yield components and gas exchange of barley cultivars under rainfed conditions, a field experiment was carried out in factorial analysis based on a randomized complete block design with three replications at the farm of Sarablah Agricultural Research Center station during the 2019-2020 cropping season. Experimental treatments include barley cultivars (Mahali, Mahour, Khorram, and Fardan) and fertilizer sources treatment, including control (no fertilizer source), 50% phosphorus fertilizer, mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum*, and *Rhizophagus irregularis*), and Mycorrhizal fungi were +50% phosphorus fertilizer and 100% phosphorus fertilizers. In this study, the length of each plot was four meters, the number of rows in each plot was eight rows, and the distance between the rows was 20 cm. The measured traits were: yield and yield components, as well as gas exchanges, including photosynthetic rate, transpiration rate, photosynthetic water consumption efficiency, mesophilic conductance, CO₂, and leaf temperature.



©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.2023.80366.1138>

The effect of the treatments on yield and yield components and gas exchange of the barley cultivars in the field was assessed using SAS; software, means were compared by Duncan's multiple range test method, and graphs were drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results of this study showed that the interaction of cultivar×fertilizer sources on yield, grain yield components, as well as gas exchange characteristics, including photosynthetic mesoton, transpiration rate, photosynthetic water consumption efficiency, mesophilic conductance, substomatal carbon dioxide concentration, and leaf temperature in rainfed barley was significant. So that the maximum number of seeds per spike (32.3 seeds), 1000-grain weight (38.5 g), grain yield (4238.3 kg/ha), biomass yield (10123.3 kg/ha), photosynthesis rate ($5.7 \mu\text{mol Co}^2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), transpiration rate ($4 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), mesophilic conductivity ($0.019 \text{ mmol co}_2 \text{ M}^{-2}\text{S}^{-1}$) and water use efficiency Photosynthesis ($\mu\text{mol co}_2 \text{ mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$) was obtained in Fardan cultivar ×Mycorrhiza+50% of phosphorus fertilizer compared to the control (no fertilizer source was used).

Conclusion

The results of this study showed that under rainfed conditions, yield and yield components, photosynthesis rate, transpiration rate, mesophilic conductance, and photosynthetic water use efficiency in all cultivars of barley were significantly reduced. However, the use of mycorrhizal fungi in dryland conditions improved grain yield and gas exchanges. In this study, Barley Fardan×application of Mycorrhizal fungi caused a significant increase in yield and grain yield components by increasing photosynthesis and increasing photosynthetic water use efficiency, as well as decreasing leaf temperature.

Keywords: Mesophilic conductivity, Photosynthesis, Photosynthetic water use efficiency, Transpiration, 1000-grain weight

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۲۳۸-۲۱۹

عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و تبادلات گازی ارقام جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) تحت کاربرد منابع مختلف کودی در شرایط دیم

رحیم ناصری^{*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹

چکیده

استفاده کودهای زیستی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی قابل جذب توسط گیاه، سبب بهبود رشد گیاه میزبان می گردد. قارچ میکوریزا به عنوان یکی از مهم ترین ریزموجودات زنده موجود در خاک، بر جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، جذب آب در شرایط کم آبی، تعدیل تنش های محیطی، بهبود رشد ریشه و تأثیر بر رشد و عملکرد دانه می تواند مؤثر می باشد، به همین منظور آزمایشی مزرعه ای جهت بررسی اثر منابع کودی بر عملکرد دانه و تبادلات گازی ارقام جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط دیم، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سربله در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام جو (توده محلی، ماهور، خرم و فردان و منابع کودی شامل شاهد (عدم مصرف منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده، قارچ میکوریزا (*Glomus etunicatum*, *Glomus mosseae* و *Rhizophagus irregularis*)، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که برهم کنش رقم × منابع کودی بر عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و تبادلات گازی در ارقام مختلف جو دیم معنی دار بود. براساس نتایج به دست آمده، بیشترین عملکرد، اجزاء عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، میزان فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوسنتزی در جو رقم فردان × قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به دست آمد و کمترین میزان عملکرد و اجزاء عملکرد و همچنین میزان فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوسنتزی در توده محلی × شاهد (عدم مصرف منبع کودی) مشاهده شد. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش رقم جو فردان × کاربرد قارچ میکوریزا به واسطه افزایش میزان فتوسنتز و کارایی مصرف آب فتوسنتزی و همچنین کاهش دمای برگ موجب افزایش قابل توجه عملکرد و اجزاء عملکرد دانه شد.

واژه های کلیدی: تعرق، فتوسنتز، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، وزن هزار دانه، هدایت مزوفیلی

مقدمه

حدود ۸۰ درصد سطح زیرکشت و دو سوم تولید کل غذای جهان را به خود اختصاص داده است و نقش کلیدی در تضمین امنیت غذایی و حفظ تعادل اکولوژیکی به خصوص در مناطق در حال توسعه دارد (Karimi & Joleini, 2019; Wu et al., 2022). با توجه به اینکه بسیاری از مناطق جهان جزء مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می آیند، پیدا کردن روش هایی جهت کاهش میزان افت عملکرد دانه در شرایط کمبود آب ضروری است (Raei et al., 2015). گزارش های مختلف نیز نشان داده شده است که قارچ میکوریزا یک تکنیک سازگار با محیط زیست و بیولوژیکی برای افزایش عملکرد

افزایش عملکرد گیاهان زراعی یکی از رویکردهای مهم کشاورزی در راستای تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد جهان به حساب می آید بخش زیادی از زمین های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک قرار داشته و تولید گیاهان زراعی در این مناطق، مبتنی بر زراعت دیم

۱- استادیار، گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی مهندسی و کشاورزی
دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: r.nasari@ilam.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/agry.2023.80366.1138>

معنی‌داری از خود نشان دادند (Naseri et al., 2021). با توجه به اینکه هدف از انجام تحقیقات در زراعت دیم به حداقل رساندن، تنش‌های وارده به گیاه باشد و از آنجایی که در کشت دیم گیاه نیاز آبی خود را از بارندگی به‌دست می‌آورد، معمولاً نیاز آبی گیاه از این طریق جبران نمی‌شود، بنابراین کاهش نزولات جوی و پراکنش نامناسب آن در کنار مشکلات تغذیه‌ای، تولید محصولات دیم را با چالش جدی مواجه ساخته است و کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط دیم در کنار تکنیک‌های مدیریت بهره‌برداری از آب باران به‌عنوان راه‌حلی برای بهبود عملکرد در واحد سطح می‌باشد. بنابراین، از آنجاکه مطالعات در مورد کاربرد قارچ میکوریزا بر جو دیم در شرایط دیم منطقه انجام نشده است، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزاء عملکرد و تبادلات گازی در ارقام جدید جو زراعی در شرایط دیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرابله، شهرستان چرداول، استان ایلام در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل شاهد (عدم مصرف منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر (۲۵ کیلوگرم در هکتار)، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*، *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus irregularis*)، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر (۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل) بودند. در این پژوهش، طول هر کرت چهار متر، تعداد ردیف در هر کرت هشت ردیف و فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر ارزیابی شد. قارچ میکوریزا از بخش بیولوژی خاک مؤسسه خاک و آب کرج تهیه شد. در این پژوهش، میزان تراکم بوته در مترمربع ۲۰۰ بوته در نظر گرفته شد. رقم‌های جو مورد بررسی در این پژوهش که در منطقه کشت می‌گردند، از مرکز تحقیقات کشاورزی ایلام و از طبقه گواهی شده تهیه گردید. مشخصات رقم‌های جو مورد بررسی در این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. قبل از کاشت گندم، قارچ میکوریزا که هر گرم آن دارای ۷۰ اسپور زنده، با بذرها تلقیح و آغشته شد که پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در ردیف‌های کاشت مورد نظر قرار گرفت و با خاک پوشانده شدند. این پژوهش در تاریخ

محصولات و تضمین امنیت غذایی می‌باشد، به‌طوری‌که کاربرد قارچ میکوریزا سبب بهبود عملکرد دانه در سویا در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) گردید (Nakhzari Moghaddam et al., 2022; Dobo et al., 2022; Jerbi et al., 2022). افزایش میزان تبادلات گازی در کاربرد قارچ میکوریزا نیز نشان داده شده است، به‌طوری‌که کاربرد قارچ میکوریزا در ذرت موجب افزایش فتوسنتز به‌میزان ۲۰ درصد در مقایسه با تیمار کاربرد قارچ میکوریزا گردید (Naghashzadeh et al., 2014). در گزارش‌های قلی‌نژاد و درویش‌زاده (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015) نشان داده شد که استفاده از سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا نسبت به شاهد (عدم مصرف قارچ میکوریزا) موجب افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد دانه کنبج (*Sesamum indicum* L.) شد. گزارش‌های ناصری و همکاران (Naseri et al., 2022) نشان داده شد که استفاده از قارچ میکوریزا بر خصوصیات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) معنی‌دار بوده، به‌طوری‌که عملکرد و اجزاء عملکرد دانه به‌طور قابل توجهی افزایش نشان داد. به نظر می‌رسد که قارچ با راهکارهای گوناگونی از جمله بهره‌برداری حجم بیشتری از خاک، بالابودن سرعت و میزان جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزا موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان میزبان می‌گردد (Naseri, 2017). در گزارش‌های سایر پژوهشگران نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش عناصر غذایی مثل فسفر و نیتروژن سبب بهبود رشد و عملکرد در گیاه زراعی برنج می‌گردد (Chareesri et al., 2020). در گیاه ذرت نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) سبب افزایش عملکرد علوفه و ماده خشک گردید (Celebi et al., 2010). در گزارش‌های مشابه نیز نشان داده شد که عملکرد و اجزاء عملکرد جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) در حضور قارچ میکوریزا معنی‌دار گردید، به‌گونه‌ای که وزن دانه و تولید دانه به‌ترتیب ۹۰ و ۶۸ درصد افزایش نشان دادند (Jerbi et al., 2022). در آمایش‌های انجام صورت گرفته روی سورگوم نیز نشان داده شد که در حضور قارچ میکوریزا عملکرد و شاخص برداشت در مقایسه با شاهد (عدم مصرف قارچ میکوریزا) افزایش یافتند (Watts-Williams et al., 2020). در سایر گزارش‌های پژوهشگران نیز نشان داده شده است که کاربرد کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر تبادلات گازی بر گندم از خود نشان داده، به‌طوری‌که میزان فتوسنتز خالص، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوسنتزی افزایش

اکسید کربن زیر روزنه‌ای و دمای برگ در مرحله گرده‌افشانی (۱۴۸ روز پس از کاشت) از دستگاه فتوسنتز متر (Plant Photosynthesis Meter Korea TECH) استفاده گردید. برای این کار، برگ پرچم طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ به‌طرف بالا قرارمجموع گیرد تا نور کافی دریافت نماید. بعد از ۴۵ ثانیه توسط دستگاه عدد ثبت گردید. اندازه‌گیری‌ها در فاصله ساعت ۱۰ تا ۱۲ انجام شد (Saeidi et al., 2010).

۱۰ آذرماه انجام گردید. آمار هواشناسی منطقه مورد پژوهش در جدول ۲ نشان شده است. براساس آزمون خاک که قبل از کاشت صورت گرفت، کود نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) در مرحله (کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. کود فسفر مورد نیاز تیمارهای آزمایشی نیاز گیاه از منبع سوپرفسفات تریپل در زمان کاشت به‌صورت نواری به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد (جدول ۳).

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز، میزان تعرق، غلظت دی

جدول ۱- خصوصیات ارقام جو مورد بررسی در این آزمایش
Table 1- Barley cultivars characteristics in this experiment

ارقام	منشأ	تنش خشکی	سال معرفی	اقلیم
Cultivars	Source	Drought stress	Release year	Climate
ماه‌ور	ICARDA	متحمل	1386	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
Mahoor	ICARDA	Tolerant	1386	Warm and semi-warm
خرم	ICARDA	متحمل	1390	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
Khorram	ICARDA	Tolerant	1390	Warm and semi-warm
فردان	ICARDA	متحمل	1397	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
Fardan	ICARDA	Tolerant	1397	Warm and semi-warm

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸
Table 2- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

ماه	حد اقل دما	حد اکثر دما	میزان بارش	حد اقل رطوبت	حد اکثر رطوبت
Month	Min temp. (°C)	Max temp. (°C)	Precipitation (mm)	Min. RH (%)	Max. RH (%)
مهرماه	13.2	37.2	15	18	41
Oct.					
آبان	0.8	27.2	44.6	33	73
Nov.					
آذر	0.2	19.6	134.4	53	83
Dec.					
دی	-2	16.4	37.4	47	84
Jan.					
بهمن	-8.5	19.5	60.3	43	79
Feb.					
اسفند	1.7	24.8	267.1	47	84
Mar.					
فروردین	2.6	26.6	33.5	40	80
Apr.					
اردیبهشت	4.8	36.5	11.3	24	64
May					
خرداد	16	39.7	0	12	31
Jun.					
مجموع	7.6	21.9	603.6	35.2	68.8
Total					

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹

Table 3- Soil physical and chemical properties of experimental area

اسیدیته	شوری	کربن آلی	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	منیزیم	منگنز	مس	روی	آهن	بافت
pH	EC	Organic C	Total N	Available K	Available P	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	Texture
	(dS.m ⁻¹)	(%)			(mg.kg ⁻¹)						
7.1	0.40	1.5	0.13	280	6	216	12	5.2	1.4	10	لومی-رسی Loam-clay

به‌منظور اندازه‌گیری هدایت مزوفیلی از معادله زیر استفاده گردید:

$$MC = \frac{PR}{CO_2} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، MC: هدایت مزوفیلی، PR: سرعت فتوسنتز و CO₂: غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای بودند (Siosemardeh et al., 2013).

همچنین به‌منظور سنجش کارایی مصرف آب فتوسنتزی از معادله زیر استفاده گردید:

$$WUE = \frac{PR}{TR} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، WUE: کارایی مصرف آب فتوسنتزی، PR: سرعت فتوسنتز و TR: میزان تعرق بودند (Siosemardeh et al., 2013). با نزدیک شدن گیاه جو به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد ۱۰ ساقه به‌صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب و تعداد دانه در سنبله براساس شمار سنبله‌های موجود در هر ساقه محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری تعداد سنبله در مترمربع از کادر یک مترمربعی که توسط دست درست شده بود، استفاده شد. برای اندازه‌گیری و تعیین وزن هزار دانه، بذر از هر کرت آزمایشی به‌صورت تصادفی شمارش و توسط ترازوی دیجیتالی محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، بوته‌های موجود در هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای به‌صورت جداگانه برداشت و محاسبه گردید. پس از برداشت نهایی (۱۵ خردادماه) بوته‌های هر کرت آزمایشی و قبل از جدا کردن دانه‌ها، وزن کل بوته‌ها اندازه‌گیری و عملکرد بیولوژیک تعیین گردید. شاخص برداشت از معادله زیر محاسبه شد:

$$HI = \frac{GY}{BY} \times 100 \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه و BY: عملکرد بیولوژیک است. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.1، مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در

سطح احتمال پنج درصد و رسم شکل‌ها توسط اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

تبادلات گازی

میزان فتوسنتز

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر میزان فتوسنتز معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین میزان فتوسنتز از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان فتوسنتز از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۹۳/۸ درصدی در میزان فتوسنتز گردید. همچنین همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد میزان فتوسنتز در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد ۹۲/۵ و ۹۱/۴ درصد افزایش یافت. در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب اثر معنی‌داری بر میزان فتوسنتز خالص شده و سبب افزایش ۶۶/۴ درصدی نسبت به شاهد گردید (Aghababaei & Raiesi, 2011). مطالعات انجام گرفته نشان داده است که افزایش جذب آب به توسط قارچ میکوریزا اغلب منتج به زیاد شدن میزان رشد و محتوای آب برگ و در نهایت، منجر به افزایش در میزان فتوسنتز خالص می‌گردد (Dixon et al., 1994). به نظر می‌رسد که کم‌آبی از طریق کاهش شاخص سطح برگ، موجب کم‌شدن میزان فتوسنتز، ماده خشک، عملکرد دانه، اجزاء عملکرد می‌گردد (Jamshidi et al., 2009). کمبود آب از طریق کاهش تعداد دانه و کم فتوسنتز که منتج به کاهش در عملکرد دانه می‌شود (Karimzade Asl et al., 2003).

جدول ۴- تجزیه واریانس (مانکن مورفات) عملکرد اجزاء عملکرد و تبادلات گازی تحت کاربرد کود شیمیایی فسفر و قارچ میکروبی در ارقام مختلف جو دیم
Table 4- Analysis of variance (mean squares) for measured parameters under different levels of phosphorous chemical fertilizer and mycorrhizal fungi in dryland barley cultivars

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	میزان تعرق Transpiration rate	غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه- CO ₂ concentration under stomat	هدایت مزوفیلی Mesophyll conductance	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthesis water use efficiency	دمای برگ Leaf temperature	تعداد سنبه در متر مربع Spikes.m ⁻²	تعداد دانه در سنبه Grains.spike ⁻¹	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	1.05	0.12	29882.9	0.000023	0.33	4.8	1439.11	62.3	25.1	2871850.7	15505700.9	0.0019
رقم Cultivar (C)	3	12.2**	4.04**	1116.1**	0.00010**	0.36**	34.6**	550.55	203.8**	29.8**	3148800.08**	14805241.4**	0.0046**
منبع کودی Fertilizer source	4	26.9**	8.50*	12027.5**	0.00034**	0.89**	97.2**	3768.85**	494.01**	110.8**	9799611.6**	44158022.3**	0.020**
(FS) C × FS	12	0.54**	0.24**	5	0.0000011**	0.0145*	0.95**	120.9	16.9*	4.7**	342748.1*	1905201.2**	0.00042
خطا Error	38	0.033	0.010	9.6	0.0000008	0.0047	0.22	255.2	8.3	1.5	140705.4	624799.6	0.00044
نسب تغییرات CV (%)	-	6.8	4.4	1.05	10.6	8.24	1.7	4.2	13.4	3.9	15.4	11.8	6

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

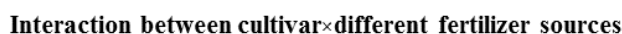


Fig. 1- Intraction of cultivar $\times$ fertilizer sources on photosynthesis rate in barley

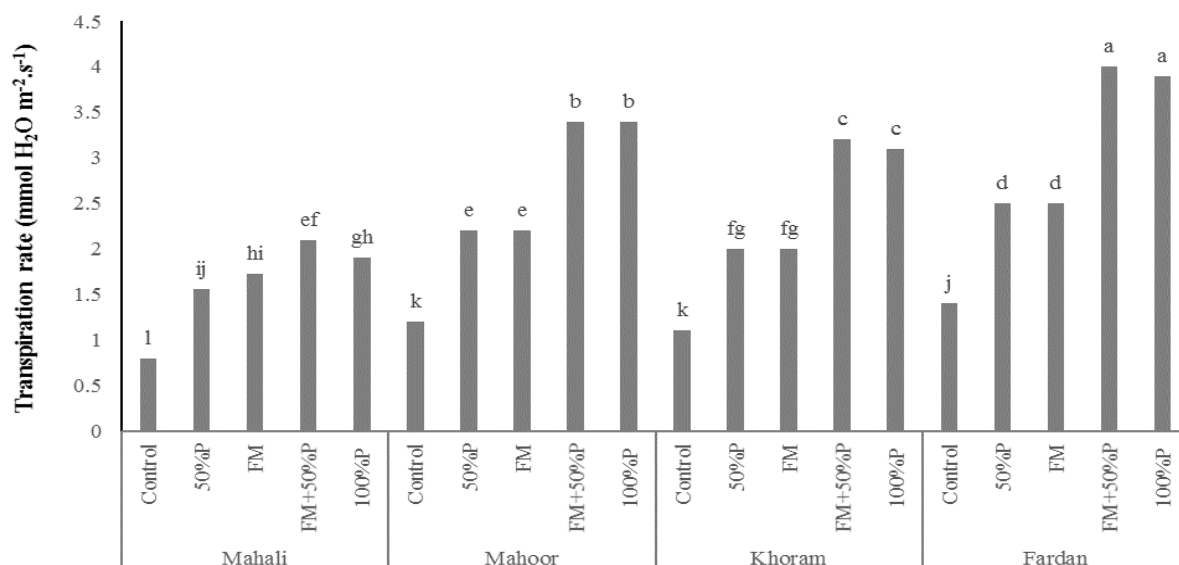
FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

در تحقیقات وو و زیا (Wu & Xia, 2006) نشان داده شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش میزان فتوسنتز و تعرق شد. کاربرد قارچ میکوریزا موجب بهبود سیستم ریشه شده (Cardoso & Kuyper, 2006)، به گونه‌ای که افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و نیتروژن و در نهایت، میزان فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد (Nasari et al., 2017a).

سرعت تعرق

اثر برهم‌کنش رقم $\times$ منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر سرعت تعرق معنی‌دار گردید (**جدول ۴**). بیشترین سرعت تعرق از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۸۰ درصدی در سرعت تعرق گردید.

با توجه به نتایج این تحقیق، میزان افزایش سرعت تعرق در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی، فسفر نسبت به شاهد به ترتیب ۷۶/۴ و ۷۵ درصد بود (شکل



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۲- برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی بر سرعت تعرق جو

Fig. 2- Interaction of cultivar × fertilizer sources on transpiration rate in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: ۵۰%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

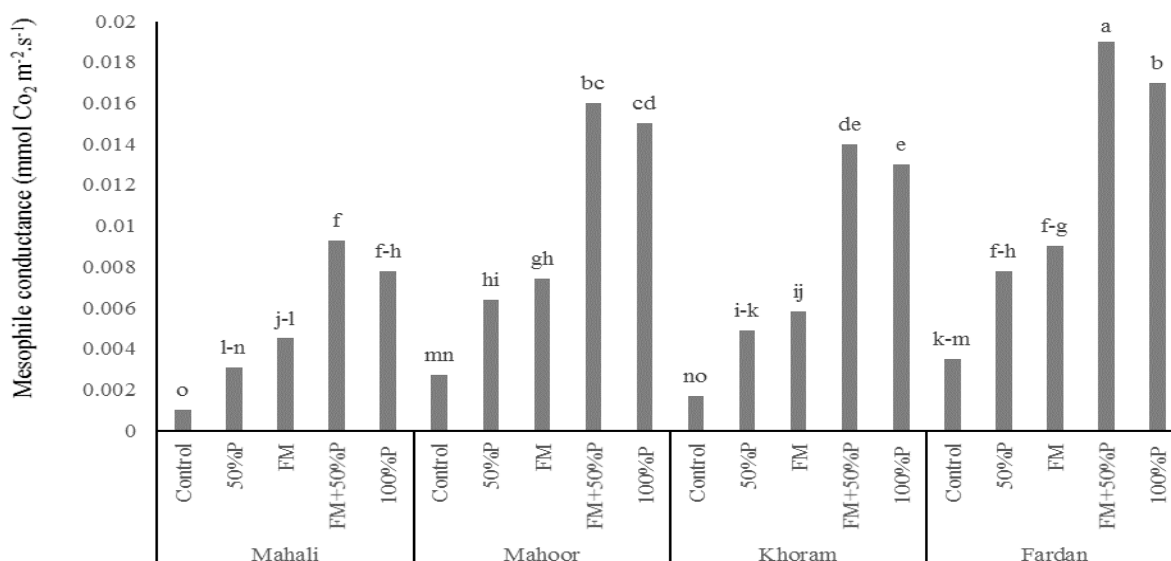
هدایت مزوفیلی

اثر برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر هدایت مزوفیلی معنی دار گردید (جدول ۴). بیشترین میزان هدایت مزوفیلی از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم محلی و در شاهد به دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۹۴/۷ درصدی در هدایت مزوفیلی گردید (شکل ۳). در این پژوهش همچنین نشان داده شد که میزان هدایت مزوفیلی در رقم های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به ترتیب ۹۳/۷ و ۹۲/۸ درصد افزایش یافت.

کارایی مصرف آب فتوسنتزی

اثر برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی معنی دار گردید (جدول ۴). بیشترین کارایی مصرف آب فتوسنتزی از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین کارایی از

رقم محلی در شاهد به دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۶۹/۲ درصدی در کارایی مصرف آب فتوسنتزی گردید. با توجه به شکل ۴، میزان افزایش کارایی مصرف آب فتوسنتزی در رقم های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به ترتیب افزایش ۶۸/۱ و ۶۶/۶ درصدی از خود نشان داد. در گزارش های سایر محققین نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب اثر معنی دار بر میزان کارایی مصرف آب فتوسنتزی و سبب افزایش ۶۸/۵ درصدی نسبت به شاهد گردید (Aghababaei & Raiesi, 2011). با توجه به اینکه میزان کلروفیل یکی از پارامترهای مهم در دستگاه فتوسنتز محسوب می گردد، هر گونه تنش خشکی سبب کاهش کلروپلاست خواهد شد (Jiang & Huang, 2001). فتوسنتز به عنوان یک فرآیند مهم متابولیسم اولیه نقش کلیدی در عملکرد دارد، به نحوی که از طریق کاهش انتشار دی اکسید کربن به کلروپلاست فرآیندهای متابولیکی گیاه را محدود می سازد (Pinheiro & Chaves, 2011).

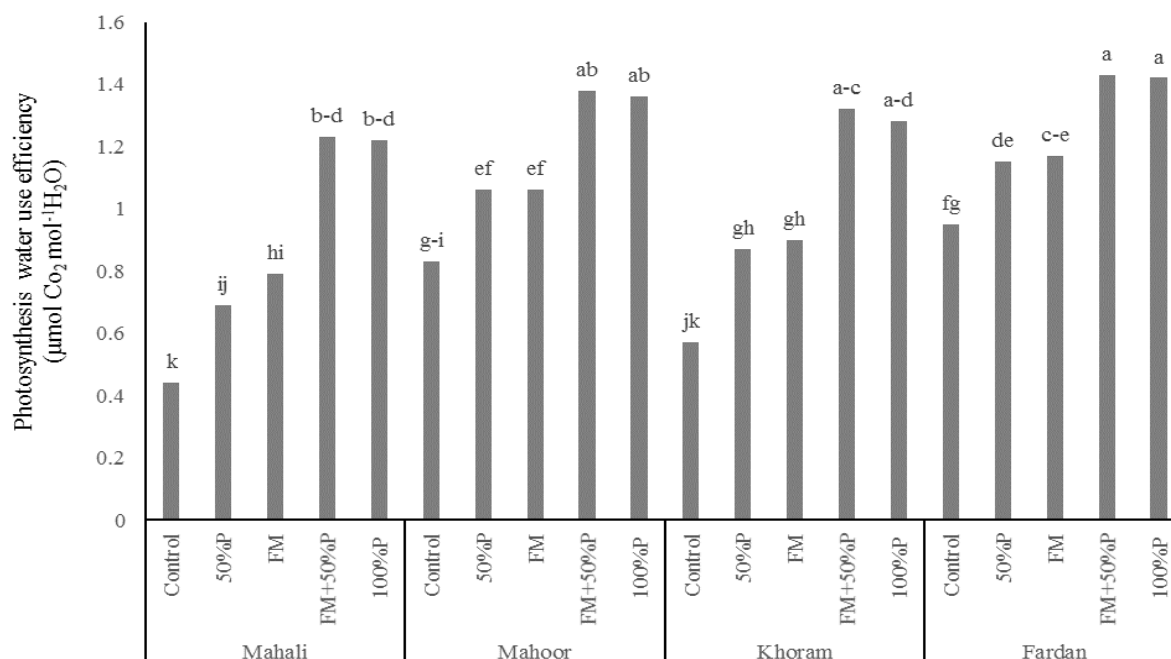


Interaction between cultivar×different fertilizer sour

شکل ۳- برهم کنش رقم $\times$ منابع مختلف کودی بر هدایت مزوفیلی جو

Fig. 3- Intraction of cultivar $\times$ fertilizer sources on photosynthesis mesophyle conductance in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: ۵۰٪P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+۵۰P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: ۱۰۰٪P



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۴- برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی جو

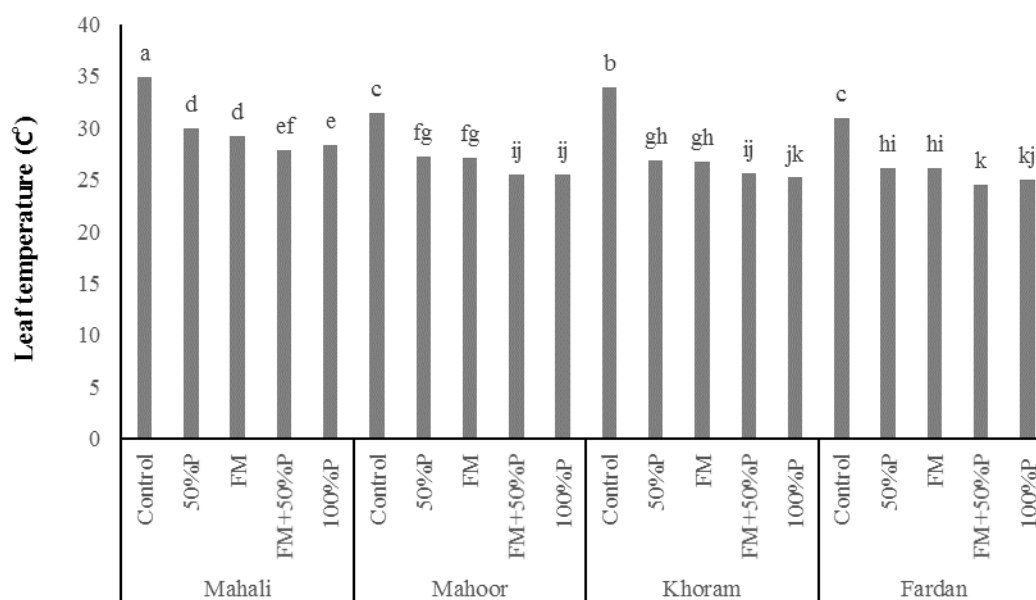
Fig. 4- Intraction of cultivar $\times$ fertilizer sources on photosynthesis water use efficiency in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: ۵۰٪P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: ۱۰۰٪P و FM+۵۰٪P

دمای برگ

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر دمای برگ معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین دمای برگ از رقم محلی در شاهد و کمترین آن از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به‌دست آمد که موجب افزایش ۲۹/۷ درصدی در دمای برگ در شاهد گردید (شکل ۵). دمای بالا موجب تغییر در ترکیبات و ساختار غشاء شده که نتیجه آن سبب نشت یون‌ها، و ممانعت از فرآیندهایی مثل فتوسنتز و تنفس می‌گردد (Taiz & Zeiger, 2006). قارچ میکوریزا از طریق زیادکردن هدایت هیدرولیکی خاک به‌واسطه تغییر در تعادل هورمون‌های گیاه، روابط آبی گیاه را افزایش داده است (Wu & Xia, 2006). سایر گزارش‌ها نیز افزایش سرعت تعرق، هدایت هیدرولیکی ریشه و پتانسیل آب برگ در گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا را اظهار داشتند که علت این امر را بالابودن ارتباط آبی در گیاه میکوریزایی عنوان شد (Sepaskhah & Yarami, 2009).

زمانی که گیاه با کمبود آب مواجهه می‌گردد، گیاه اقدام به بسته نمودن روزنه‌های خود می‌کند تا مقدار تبخیر آب از سطح گیاه کم شود. با کاهش مقدار تبخیر آب و تبادلات گازی، دمای سطح برگ زیاد می‌شود؛ و زمانی که شدت جذب انرژی توسط برگ بالا می‌رود، گیاه به‌خاطر عدم دسترسی به آب، روزنه‌های خود را بسته و موجب کاهش تعرق می‌شود و گیاه دیگر نمی‌تواند خود را خنک کند، در نتیجه از طریق انتقال طول موج بلند و هدایت گرمایی، حرارت را از خود دفع می‌کند، قارچ میکوریزا از طریق باز نمودن روزنه‌ها از زیاد شدن دمای سطح برگ ممانعت به عمل می‌آورد. تبخیر آب موجب خنک‌شدن برگ و ایجاد تعادل دمایی می‌شود، قارچ میکوریزا با باز گذاشتن روزنه‌ها، به افزایش تبادلات گازی در گیاه کمک می‌کند (Zarei, et al., 2013). سایر محققین نیز به افزایش تبادلات گازی در گیاه به‌سبب تعدیل گرمایی و کاهش دمای سطح برگ توسط قارچ میکوریزا اشاره نمودند (Auge, 2004).



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۵- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر دمای برگ جو

Fig. 5- Intraction of cultivar × fertilizer sources on leaf temperature in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

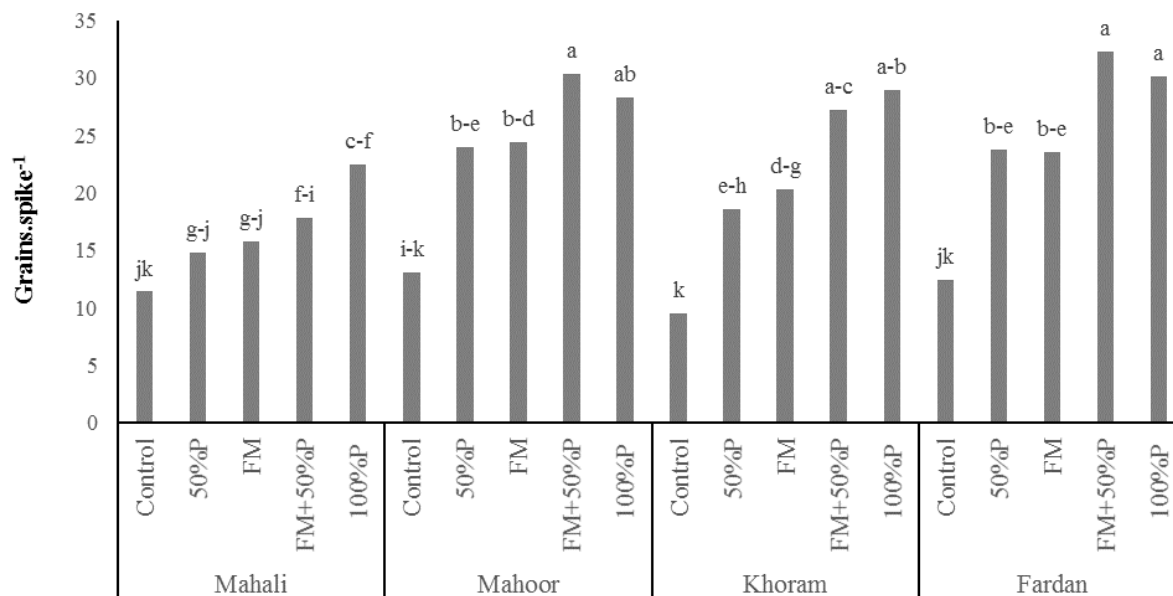
عملکرد و اجزاء عملکرد دانه

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثر اصلی نوع کود بر تعداد سنبله در مترمربع معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین تعداد سنبله در مترمربع بود و کمترین آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۵). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مخلوط قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر سبب افزایش تعداد سنبله در مترمربع گردید، که سبب افزایش ۱۰/۸ درصد در تعداد سنبله در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). با توجه به اینکه فسفر دومین عنصر محدودکننده بعد از نیتروژن می‌باشد، در تیمار عدم مصرف کود (شاهد)، شاهد کاهش تعداد پنجه‌ها و به تبع تعداد سنبله بودیم. افزایش تعداد سنبله در مترمربع در تیمار منابع کودی (کود فسفر و قارچ میکوریزا) احتمالاً به دلیل اثر مثبت منابع کودی بر سیستم رشد ریشه بوده که سبب افزایش قابل جذب مواد غذایی و در نهایت، باعث رشد گیاه از جمله افزایش تعداد سنبله می‌گردد. آنچه مشخص است، تلقیح با قارچ میکوریزا به دلیل توانایی در جذب عناصر غذایی (Naseri et al., 2017b) به طور قابل توجهی تعداد پنجه و به تبع سبب افزایش تعداد سنبله گردید. در گزارش‌های سایر محققین نشان دادند که تعداد پنجه سبب افزایش عملکرد گندم در تیمارهای تلقیح شده با کود زیستی می‌گردد (Mertnese & Hess, 2004).

تعداد دانه در سنبله در این آزمایش تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل رقم × منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم محلی × تیمار شاهد به دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۷۰/۵ درصدی تعداد دانه در سنبله گردید (شکل ۶). در این پژوهش همچنین میزان افزایش تعداد دانه در سنبله در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به ترتیب نسبت به شاهد افزایش ۶۲/۵ و ۵۸/۰۸ درصدی را نشان داد. با توجه به اینکه در شرایط دیم، رقم‌های مختلف جو با تنش‌های مختلف از جمله کم‌آبی و گرما مواجه می‌گردند و معمولاً براساس آمار هواشناسی در شرایط ایلام معمولاً از فروردین ماه میزان بارندگی کم می‌گردد (جدول ۲)، به نظر می‌رسد این کمبود بارندگی که هم‌زمان با مرحله گرده‌افشانی بوده می‌تواند بر

تشکیل دانه تأثیر منفی داشته باشد. در پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش اجزاء عملکرد دانه در گندم شد و رقم ساجی در حضور قارچ میکوریزا به همراه کود شیمیایی فسفر افزایش ۶۴/۱ درصدی تعداد دانه در سنبله را در مقایسه با شاهد نشان داد (Naseri et al., 2022). در گزارش‌های دیگر نیز ارقام سورگوم ۲۸۵ درصد دانه در بوته بیشتری را تحت تلقیح قارچ میکوریزا تولید کردند که دلیل این امر را نقش قارچ در انتقال مواد غذایی به دانه عنوان کردند (Cobb et al., 2016). همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است در شاهد، تعداد دانه در سنبله در تمامی ارقام مورد پژوهش نسبت به تیمار منابع کودی کاهش معنی‌داری پیدا کرد، اما در ارقام مختلف جو، قارچ میکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شد. آنچه مشخص است، در مرحله گرده‌افشانی که عمل تلقیح صورت می‌گیرد، کمبود رطوبت موجب می‌گردد که عمل تلقیح به‌خوبی صورت نگیرد و کاربرد قارچ میکوریزا (به دلیل افزایش توسعه سیستم ریشه در جذب رطوبت خاک) موجب بهبود عمل گرده‌افشانی و در نتیجه آن، افزایش تعداد دانه می‌گردد (Naseri et al., 2017a). در سایر گزارش‌ها به نقش مثبت کودهای زیستی در گیاه گندم اشاره گردید، به‌طوری‌که کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد شد (Hassanpour & Zand, 2014).

اثرات ساده تیمارها و برهم‌کنش رقم × نوع کود در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین وزن هزار دانه از رقم محلی و شاهد به دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۰/۹ درصدی وزن هزار دانه گردید (شکل ۷). در این آزمایش، میزان افزایش وزن هزار دانه در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به ترتیب نسبت به شاهد سبب افزایش ۲۵/۷ و ۲۱/۱ درصدی گردید. در تحقیقات انجام شده روی گندم نیز نشان داده شد که استفاده از کود زیستی به‌طور قابل توجهی سبب افزایش وزن هزار دانه شد، به‌طوری‌که در تیمار کود زیستی حل‌کننده فسفات، میزان وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد افزایش ۴۲/۷ درصد از خود نشان داد (Moradi et al., 2011).

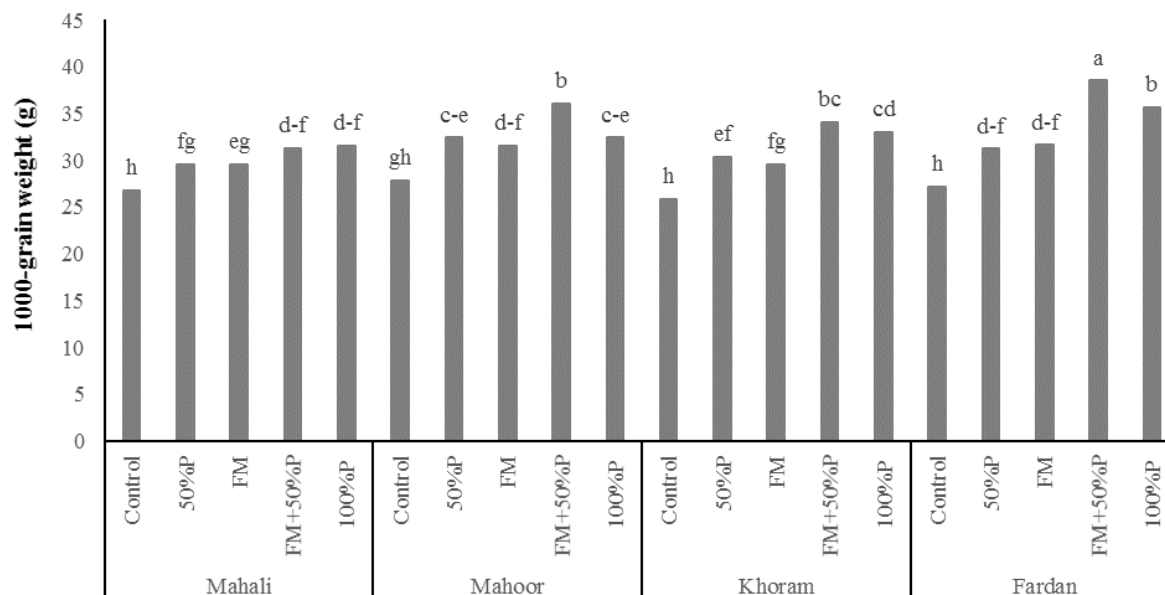


Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۶- برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی بر تعداد دانه در سنبله جو

Fig. 6- Intraction of cultivar × fertilizer sources on grains.spike⁻¹ in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 100%P و FM+50%P



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۷- برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی بر وزن هزار دانه جو

Fig. 7- Intraction of cultivar × fertilizer sources on 1000-grain weight in barley

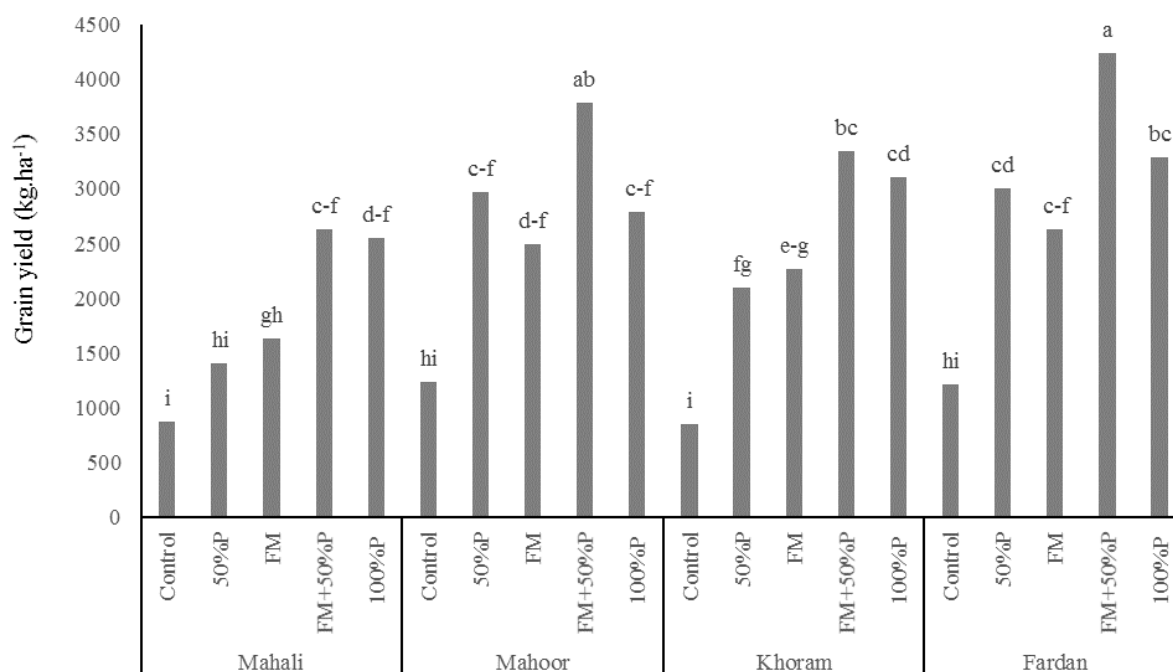
شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 100%P و FM+50%P

در سایر مطالعات صورت گرفته نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا دارای تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه جو داشت، به‌نحوی که قارچ میکوریزا سبب افزایش ۴۸/۷ درصدی وزن هزاردانه در مقایسه با شاهد گردید (Jerbi et al., 2022). در آزمایش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش وزن هزار دانه کنگد شده و سبب افزایش ۲۹ درصدی گردید. به نظر می‌رسد که علت افزایش وزن هزاردانه در ارقام جو مورد استفاده در حضور قارچ میکوریزا به‌دلیل توسعه ریشه که موجب فراهم شدن شرایط بهتر برای جذب عناصر غذایی شده است که این امر به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌گردد (Naseri et al., 2017a). زمانی که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می‌گردد، مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام‌های زایشی (دانه-ها) منتقل می‌کند. قارچ میکوریزا از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. معمولاً در شرایط آب‌وهوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه عملاً کمبود آب و گرما را شاهد هستیم (جدول ۲). آنچه مشخص است در تیمارهای کودهای زیستی، افزایش وزن هزار دانه به‌دلیل جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت، زیاد شدن میزان فتوسنتز و انتقال این مواد می‌باشد (Moradi et al., 2011). شهابا و ال‌خواوا (Shehata & EL-Khawaw, 2003) تأثیر کود زیستی را بر پارامترهای رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annulus* L.) مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کاربرد کود زیستی شامل حل‌کننده فسفات، اجزاء عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) بهبود بخشید.

اثر بهره‌کنش رقم $\times$ منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان عملکرد دانه از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۷۹/۳ درصدی در سرعت فتوسنتز گردید (شکل ۸). همچنین در این پژوهش رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به‌ترتیب میزان عملکرد دانه را ۷۶/۸ و ۷۳/۳ درصد افزایش یافت.

در تحقیقات ناصری و همکاران (Naseri et al., 2022) نیز نشان داده شد که گندم رقم ساجی در حضور مخلوط کود شیمیایی

فسفر و قارچ میکوریزا افزایش ۶۲ درصدی عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد از خود نشان داد. در تحقیقات مشابه نیز پژوهشگران نشان دادند که عملکرد دانه گیاه زراعی جو در شرایط تنش خشکی شدید تحت کاربرد قارچ میکوریزا، افزایش ۵۷/۵ درصد نسبت به تیمار عدم تلقیح را از خود نشان داد (Jerbi et al., 2022). در مطالعات دیگر روی برنج (*Oryza sativa* L.) تلقیح شده با قارچ میکوریزا، به‌ترتیب میزان باروری سنبلیچه و بهره‌وری برنج، ۱۲۵ و ۱۴۳ درصد افزایش یافت (Parvin et al., 2020). در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده از قارچ میکوریزا در تمامی ارقام جو سبب افزایش عملکرد دانه گردید، بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا در ارقام مختلف جو را می‌توان به بالا بودن اجزاء عملکرد یعنی تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت داد. افزایش جذب مواد معدنی توسط ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد دانه شده است. به نظر می‌رسد که استفاده قارچ میکوریزا احتمالاً با ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه‌زنی باعث استقرار سریع تر گیاهچه و بهره‌مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه می‌شود. چنین وضعیتی باعث می‌شود تا گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت پر کردن دانه‌ها داشته باشد که این وضعیت همراه با افزایش عملکرد دانه نمود بیشتری می‌یابد. تانوار و همکاران (Tanwar et al., 2003) با استفاده از تیمارهای مختلف کود فسفره و کودهای زیستی نشان داد که اثر متقابل بین فسفر و کود زیستی معنی‌دار است و همچنین تلقیح به مایه تلقیح به‌علاوه کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره باعث بالاترین عملکرد دانه گردید. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی می‌باشد. در سایر گزارش‌های مشابه نیز عملکرد دانه رازیانه در تیمار قارچ میکوریزا نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش نشان داد (Zamani et al., 2019). سادات و همکاران (Sadat et al., 2010) در آزمایش-های خود روی گندم نشان دادند که استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. نتایج این بررسی، کاربرد مثبت قارچ میکوریزا را در کاهش خشکی و تنش انتهایی فصل در شرایط دیم را نشان داد. به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه سبب جذب آب و مواد غذایی شده است که در نهایت، منتج به تولید عملکرد دانه بیشتری می‌گردد (Hassanpour & Zand, 2014).



Interaction between cultivar × different fertilizer sources

شکل ۸- برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی بر عملکرد دانه جو

Fig. 8- Intraction of cultivar × fertilizer sources on grain yield in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: ۵۰%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: ۵۰+ FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

زراعی را فراهم نمود. کودهای زیستی با تخصیص ماده خشک بیشتر به گیاه سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه، فراهم سازی امکان بهره برداری بهتر از نور و فتوسنتز بیشتر و در نهایت، افزایش رشد و نمو شدند. تاسانگ و موم (Tasang & Maum, 1999) گزارش کردند که گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا به طور معنی داری وزن خشک اندام هوایی بیشتری نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی داشت. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش به خصوص عملکرد بیولوژیک و سایر صفات مربوط به عملکرد و اجزاء عملکرد می توان چنین نتیجه گرفت که همزیستی با قارچ میکوریزا در شرایط مختلف رطوبتی می تواند باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شود و در شرایط تنش خشکی گرما باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش ها می شود. قارچ میکوریزا از طریق توسعه سیستم ریشه گیاه میزبان نهایتاً حجم بیشتری از خاک را اشغال و موجب افزایش جذب آب، عناصر غذایی و در نهایت، ماده خشک بیشتری را تولید می کند (Sajedi & Rejali, 2011). به همراه دارد. سایر بررسی هانیز نشان داده است که استفاده از قارچ

اثر برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی دار گردید (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک از برهم کنش رقم فاردان × قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم محلی و در شاهد به دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۶۶/۵ درصدی در میزان عملکرد بیولوژیک گردید. عملکرد بیولوژیک همچنین در رقم های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به ترتیب ۶۴/۳ و ۶۱/۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۹). در سیستم های تلفیقی، عملکرد بیولوژیک به دلیل افزایش اجزاء رویشی و زایشی در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با کود زیستی جذب عناصر غذایی بیشتر توسط گیاه رشد و نمو و فعالیت های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می دهد و این امر موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه می شود. بنابراین، با تلقیح کود زیستی و شیمیایی نه تنها می توان تولید را در حد بهینه نگه داشت، بلکه میزان کود شیمیایی را کاهش داد و می توان ثبات تولید محصول در سیستم های

میکوریزا موجب زیاد شدن سرعت و دوام فتوسنتز شده و راندمان انتقال مواد فتوسنتزی به دانه را افزایش می‌دهد که این امر موجب افزایش تجمع ماده خشک می‌گردد (Richter et al., 2005).

شاخص برداشت که بیانگر تخصیص مواد فتوسنتزی به سمت دانه می‌باشد، با توجه به جدول تجزیه واریانس تحت اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین شاخص برداشت بود و کمترین شاخص برداشت در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۵). شاخص برداشت در رقم فردان دارای درصد بالاتری بود که این موضوع به دلیل انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه که از شدت بالاتری برخوردار بوده که سبب بالا رفتن عملکرد اقتصادی دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک در رقم شده است. در این پژوهش مشاهده گردید که در تیمار مخلوط قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش شاخص برداشت گردید و شاهد

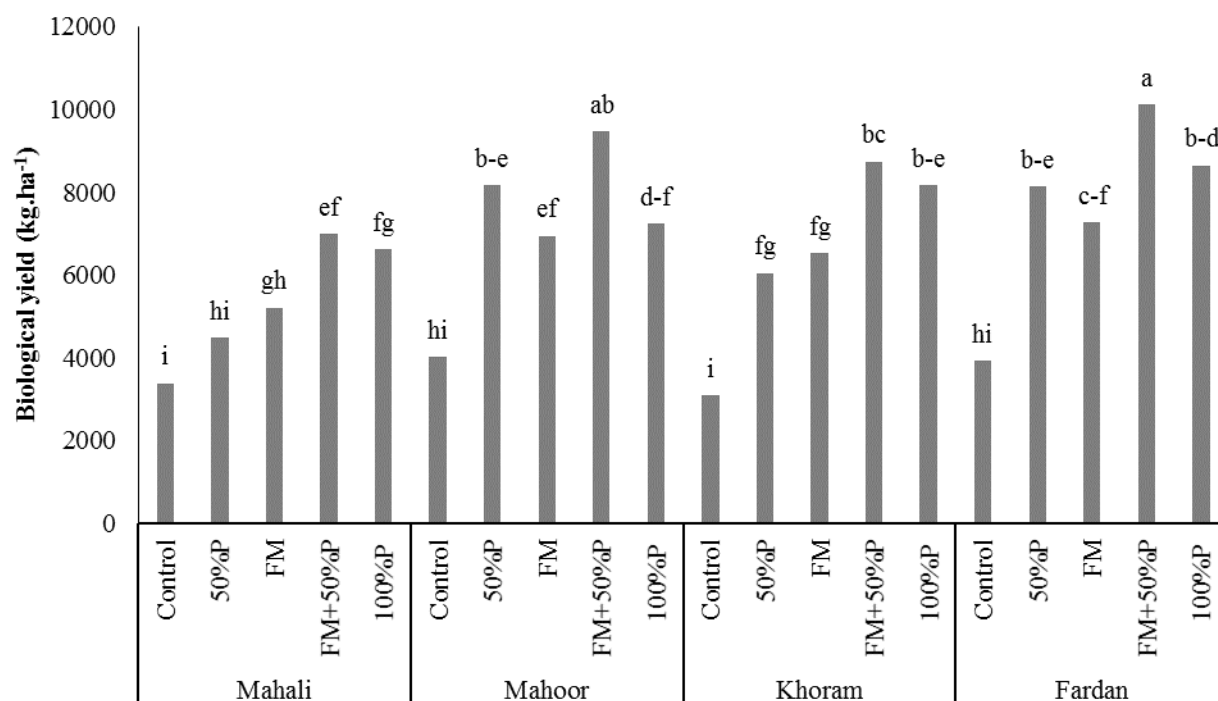
دارای کمترین میزان بود (جدول ۵). شاخص برداشت نسبتی از عملکرد بیولوژیک است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد و با افزایش تسهیم ماده خشک برای عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که شاخص برداشت به احتمال زیاد تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی اجرای آزمایش قرار گرفته و مناسب بودن شرایط محیطی و مدیریت مزرعه در بالاتر بودن شاخص برداشت مؤثر بوده است و این افزایش در سیستم تغذیه تلفیقی، چشمگیرتر بوده است. به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب بهبود رشد در ارقام جو شده و در نتیجه، با افزایش میزان فتوسنتز برگ موجب بهبود شاخص برداشت شده است. در گزارش‌های سارجوی و همکاران (Sarajuoghi et al., 2012) نشان داده شد که قارچ میکوریزا از طریق تأثیر بر وزن خشک بوته و تخصیص ماده خشک بیشتر، سبب افزایش شاخص برداشت شد.

جدول ۵- عملکرد تعداد سنبله در مترمربع، شاخص برداشت و غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای تحت تأثیر رقم و منبع کودی در شرایط دیم
Table 5- Spikes.m⁻², harvest index and CO₂ concentration under stomat affected by cultivar and fertilizer source under dryland conditions

	تعداد سنبله در مترمربع Spikes.m ⁻²	شاخص برداشت Harvest (%)	غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای CO ₂ concentration under stomat (mmol)
رقم Cultivar			
محلی Mahali	377.5	32.7 ^c	317.3 ^c
ماه‌ور Mahoor	369.2	36.07 ^{ab}	327 ^b
خرم Khoram	378.2	34.6 ^b	322.6 ^c
فردان Fardan	366.06	36.6 ^a	337.6 ^a
منابع مختلف کودی Fertilizer source			
شاهد Control	343.08 ^b	28.7 ^c	361.2 ^a
۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر 50% P	373.9 ^a	34.5 ^b	313.3 ^c
قارچ میکوریزا FM	374.2 ^a	34.3 ^b	357.9 ^b
قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر FM + 50% P	387.6 ^a	39.4 ^a	290.4 ^e
۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر 100% P	385 ^a	38 ^a	307.9 ^e

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

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



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۹- برهم کنش رقم × منابع مختلف کودی بر عملکرد بیولوژیک جو

Fig. 9- Intraction of cultivar × fertilizer sources on biological yield in barely

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: ۵۰%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

نتیجه گیری

ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرد، اما کاربرد قارچ میکوریزا به همراه کود شیمیایی فسفر در شرایط دیم سبب بهبود صفات مورد بررسی شد. در نهایت، با توجه به نتایج مشخص گردید که جو رقم فردان به همراه قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توانست عملکرد، اجزاء عملکرد و میزان فتوسنتز و کارایی مصرف آب فتوسنتزی بیشتری را به خود اختصاص دهد.

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در شرایط دیم و در شرایط عدم مصرف منابع کودی عملکرد، اجزاء عملکرد و همچنین تبادلات گازی تحت تأثیر قرار گرفته است، به گونه‌ای که تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و همچنین تبادلات گازی از جمله میزان فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت مزوفیلی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی در تمامی رقم‌های جو مورد بررسی به‌طور قابل

References

1. Aghababaei, F., & Raiesi, F. (2011). The Influence of mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosyntetise and water use efficiency in four almond genotypes in Chahar Mahal va Bakhtiary. *JWSS - Isfahan University of Technology*, 15(56), 91-102. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1390.15.56.7.7>
2. Auge, R.M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*, 84, 373-81. <https://doi.org/10.4141/S04-002>
3. Auge, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
4. Cardoso, I.M., & Kuyper, T.W. (2006). Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116, 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.011>

5. Celebi, S.Z., Demir, S., Celebi, R., Durak, E.D., & Yilmaz, I.H. (2010). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) applications on the silage maize (*Zea mays* L.) yield in different irrigation regimes. *European Journal of Soil Biology*, 46(5), 302–305. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.06.002>
6. Chareesri, A., De Deyn, G.B., Sergeeva, L., Polthanee, A., & Kuyper, T.W. (2020). Increased arbuscular mycorrhizal fungal colonization reduces yield loss of rice (*Oryza sativa* L.) under drought. *Mycorrhiza*, 30, 315–328. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00953-z>
7. Cobb, A.B., Wilson, G.W., Goad, C.L., Bean, S.R., Kaufman, R.C., Herald, T.J., & Wilson, J.D. (2016). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in grain production and nutrition of sorghum genotypes: Enhancing sustainability through plant-microbial partnership. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 432–440. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.024>
8. Dixon, R.K., Rao, M.V., & Garg, K. (1994). Water relation and gas exchange of mycorrhizal *leucaena leucocephala* seedlings. *Journal of Tropical Forest Science*, 6, 542–552.
9. Dobo, B. (2022). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and *Rhizobium* inoculation on growth and yield of *Glycine max* L. varieties. *International Journal of Agronomy*, 1, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/9520091>
10. Gholinezhad, E., & Darvishzadeh, R. (2015). Effect of mycorrhizal fungi on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3), 119–135. (In Persian with English abstract).
11. Hassanpour, J., & Zand, B. (2014). Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 1(2), 1–12. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.24763780.1393.1.2.1.3>
12. Jamshidi, E., Ghalavnd, A., Salahi, A., Zarea M.G., & Jamshidi, A.R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(2), 136–150. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.15625540.1388.11.2.4.6>
13. Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Jeddi, F.B., & Sahraoui, A.L.H. (2022). Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless barley (*Hordeum vulgare* ssp. nudum L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science*, 104, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103436>
14. Jiang, Y., & Huang N. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41, 436–442. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x>
15. Karimi, M., & Joleini, M. (2019). Supplemental irrigation in cultivation of rainfed wheat. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1), 29–34. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.77251>
16. Karimzade Asl, K.H., Mazaheri, D., & Pieghambari, S.A. (2003). Effect of four irrigation intervals on seed yield and quality characteristics of three sunflower cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 34(2), 293–300. (In Persian with English abstract)
17. Koocheki, A., Bakhshaie, S., Khorramdel, S., Mokhtari, V., & Taherabadi, S. (2015). Effect of mycorrhiza symbiosis on yield, yield components and water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.) affected by different irrigation regimes in Mashhad condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(3), 448–460. (In Persian with English abstract).
18. Lee, B.R., Muneer, S., Avic, J.C., Jung, W.J., & Kim, T.H. (2012). Mycorrhizal colonisation and P-supplement effects on N uptake and N assimilation in perennial ryegrass under well-watered and drought-stressed conditions. *Mycorrhiza*, 22(7), 525–534. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0430-6>
19. Mertnese, T., & Hess, D. (2004). Yield increase in spring wheat inoculated with *Azospirillum* under greenhouse and field condition of a temperate region. *Plant and Soil*, 82, 87–99. <https://doi.org/10.1007/BF02220773>
20. Moradi, M., Siadat, A., Khavazi, K., Naseri, R., Maleki, A., & Mirzaei, A. (2011). Effect of application of bio-fertilizer and phosphorus fertilizers on quantities and qualitative traits of spring wheat. *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*, 5(18), 51–66. (In Persian with English abstract).
21. Naghashzadeh, M.R., Heidari Sharifabad, H., Majidi Heravan, E., Rafiee, M., Rejali, F., & Imantalab, N. (2014). Evaluation of maize leaf gas exchanges with application of mycorrhizal biofertilizer under drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 30(1), 47–59. (In Persian with English abstract).

- <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110536>
22. Nakhzari Moghaddam, A., Samsami, N., Rahemi Karizaki, A., & Gholinezhad, E. (2020). Effect of irrigation on physiological traits and seed yield of soybean under inoculation with mycorrhiza fungi and rhizobium bacteria. *Environmental Stresses in Crop Science*, 13(2), 413-423. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2131.1531>
23. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2022). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on agronomic important traits in two wheat (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) cultivars under dryland conditions. *Journal of Agroecology*, 14(1), 19-33. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.51317>
24. Naseri, R., Mirzaei, A., & Soleimanifard, A. (2021). Study on grain yield and gas exchange in different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars influenced by applications of different sources of fertilizer under dryland farming. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 10(1), 1-21. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/idadj.2021.352008.319>
25. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z., (2017a). Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology*, 5 (1), 49-67. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/sbj.2017.113121>
26. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2017b). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 6(1), 1-34. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/idadj.2017.113427>
27. Naseri, R. (2017). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on morpho-physiological traits and yield of two wheat cultivars under dryland farming. *Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran*, 336 pp. (In Persian with English abstract)
28. Parvin, S., Van Geel, M., Yeasmin, T., Verbruggen, E., & Honnay, O. (2020). Effects of single and multiple species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi on the salinity tolerance of a Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivar. *Mycorrhiza*, 30, 431–444. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00957-9>
29. Pinheiro, C., & Chaves, M.M. (2011). Photosynthesis and drought—Can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, 62, 869–882. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq340>
30. Raei, Y., Shariati, J., & Weisany, W. (2015). Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(1), 65-84. (In Persian with English abstract).
31. Richter, J., Stutzer, M., & Schellenberg, I. (2005). Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and caraway (*Carum carvi* L.). *36th International Symposium on Essential Oils*, 4-7 September, Budapes, Hungary.
32. Sadat, A., Savaghebi, G., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavazi, K., & Shirmardi, M. (2010). Effects of some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting *Rhizobacteria* on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. *Journal of Water and Soil*, 24(1), 53-62. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.2920>
33. Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Spehri, R., Najafian, G., & Shabani, A. (2011). The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink-source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(4), 392-408. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001.1.15625540.1389.12.4.3.6>
34. Sajedi N.A., & Rejali, F. (2011). Effect of drought stress, zinc application and mycorrhiza inoculation on uptake of micro nutrients in maize. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(2), 83-92. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2011.126473>
35. Siosemardeh, A., khalvandi, M., bahram nejad, B., & Roohi, E. (2013). Effect of water stress on gas exchanges, leaf soluble protein and chlorophyll content of Sardari wheat ecotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 43(4), 573-588. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2013.29414>
36. Sarajuoghi, M., Ardakani, M.R., Nurmohammadi, G., Kashani, A., Rejali, F., & Mafakheri, S. (2012). Response of yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) to different biofertilizers and chemical fertilizers. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12(3), 315-320.

37. Sepaskhah, A.R., & Yarami, N. (2009). Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84(2), 216-222. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512507>
38. Shehata, M.M., & EL-Khawas, S.A. (2003). Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6, 1257-1268. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1257.1268>
39. Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Plant Physiology. Fourth Edition. *Sinauer Associates, Inc.* 764 pp.
40. Tanwar, S.P.S., Sharma, G.L., & Chahar, M.S. (2002). Effects of phosphorus and biofertilizers on growth and productivity of black gram. *Annals of Agricultural Research*, 23(3), 491-493.
41. Tasang, A., & Maum, M.A. (1999). Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastal foredunes. University of Waterloo, Canada. *Plant Ecology*, 144, 159-166.
42. Watts-Williams, S.J., Nguyen, T.D., Kabiri, S., Losic, D., & McLaughlin, M.J. (2020). Potential of zinc-loaded graphene oxide and arbuscular mycorrhizal fungi to improve the growth and zinc nutrition of *Hordeum vulgare* and *Medicago truncatula*. *Applied Soil Ecology*, 150, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103464>
43. Wu, Q.S., & Xia, R.X. (2006). Reactive oxygen metabolism in non-mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings subjected to water stress. *Journal Plant Physiology*, 163(11), 1101-1110. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.09.001>
44. Wu, S., Shi, Z., Chen, X., Gao, J., & Wang, X. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi increase crop yields by improving biomass under rainfed condition: A meta-analysis. *PeerJ*, 10, 1-25. <https://doi.org/10.7717/peerj.12861>
45. Zamani, F., Amirmia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., & Rahimi, A. (2019). The effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil from three fennel landrace. *Crops Improvement*, 20(4), 831-847. (In Persian with English abstract).
46. Zarei, M., Paymaneh, Z., Ronaghi, A., Kamgar Haghighi, A.A., & Shahsavar, A. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on growth and physiological parameters of rough lemon rootstock under water deficit conditions. *Journal of Water and Soil*, 27(3), 485-494. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.26037>



Evaluation of Environmental Effects of Applied Pesticides on Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.) Fields in Fazel Abad Region, Ali Abad Katool County

Zahra Deilam¹, Hossein Kazemi^{2*}, Maral Neiazmoradi³ and Javid Gherekhloo⁴

1- MSc Graduate, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Professor, Department of Horticulture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3- Phd Graduate, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

4- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

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

Received: 06-08-2024

Revised: 17-10-2024

Accepted: 22-02-2025

Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:

Deilam, Z., Kazemi, H., Neiazmoradi, M., & Gherekhloo, J. (2025). Evaluation of environmental effects of applied pesticides on (*Triticum aestivum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.) fields in Fazel Abad region, Ali Abad Katool county. *Journal of Agroecology*, 17(2), 239-263. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89253.1207>

Introduction

Excessive use of pesticides in agriculture creates many consequences for public health and environmental pollution. Numerous measures have been implemented in pest management and pesticide use to minimize the harmful effects of pesticide products. The Environmental Impact Quotient (EIQ) has been developed to quantify the risks of pesticides to humans and the environment. We can identify the most detrimental pesticides by measuring such a quotient and then enhancing society's biological health through replacing them with safer alternatives. The environmental effects of pesticide application by using that the environmental impact quotient were considered in this study. This study investigated the environmental effects of pesticides used in wheat and barley fields in Aliabad Katool county, Golestan province.

Materials and Methods

This study was conducted in wheat and barley fields in Fazel Abad of Ali Abad Katool County during 2021-2022. For this purpose, 22 wheat fields and 12 barley fields were randomly selected. The information related to pesticide spraying, field area, crop rotation and crop yields was collected from farmers as questionnaires. Then the amount of environmental effect of pesticides per hectare (EIQ-FUR) was obtained from the product of their EIQ value in the amount of effective substance and the consumption amount per hectare.



©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.2025.89253.1207>

Results and Discussion

According to the results of this study, the highest amount of damage to farm workers is in the group of herbicides related to Bromicide, in the group of insecticides related to Dursban, and in the group of fungicides to Altocombi, Raxil and Folicur determined. Also, Raxil, Folicur and Altocombi fungicides showed more damage to consumers and leaching risk. In addition, two insecticides, Diazinon and Dursban, were introduced as the most dangerous pesticides to environmental organisms. Also, Pumasuper, Altocombi, Folicur, and Raxil were known to be harmful pesticides on ecological components. In general, based on the EIQ index for each pesticide, Altocombi, Pumasuper, Dursban, Diazinon and Folicur were introduced as the most dangerous pesticides. Based on the EIQ index for each pesticide, Altokambi, Pumasuper, Dursaban and Folicor were introduced as the most dangerous pesticides in the fields. Considering the average consumption of pesticides per hectare and the amount of their effective substance in addition to the EIQ index, Inovor (18.48), Dursban (17.83), Bromicide (17.01), Diazinon (16.66), Malathion (13.68), 2,4-D (13.44), Bazagran (13.44) and Artea (13.25) were considered as dangerous pesticides in the region and therefore more planning should be done in using or replacing them.

Conclusion

The classification of the environmental impact of pesticides used in the study area indicated that environmental damage was greater in wheat fields than in barley fields. Barley fields fell into the very low to low damage categories, while wheat fields were classified as having moderate damage. This suggests that wheat farmers relied more heavily on chemical pesticides. Considering the necessity of planning for the use of pesticides and informing farmers about the risks of consumption and paying attention to the use of low-damage pesticides, it is suggested that this index be calculated for all pesticides used in the region and the selection of pesticides in integrated pest management programs should be done according to this index.

Acknowledgments

We would like to thank Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, wheat and barley farmers, and the Agricultural Jihad Management of Fazel Abad region, Ali Abad Katool county for their cooperation in conducting this research.

Keywords: Consumers, EIQ, Environment, Fungicide, Herbicide, Insecticide

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۲۶۴-۲۳۹

ارزیابی اثرات زیست محیطی آفت کش های مورد استفاده در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول

زهرا دیلم^۱، حسین کاظمی^{۲*}، مارال نیازمرادی^۳ و جاوید قرخلو^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴

چکیده:

شاخص تأثیر محیطی (EIQ) برای تعیین کمیت خطرات آفت کش ها برای انسان و محیط زیست توسعه داده شده است. با اندازه گیری این شاخص می توان پرخطرترین آفت کش ها را از لحاظ زیست محیطی شناسایی و با جایگزینی آن ها با آفت کش های دیگر، سلامت زیستی جامعه را تأمین نمود. در این مطالعه، اثرات زیست محیطی مصرف آفت کش ها در مزارع گندم و جو در بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ۲۲ مزرعه گندم و ۱۲ مزرعه جو به صورت تصادفی انتخاب شدند و اطلاعات مربوط به کاربرد آفت کش ها، مساحت مزارع، تناوب زراعی و عملکرد محصول در قالب پرسش نامه از کشاورزان جمع آوری شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان آسیب به کارگر مزرعه در گروه علف کش ها متعلق به برومایسید، فولیکور و راکسیل بیشترین آسیب متوجه کارگران مزرعه خواهد بود. همچنین در میان آفت کش های مصرفی در مزارع مورد بررسی، قارچ کش های راکسیل، فولیکور و آلتوکمبی در مقایسه با گروه آفت کشی علف کش و حشره کش، آسیب بیشتری بر جزء مصرف کنندگان و خطر آب شویی در محیط زیست نشان دادند. بررسی آفت کش های مصرفی و آسیب بر اجزای بوم شناختی، دو حشره کش دیازینون و دورسبان را به عنوان خطرناکترین آفت کش ها بر موجودات محیط زیست معرفی کرد. براساس شاخص EIQ برای هر آفت کش، سموم آلتوکمبی، پوماسوپر، دورسبان و فولیکور خطرناکترین آفت کش ها در مزارع مورد بررسی معرفی شدند. همچنین سموم اینوور (۱۸/۴۸)، دورسبان (۱۷/۸۳)، برومایسید (۱۷/۰۱)، دیازینون (۱۶/۶۶)، مالاتیون (۱۳/۶۸)، توفوردی (۱۳/۴۴)، بازگران (۱۳/۴۴) و آرتیا (۱۳/۲۵) به عنوان سموم پرخطر در منطقه در نظر گرفته شدند و لازم است که در استفاده از آن ها تجدید نظر صورت پذیرد.

واژه های کلیدی: جزء مصرف کننده، حشره کش، شاخص EIQ، علف کش، قارچ کش، محیط زیست

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- دانش آموخته دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(Email: hkazemi@gau.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89253.1207>

مقدمه

آفت از نگاه بوم‌شناختی یک واژه قراردادی است و تمامی موجودات، کارکردهای خاص خود را دارند و نمی‌توان هیچ‌یک را زیان آور دانست، اما انسان با تأثیر بر زیست‌کره، از جمله فرآیند کشاورزی، دامی، صنعتی و سایر فعالیت‌ها، نظم بوم‌نظام‌های طبیعی را بر هم می‌زند. از آن‌جایی که کشاورزی به‌عنوان منبع اصلی درآمدی ۵۱ درصد جمعیت جهان محسوب می‌شود، خسارت ناشی از آفات می‌تواند منجر به کاهش معنی‌داری در عملکرد و درآمد شود (FAO, 2009). در حال حاضر کشاورزی یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های بر هم زدن تعادل زیست‌بوم‌ها و کاهنده توان زیست‌پالایی است و در بهترین حالت از ۱۰۰ درصد سموم مورد استفاده در کشاورزی، ۲۵ درصد آن صرف کشتن آفات و علف‌های هرز می‌شود و بقیه آن از طریق مختلف وارد محیط زیست شده و باعث آلودگی می‌شود (Barzegar, 2019). ارزیابی خطرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سموم شیمیایی نشان می‌دهد که این مشکلات به مرور زمان گسترش یافته و این موضوع از بالا رفتن میزان پژوهش‌های مربوط به بررسی اثرات زیست‌محیطی سموم در ایالات متحده و اروپا مشخص می‌باشد. متأسفانه آمار این‌گونه مطالعه‌ها در کشورهای در حال توسعه با وجود مصرف فراوان سموم، پایین است (Pingali & Roger, 1995). امروزه با آگاهی در مورد مخاطرات ناشی از استفاده سموم کشاورزی، راهکارهای متعددی جهت کاهش این اثرات ارائه شده است که می‌توان به کشاورزی ارگانیک، مدیریت تلفیقی آفات و آموزش مصرف صحیح سموم اشاره کرد (Khosravi & Tohidfar, 2014).

به مرور زمان و با افزایش آگاهی بشر از این زیان‌ها، تقاضا برای کاهش پیامدهای منفی در فرآیند تولید، افزایش یافته است. هدف متخصصان کمینه کردن یا حذف این پیامدهای جانبی منفی، برای دستیابی به محیط‌زیست پاک برای نسل‌های آینده می‌باشد، به‌طوری‌که در کنار افزایش بهره‌وری و کارایی با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، بتوان در جهت کاستن آلاینده‌های زیست‌محیطی پیشرفت (Molaei et al, 2017). براین اساس، امروزه عوارض خطرناک سلامتی ناشی از مواجهه بیش از حد با سموم شیمیایی، به یک بحران مهم سلامتی در سطح جهان، به‌خصوص در کشورهای جهان سوم تبدیل شده است (Rezaei et al., 2020; Philippe et al., 2021).

و توجه به ایمنی غذا از سطح مزرعه، یک شرط ضروری برای سلامت محصول و تولید محصول سالم در نظر گرفته می‌شود (Gizaw, 2019).

روش EIQ اساساً یک فرمول ریاضی است که تأثیر زیست-محیطی مواد فعال آفت‌کش‌ها را براساس تبدیل مجموعه‌ای از اطلاعات فیزیکی-شیمیایی و سم‌شناسی، مانند سمیت پوستی حاد، سمیت برای پرندگان، اثرات درازمدت بر سلامتی و پتانسیل رواناب خاک تعیین می‌کند (Peterson & Shleier, 2014). این روش ارزیابی توسط جوزف کوواچ، استاد حشره‌شناسی در دانشگاه ایالتی اوهایو پیشنهاد شده است. از این شاخص برای سازماندهی داده‌های گسترده سم‌شناسی موجود درباره آفت‌کش‌های رایج، جهت ارزیابی می‌توان بهره گرفت. در واقع این شاخص، بیشتر نگرانی‌ها در مورد مقرون‌به‌صرفه بودن و کارایی آفت‌کش‌ها را برطرف می‌کند. همچنین هزینه‌های غیرمستقیم استفاده از آفت‌کش‌ها از جمله سلامت کارگران و قرار گرفتن در معرض مصرف‌کننده و همچنین هزینه‌های حیات وحش، سلامت محیطی و ایمنی را می‌توان به‌وسیله این شاخص آشکار ساخت (Arkin, 2011).

استفاده از مدل EIQ^۱ در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی علف‌کش‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی گندم در کشور در طی دوره ۱۰ ساله (سال‌های ۷۳ تا ۸۳)، توسط دیهیم‌فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2004) نشان داد که میزان توزیع (مصرف) و نیز به تبع آن اثرات محیطی (EI)^۲ در بیشتر استان‌های کشور روندی صعودی داشته و احتمال می‌رود که این روند همچنان ادامه داشته باشد. با توجه به میزان مصرف و ضرایب اثر محیطی سموم علف‌کش، هشت استان فارس، خوزستان، گلستان، لرستان، کرمانشاه، خراسان، آذربایجان غربی و اردبیل نسبت به سایر استان‌ها اثرات زیست‌محیطی بیش‌تری داشتند. محلول‌رادی و همکاران (Mahlouji Rad et al., 2012) در بررسی اثرات زیست‌محیطی قارچ‌کش‌های ثبت‌شده در ایران نشان دادند که قارچ‌کش‌های مخلوط بردو و اکسی کلرور مس از گروه ترکیبات غیرآلی بیش‌ترین و تبوکونازول و هگزاکونازول از گروه تری‌آزول دارای کم‌ترین ضریب اثر محیطی مزرعه‌ای بودند. پرخطرترین گروه قارچ‌کشی هم مربوط به گروه دارای نحوه عمل فعالیت تماسی چند

1- Environmental Impact Quotient

2- Environmental impact

محلی است که مخلوط بردو و اکسی کلرور مس جزء این گروه هستند.

معین‌الدینی و همکاران (Moeinoddini et al., 2014)، اثرات زیست‌محیطی حشره‌کش‌های ثبت‌شده در ایران را بررسی کرده و نشان دادند که استان‌های کرمان، مازندران و گلستان از نظر میزان مصرف و اثرات تجمعی سموم حشره‌کش در هر هکتار زمین زیرکشت در مقایسه با سایر استان‌ها بیش‌ترین اثرات زیست‌محیطی را داشتند. همچنین سه استان شمالی مازندران، گلستان و گیلان به‌ازای یک تن تولید محصول زراعی، بیش‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی را نشان دادند. در بررسی شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم و جو در مشهد، بیش‌ترین و کم‌ترین خطر در جزء مصرف‌کننده و آب‌شویی به‌ترتیب مربوط به قارچ‌کش کاربندازیم و حشره‌کش دلتامترین بوده است. همچنین بیش‌ترین آسیب به بخش بوم‌شناختی توسط حشره‌کش دیازینون ایجاد شده است (Maleki et al., 2015). در بررسی مخاطرات زیست‌محیطی حشره‌کش‌های پرمصرف در منطقه هشتگرد با استفاده از شاخص EIQ، یدالهی نوش‌آبادی و همکاران (Yadollahi Nooshabadi et al., 2017) نشان دادند که در این منطقه، سمیت بالقوه ایمیداکلوپراید (کنفیدور) و تأثیر محیطی مزرعه‌ای مالاتیون بیش‌تر بوده است. بیش‌ترین خطر در هر سه جزء کارگران مزرعه، مصرف‌کننده و بوم‌شناختی مربوط به سم ایمیداکلوپراید بوده که این سم را به‌عنوان خطرناک‌ترین حشره‌کش منطقه معرفی کردند. حسینی (Hoseini, 2018) در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع گندم، کلزا، پنبه و سویا در شهرستان‌های گرگان و علی‌آبادکتول نشان دادند که حشره‌کش‌های دیازینون، پروفونفوس، کلرپیریفوس، تیودیکارب، ایمیداکلوپراید، پروپارژیت و دیمیتوات و قارچ‌کش‌های کاربندازیم، پروپیکونازول و تبوکونازول جزو پرمخاطره‌ترین آفت‌کش‌های مصرفی بودند. نیازمادی و همکاران (Niazmoradi et al., 2024) در بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در ۵۹ مزرعه گندم شهرستان بندرترکمن نشان دادند که تعداد پنج مزرعه آبی گندم، EIQ-FUR بالاتر از ۲۵ داشته و به‌عنوان بوم‌نظام‌هایی با اثر محیط زیستی متوسط شناخته شدند.

کراس و ادوارد جونز (Cross & Edwards-Jones, 2006)، اثر زیست‌محیطی سموم مصرفی در بریتانیای کبیر را در مدت ۱۰ سال (۱۹۹۲-۲۰۰۳) در تولید چهار محصول زراعی گندم، جو زمستانه، جو

بهاره و کلزا بررسی کرده و نشان دادند که کاهش متوسط اثرات زیست‌محیطی در این دوره، در گیاه گندم تا ۱۲ درصد، جو زمستانه ۳۱ درصد، جو بهاره ۸ درصد و کلزا تا پنج درصد بوده است و در طی ۱۰ سال گذشته، کل اثرات مضر ایجادشده به‌وسیله آفت‌کش‌ها به‌علت کاهش مصرف آن‌ها کاهش داشته است.

ماچاریا و همکاران (Macharia et al., 2009) در بررسی مخاطرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در سبزیجات در کنیا نشان دادند که در تولید ۶۲ محصول سبزی، ۳۶ ماده مؤثره استفاده شده است. از بین این سموم مصرفی، سازمان بهداشت جهانی هشت درصد را به‌عنوان ترکیبات خطرناک، ۲۵ درصد را به‌عنوان مواد سرطان‌زا و ۴۸ درصد را محتمل به سرطان‌زایی معرفی کردند. در تحقیق دیگری در مزارع گوجه‌فرنگی *Solanum lycopersicum* (L.)، نشان داده شد که استفاده از آفت‌کش‌ها بیش‌ترین تأثیر را بر کارگران و بندپایان مفید داشته و کم‌ترین اثر منفی را بر ماهیان و مصرف‌کنندگان گذاشته است (Sande et al., 2011). دوریس و همکاران (Doris et al., 2011) با شاخص EIQ و از طریق ارزیابی مضرات متیل بروماید و جایگزین‌های پیشنهادی آن روی کارگران مزرعه، مصرف‌کنندگان، مهره‌داران مفید، پرندگان، ماهی‌ها و زنبورها، نشان دادند که یدومتان کم‌ترین مقدار این شاخص و نرخ مصرف مزرعه‌ای را داشت و جایگزینی آن با یدومتان با کم‌ترین خطر همراه است. ارزیابی اثرات کاربرد آفت‌کش‌ها در میان مزارع کاکائو (*Theobroma cacao*) در منطقه غرب کشور غنا نشان داد که استفاده از مس هیدروکسید، ایمیداکلوپراید (کونفیدور) و استامی‌پراید در منطقه مطالعاتی، خطرات زیادی برای محیط زیست به‌خصوص برای حشرات و گرده‌افشان‌ها ایجاد می‌کند (Ansa, 2019).

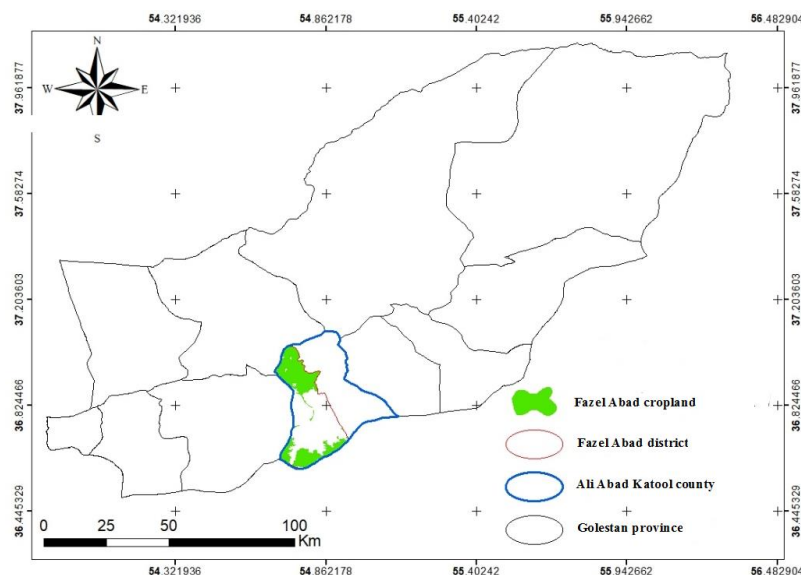
کومارکانوجیا و اسریش (Kumar Kanojia & Sreekesh, 2020) در بررسی اثر زیست‌محیطی در کشت برنج (*Oryza sativa*) در منطقه لودیانی شمال هند از مدل EIQ استفاده کرده و نشان دادند که مطابق طبقه‌بندی سازمان بهداشت جهانی (WHO)، ۵۰ درصد از مزارع EIQ-FUR پایین (۲۵-۵۰)، ۱۹ درصد اثر زیست-محیطی بسیار پایین (> 25) و ۳۱ درصد نیز مقدار اثر زیست‌محیطی متوسط (۱۰۰-۵۰) را نشان دادند. در ارزیابی خطر علف‌کش‌ها در مقایسه با سایر آفت‌کش‌ها در برزیل، کاربونری و ولینی (Carbonari

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این مطالعه به منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی زراعت گندم و جو بخش فاضل‌آباد در شهر علی‌آبادکتول (استان گلستان) در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. بخش فاضل‌آباد با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و در ارتفاع نسبی ۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد بررسی از غرب به شهرستان گرگان، از شرق به شهر علی‌آبادکتول، از شمال به شهرستان آق‌قلا و از جنوب به استان سمنان منتهی می‌شود (شکل ۱). از محصولات عمده در این منطقه می‌توان گندم، جو، کلزا، نخودفرنگی، باقلا، سویا، برنج، ذرت، پنبه، سیب‌زمینی و چغندر قند را نام برد. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، سطح کشت حدود ۹۹۰۹ هکتار به گندم آبی، ۲۲۰۶ هکتار به گندم دیم، ۴۴۳/۵ هکتار جو آبی و ۲۵۰ هکتار به جو دیم اختصاص داده شد. همچنین مجموع بارندگی در طول دوره رشد این محصولات (مهر- خرداد)، ۴۲۳/۶ میلی‌متر ثبت شد (Fazel Abad Agricultural Service Center, 2022).

(Velini, 2021) نشان دادند که میانگین دوز و ضریب تأثیر محیط زیستی (EIQ) سموم به‌طور مداوم کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد، سموم و تولیدات جدید کارآمدتر بوده و خطرات کم‌تری برای محیط زیست، کشاورزان و مصرف‌کنندگان دارند. اصولاً با توجه به منطقه و شرایط آب و هوایی، میزان و دفعات سم‌پاشی متفاوت می‌باشد. در بیش‌تر نقاط استان گلستان و به‌خصوص بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، به‌علت بالا بودن میزان بارندگی (حدود ۶۰۰ میلی‌متر در سال) و آب و هوای مرطوب در بیش‌تر سال، شرایط برای تشدید وقوع خسارت آفات و عوامل بیماری‌زا فراهم است. از طرفی، با توجه به تنوع محصولات کشاورزی، نظام کشت فشرده و زیرکشت بودن زمین‌های کشاورزی در تمام طول سال، میزان مصرف سموم کشاورزی در واحد سطح مزارع بالا است. بنابراین هدف این مطالعه، تعیین وضعیت اثرات زیست‌محیطی سموم مصرفی در زراعت گندم و جو به‌عنوان گیاهان زراعی اصلی در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول (استان گلستان) با استفاده از شاخص تأثیر محیطی (EIQ) می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت زمین‌های کشاورزی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 1- The location of agricultural lands of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

انتخاب مزارع و جمع‌آوری اطلاعات مدیریتی

به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سموم مصرفی در محصولات گندم و جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، تعداد ۲۲ مزرعه گندم و ۱۲ مزرعه جو، با پراکندگی یکنواخت در جهات مختلف جغرافیایی منطقه انتخاب و موقعیت آن‌ها با استفاده از دستگاه GPS ثبت گردید. اطلاعات و داده‌های مربوط به تمامی آفت‌کش‌های مصرفی برای مه‌ار و مدیریت آفات (برحسب نوع سم، تعداد دفعات سم‌پاشی و غلظت ماده مؤثره) و همچنین میزان عملکرد

اقتصادی برداشت‌شده توسط کشاورزان و نوع عملیات زراعی هر مزرعه، از طریق پایش مزارع، پرسش‌نامه و مصاحبه چهره‌به‌چهره با کشاورزان و مدیران مزرعه گردآوری و ثبت شد (جدول ۱ و ۲).

شاخص اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها (EIQ)

ارزیابی مخاطرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها در زراعت گیاهان مورد بررسی در این مطالعه، با استفاده از روش EIQ انجام شد. مقدار عددی این شاخص، میانگین سه جزء اصلی آسیب می‌باشد (معادله ۱).

جدول ۱- مشخصات مزارع گندم و جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Table 1- Characteristics of wheat and barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

محصول Crop	شماره مزرعه Field number	مختصات Coordinate		مساحت Area (ha)	سامانه System	تعداد سم‌پاشی Number of sprays	عملکرد Yield (ton.ha ⁻¹)
		X	Y				
گندم Wheat	1	293896	4094105	2	1	4	4.5
	2	295423	4093374	3	1	2	4.1
	3	300577	4088260	5	1	4	5.0
	4	301394	4086079	12	1	4	4.5
	5	301435	4088624	20	1	5	6.8
	6	301913	4093171	2	1	3	4.9
	7	301654	4094982	2	1	3	4.3
	8	302357	4096316	2	1	4	6.0
	9	294595	4093751	3	1	4	4.5
	10	293748	4099632	7.5	2	4	2.8
	11	303086	4083008	3	1	3	4.1
	12	295348	4090044	3	1	3	5.0
	13	296686	4102287	11	2	3	2.0
	14	300768	4097052	2	2	3	2.5
	15	294484	4096791	3	2	3	3.5
	16	301897	4086498	3	1	3	4.6
	17	303035	4084450	4	1	4	5.0
	18	302439	4085051	3	1	4	4.0
	19	296450	4088983	3	1	1	4.0
	20	298293	4089741	4	2	2	2.3
	21	301583	4082991	5	1	5	5.0
	22	301312	4082093	2	1	3	4.8
جو Barley	1	295940	4095244	2	2	4	4.5
	2	301435	4088624	5	2	3	6.0
	3	297537	4098155	2	2	1	2.3
	4	302812	4083281	2	2	3	4.0
	5	303846	4089521	2.5	2	2	3.0
	6	296119	4093644	4	2	1	3.5
	7	295228	4093166	4	2	3	2.2
	8	300484	4093569	1.5	2	3	3.5
	9	301897	4086498	4	2	2	4.0
	10	300043	4089738	2	2	1	2.7
	11	298624	4094164	3	2	0	4.7
	12	302070	4084348	2.5	2	0	4.5

۱: نظام آبی و ۲: دیلم

1: Irrigated, 2: Rainfed

جدول ۲- فهرست آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم و جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کاتول، استان گلستان

Table 2- List of pesticides used in wheat and barley fields of Fazel Abad district Ali Abad Katool county, Golestan province

محصول Crop	نام آفت‌کش Pesticide	شماره مزرعه Field number	نام آفت‌کش Pesticide	شماره مزرعه Field number
گندم Wheat	راکسیل Raxil	تمامی مزارع All fields	برومایسید Bromicide	تمامی مزارع به جز ۲، ۱۳، ۱۵ و ۲۰ All fields except 2, 13, 15, 20
	آتلانتیس Atlantis	تمامی مزارع به جز ۲، ۲۰، ۲۱ و ۲۲ All fields except 2, 17, 20, 21, 22	تیلت Tilt	1, 2, 3, 5, 6, 10, 12, 13, 14, 16, 21, 22
	آلتوکمبی Altocombi	4, 5, 6, 9, 11, 12, 15, 16, 20	دiazinon Diazinon	7, 9, 10, 16, 17, 18, 20
	فولیکور Folicur	3, 7, 10, 13, 14, 15, 17	استامی‌پراید Acetamiprid	5, 6, 16
	دسیس Decis	1, 3, 4	اینور Inovor	11, 12, 17
	سایپرمترین Cypermethrin	8	آرتیا Artea	8
	اتللو Othello	22	مالاتیون Malathion	20
	کربوکسین تیرام Carboxin Tiram	تمامی مزارع به جز ۷ All fields except 7	تیلت Tilt	1, 3, 5, 6, 7, 9
جو Barley	برومایسید Bromicide	1, 7, 9, 10	پوماسوپر Puma super	7, 8, 9
	آلتوکمبی Altocombi	2, 3	توفوردی 2, 4-D	2
	بازاگران Basagran	4	گرانستار Granstar	8
	راکسیل Raxil	7	دورسبان Dursban	5

$$[(DT \times 5) + (DT \times P)] + [(C \times P \times SY) + (L)] + [(F \times P) + (T \times P \times 5) + (Z \times P \times 3)] / 3$$

معادله (۶)

$$\{C[(DT \times 5) + (DT \times P)] + [(C \times SY) + (L)] + [(F \times R) + (D \times ((S+P)/2) \times 3) + (Z \times P \times 3) + (B \times P \times 5)]\} / 3$$

که در آن‌ها، z : آفت‌کش مصرفی، DT : سمیت پوستی، C : سمیت مزمن، SY : سیستمیک بودن، F : سمیت برای ماهی‌ها، L : پتانسیل آبشویی، R : پتانسیل تلفات سطحی، D : سمیت برای پرندگان، S : نیمه عمر خاک، Z : سمیت برای زنبور عسل، B : سمیت برای بندپایان سودمند و P : نیمه عمر در سطح گیاه است (Kovach et al., 1992).

در معادله‌های ذکر شده، X_1 میزان آسیب به کارگران مزرعه را تعریف می‌کند که از طریق مجموع آسیب به کارگران سم‌پاش $(DT \times 5)$ و کارگران برداشت‌کننده $(DT \times P)$ و حاصل ضرب آن با میزان سمیت مزمن (C) به دست می‌آید. X_2 آسیب به بخش مصرف‌کنندگان که به صورت مجموع پتانسیل در معرض قرار گرفتن مصرف‌کنندگان $(C \times P \times SY)$ به اضافه خطر اثرات نامطلوب طولانی -

اجزای تشکیل‌دهنده این شاخص شامل آسیب بالقوه برای سلامت کارگران مزرعه (معادله ۲)، آسیب به مصرف‌کنندگان از طریق اثر مستقیم مواد سمی باقی‌مانده در محصولات غذایی و یا از طریق آلودگی آب‌های زیرزمینی (معادله ۳) و اثرات منفی بالقوه برای محیط زیست شامل موجودات زنده آبزی و خشکی‌زی (معادله ۴) را نشان می‌دهد (Kovach et al., 1992). به این ترتیب، مدل EIQ مجموعه اطلاعات اثرات زیست‌محیطی مصرف آفت‌کش است که به صورت یک عدد از طریق معادله جبری ارائه شده در زیر محاسبه می‌گردد (معادله ۵) (Kovach et al., 1992; Bazrgar et al., 2013; Gios et al., 2022).

$$EIQ_i = (X_1 + X_2 + X_3) / 3$$

معادله (۱)

$$X_1 = C [(DT \times 5) + (DT \times P)]$$

معادله (۲)

$$X_2 = [(C \times P \times SY) + (L)]$$

معادله (۳)

$$X_3 = [(F \times P) + (T \times P \times 5) + (Z \times P \times 3)]$$

معادله (۴)

معادله (۵)

$$EIQ_i = \{C$$

قرار می‌گیرد، بنابراین برای کمی کردن اثرات محیطی سموم آفت‌کش در مزارع، پس از محاسبه شاخص تأثیر محیط زیستی (اثر بالقوه)، براساس معادله ۶ میزان اثر محیطی هر آفت‌کش در واحد هکتار، با توجه به میزان مصرف و ماده مؤثره محاسبه و آفت‌کش‌های پرخطر برای سلامت انسان و محیط زیست شناسایی گردید (Moeinoddini et al., 2014). برای اندازه‌گیری میزان شاخص محیط زیستی یک سم در واحد سطح (هکتار) در یک مزرعه، از حاصل ضرب مقادیر EIQ در میزان ماده مؤثره هر آفت‌کش و مقدار مصرف آفت‌کش در مزرعه استفاده شد. در نهایت، مقادیر EIQ-FUR برای هر آفت‌کش به‌کاررفته در هر مزرعه، برای تعیین اثر زیست‌محیطی تولید هر محصول در مدیریت آفات جمع زده شدند (معادله ۶).

$$\text{EIQ}_{\text{FUR}} = \text{EIQ} \times \% \text{ activeingredient} \times \text{RA} \quad (\text{معادله } 6)$$

که در آن، EIQ-FUR: اثر زیست‌محیطی در واحد هکتار، EIQ: شاخص تأثیر زیست‌محیطی آفت‌کش، RA: میزان مصرف آفت‌کش در واحد هکتار در مزرعه و $\% \text{ activeingredient}$: درصد ماده مؤثره آفت‌کش می‌باشد.

بررسی رابطه بین عملکرد و اثرات محیط زیستی مزارع

به‌منظور بررسی رابطه بین استفاده از سموم شیمیایی و اثر آن بر میزان عملکرد گیاهان گندم و جو، از معادله‌های رگرسیونی بین EIQ-FUR و عملکرد گیاهان استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های مورد بررسی جهت یافتن این رابطه، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

ترسیم نقشه‌های تأثیر محیط زیستی مزارع مورد بررسی

به‌منظور ترسیم نقشه اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم و جو، ابتدا یک پایگاه اطلاعاتی شامل مختصات مکانی ثبت‌شده هر مزرعه و مقدار عددی شاخص در صفحه Excel نسخه ۲۰۱۳ ایجاد و سپس لایه‌های کاربری اراضی کشاورزی و مرز شهرستان در نرم‌افزار ArcGIS در محیط ArcMap نسخه ۱۰/۸ فراخوانی و شاخص اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها برای هر محصول با استفاده از روش شبکه‌بندی تیسن^۱، به‌صورت نقشه خروجی گرفته شد. طبقه‌بندی مقادیر مختلف EIQ-FUR در این مطالعه، براساس کلاس‌بندی سایت دانشگاه کورنل به‌صورت زیر (جدول ۴) انجام شد

مدت بر موجودات آبی (L) تعریف می‌شود. تأثیر بر موجودات آبی در معادله X_2 گنجانده شده است، زیرا شامل پایداری شیمیایی در آب-های زیرزمینی است که ممکن است بر سلامت انسان (از طریق نوشیدن آب آلوده) و همچنین حیات وحش تأثیر بگذارد. بخش بوم-شناختی این شاخص یعنی X_3 ، تأثیر بر نظام‌های آبی و خشکی را نشان می‌دهد. تأثیر محیط زیستی سموم بر نظام‌های آبی با ضرب امتیاز سمیت شیمیایی برای موجودات آبی (F) در خطر اثرات نامطلوب طولانی‌مدت بر محیط آبی (L) تعیین می‌شود. تأثیر بر نظام‌های خشکی نیز شامل مجموع اثرات شیمیایی بر زنبورها ($Z \times P \times 3$) و سایر موجودات آزمایشی خشکی ($T \times P \times 5$) است. از آن‌جاکه احتمال تماس موجودات خشکی با نظام‌های کشاورزی بیش‌تر از موجودات آبی است، با ضرب رتبه خطر زنبورها در عدد سه و رتبه خطر برای سایر موجودات خشکی در عدد پنج، وزن بیش‌تری به آن‌ها داده شده است (Gios et al., 2022).

شاخص EIQ مربوط به هر یک از سموم شیمیایی (با توجه به در دسترس بودن داده‌های معادله‌ها) ثابت بوده و طی تحقیقات و آزمایش‌ها در منابع مختلف به دست می‌آیند. برآورد حدود ۳۲۲ آفت‌کش با استفاده از مدل EIQ در http://www.nysipm.cornell.edu/publication/eiq/files/EI_Q_values04.pdf (Ramezani, 2013) در این مطالعه، اعداد مربوط به اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی از آخرین نسخه به‌روزرسانی‌شده مربوط به این سایت در سال ۲۰۲۳ و همچنین منابع علمی (جدول ۳) استفاده شد (Niazmoradi et al., 2024). مقادیر ممکن برای این شاخص می‌تواند در محدوده ۲۲۶/۷-۶/۷ برای تمامی آفت‌کش‌ها متغیر باشد. چون برای علف‌کش‌ها همیشه متغیر SY برابر عدد یک و P برابر عدد سه است، بنابراین بیشینه مقدار EIQ برای علف‌کش‌ها ۱۴۳/۳ می‌باشد (Kniss & Coburn, 2015; Niazmoradi et al., 2024).

لازم به ذکر است که به‌دلیل نبود مقادیر EIQ قارچ‌کش‌های آرتیا و اینور در سایت Nysipm و سایر منابع علمی، و همچنین ترکیب بودن این قارچ‌کش‌ها از چندین ترکیب شیمیایی با نسبت‌های مشخص، محاسبه مقایر EIQ آن‌ها با استفاده از EIQ معین هر کدام از این ترکیبات و نسبت‌های آن‌ها در ترکیب قارچ‌کش‌های مذکور انجام شد.

اثر محیط زیستی بالقوه آفت‌کش‌ها در مزرعه (EIQ-FUR)

با توجه به اینکه خطر محیطی یک آفت‌کش تابعی از میزان سمیت آن و مقداری است که در تماس با محیط، جاندار و یا انسان

(Kovach et al., 1992).

جدول ۳- اجزای شاخص محیط زیستی (EIQ) برای آفت‌کش‌های مصرفی در محصولات گندم و جو بخش فاضل‌آباد شهر علی‌آباد کتول، استان گلستان

Table 3- Components of Environmental Impact Quotient (EIQ) for pesticides used in wheat and barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

رده Class	نام تجاری Commerical name	نام عمومی Common name	اجزای شاخص تأثیر محیط زیستی Components of pesticide environmental impact quotient			EIQ value
			کارگر مزرعه Farm worker	مصرف کننده Consumer	بوم‌شناختی Ecological	
علف‌کش Herbicide	بروماپسید ام آ Bromicide MA	بروکسینیل-ام سی پی آ Bromoxinil + MCPA	24.00	9.00	52.00	28.35
	آتلانتیس Atlantis	مزوسولفورون + یدوسولفورون + مفن پایر Mesosulfuron + Iodosulfuron + Mefenpyre	8.00	8.00	67.00	27.67
	اتللو Othello	مزوسولفورون متیل + یدوسولفورون متیل سدیم + دیفلوفنیکان + مفن پایر دی اتیل Iodosulfuron Methyl Sodium + Mesosulfuron Methyl + Mefenpyr Diethyl 1.2 % OD	2.91	3.06	13.56	6.50
	یو ۴۶ دی U 46 D	توفوردی 2, 4-D	8.00	8.00	40.00	18.67
	گرانستار Granstar	تری بنورون متیل Tribenuron-Methyl	12.00	3.00	30.00	15.00
	پوما سوپر Puma Super	فنوکساپروپ پی اتیل + مفن پایر دی اتیل Fenoxaprop P Ethyl + Mefenpyr Diethyl	12.00	4.00	115.00	43.67
	بازاگران Basagran	بنتازون Bentazon	16.00	9.00	31.00	18.67
حشره‌کش Insecticide	بازودین Basudin	دیازینون Diazinon	6.90	2.45	120.85	43.40
	دورسبان Dursban	کلرپیریفوس Chlorpyrifos	18.00	4.00	108.55	43.50
	دسیس Decis	دلتامترین Deltamethrin	6.00	3.00	68.15	25.70
	سایپر مترین Cypermethrin	سایپر مترین Cypermethrin	9.00	4.00	69.00	27.30
	موسپیلان Mospilan	استامی پراید Acetamiprid	6.90	9.35	64.40	26.90
	مالاتیون Malathion	مالاتیون Malathion	9.00	4.50	58.00	23.83
	فولیکور Folicur	تبوکونازول ۲۵٪ Tebuconazole 25%	20.00	31.00	70.00	40.30
قارچ‌کش Fungicide	آلتوکمبی Altocombi	سایپرکونازول + کاربندازیم Cyproconazole + Carbendazim	20.12	29.44	89.64	46.40
	تیلت Tilt	پروپیکونازول Propiconazole	8.10	15.15	59.28	27.51
	ویتاواکس تیرام Vitavax thiram	کربوکسین تیرام Carboxin Tiram	9.25	4.25	25.83	13.12
	راکسیل Raxil	تبوکونازول ۲٪ Tebuconazole 2%	20.00	31.00	70.00	3.22

آرتیا Artea	پروپیکونازول Propiconazole	12.00	12.23	63.90	31.63	33.14
	سایپروکونازول Cyproconazole	20.25	25.88	67.95	38.03	
اینوور Inovor	پروپیکونازول Propiconazole	12.00	12.23	63.90	31.63	28.00
	پیراکلواستروبین Pyraclostrobin	8.10	4.05	68.87	27.01	
	فلوکسایپروکساد Fluxapyroxad	6.00	10.00	32.00	16.00	

جدول ۴- طبقه‌بندی کیفی مقادیر اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌ها

Table 4- Qualitative classification of environmental effects of pesticides

رتبه‌بندی کیفی Quality rating	EQ-FUR values
خیلی کم Very low	25 >
کم Low	۵۰ - ۲۵
متوسط Middle	50-100
زیاد High	100-150
خیلی زیاد Very high	<150

نتایج و بحث

مستندسازی گندم

از ۲۲ مزرعه گندم مورد بررسی در منطقه، ۲۲/۷۳ درصد به صورت دیم و ۷۷/۲۷ درصد آبی بودند. تناوب‌های زراعی در این مزارع شامل گندم - آیش (نه مزرعه)، گندم - برنج (شش مزرعه)، گندم - سویا (سه مزرعه) و سویا - آیش، باقلا - برنج، گندم - کنجد و کلزا - برنج بود. همچنین مساحت این مزارع ۵ - ۱ هکتار و عملکرد آن‌ها از ۲ تا ۶/۸ تن در هکتار متغیر بود.

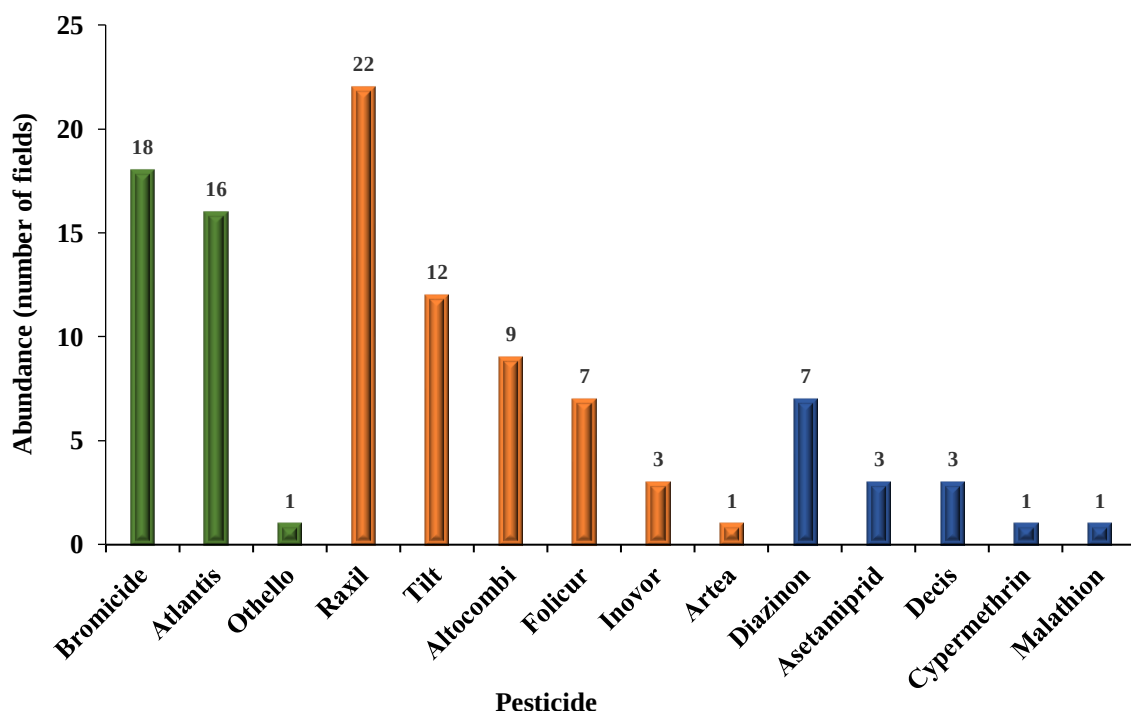
به دلیل وفور بارش در سال زراعی مورد مطالعه، مزارع منطقه مورد هجوم علف‌های هرز و بیماری‌های قارچی واقع شده که این امر سبب افزایش مصرف قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها گردید، به طوری که در ۸۱/۸۱ درصد (۱۸ مزرعه) از علف‌کش برومیسید به میزان ۵/۰ - ۱ لیتر در هکتار و ۷۲/۷۳ درصد (۱۶ مزرعه) از علف‌کش دومنظوره آتلاتیس به میزان ۱/۵ - ۱ لیتر در هکتار، جهت مهار علف‌های هرز پهن برگ از قبیل خردل وحشی (*Sinapis arvensis*)، ترشک شبدری (*Oxalis acetosella*)، گندمک (*Stellaria media*) و

سبزاب (*Veronica persica*) و علف‌های باریک برگ هم چون یولاف وحشی (*Avena spp.*)، فالاریس (*Phalaris spp.*) و جودره (*Hordeum spontaneum*) استفاده شده است (شکل ۲).

در میان آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم، بیشترین تنوع سموم مربوط به گروه قارچ‌کش‌ها بوده، در تمامی مزارع گندم (۲۲ مزرعه)، بذره‌های گواهی شده و بذرمال شده با قارچ‌کش راکسیل (سم پیش‌کاشت) کشت شده است. فراهم شدن شرایط مستعد برای افزایش بیماری‌های قارچی از قبیل فوزاریوم خوشه (*Fusarium spp.*)، سفیدک (*Erysiphe spp.*)، زنگ زرد (*Puccinia striiformis*)، زنگ قهوه‌ای (*Puccinia recondita*) و در برخی مناطق سیاهک‌های آشکار (*Ustilago tritici*) و پنهان (*Tilletia tritici*) و بیماری پاخوره (*Gaeumannomyces graminis var. graminis*)، منجر به افزایش مصرف قارچ‌کش‌ها در این مزارع شده است. قارچ‌کش‌هایی از قبیل تیلت، آلتوکمی، فولیکور، اینوور و آرتیا به طور مجزا و یا به طور همزمان، به ترتیب در ۵۴/۵۴، ۴۰/۹۱، ۳۱/۸۲، ۱۳/۶۳ و ۴/۵۴ درصد از مزارع استفاده گردید (شکل

سه مزرعه به‌میزان ۰/۵ لیتر در هکتار، دسیس در سه مزرعه به‌میزان یک لیتر در هکتار، سایپرمتین و مالاتیون نیز در یک مزرعه و به‌میزان ۰/۵ لیتر و یک لیتر در هکتار به کار برده شدند (شکل ۲).

۲). شته‌ها، سوسک سیاه گندم (زایروس) (*Carabidae*) و سوسک برگ‌خوار لما (*Oulema melanopus*)، از حشرات آفت مزارع گندم منطقه بودند که جهت مهار آن‌ها از سموم دیازینون در هفت مزرعه به‌میزان ۰/۵ لیتر در هکتار، استامی‌پراید در

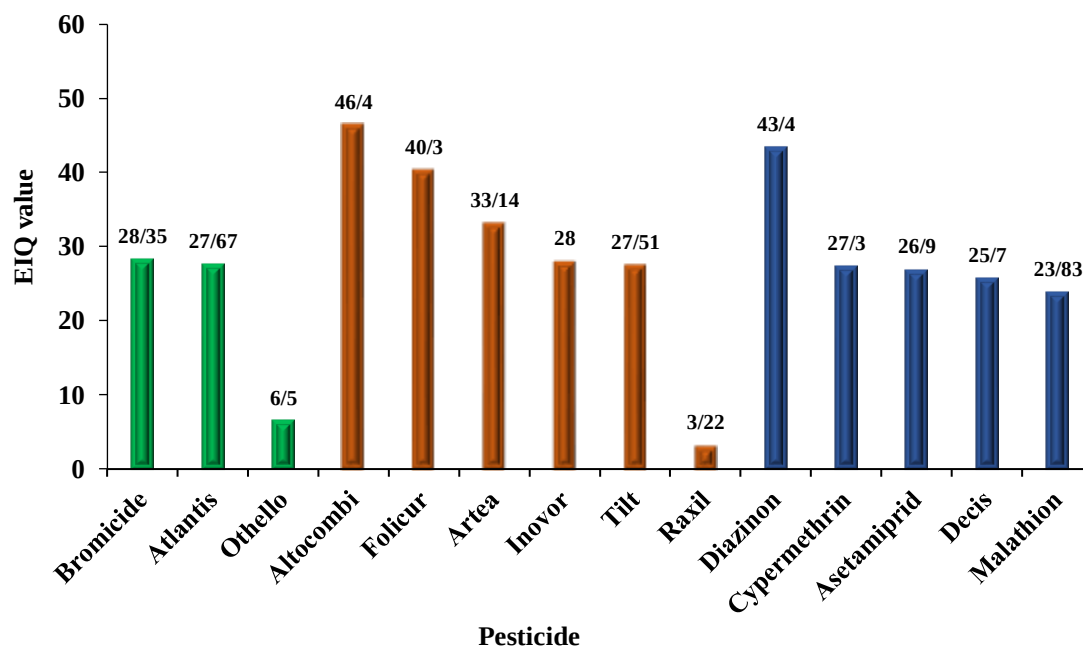


شکل ۲- توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 2- Distribution of the abundance of pesticides used in wheat fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

که دو علف‌کش پرمصرف در مزارع گندم منطقه دارای مقدار $28-27 \text{EIQ}$ بوده و علف‌کش اتلو کم‌ترین میزان EIQ را در بین سه علف‌کش نشان داد. قارچ‌کش‌های آلتوکمبی، فولیکور و آرتیا دارای بیش‌ترین و سم راکسیل دارای کم‌ترین آسیب در میان قارچ‌کش‌ها می‌باشند. در میان حشره‌کش‌های مصرفی نیز سم دیازینون بالاترین EIQ و سموم سایپرمتین، استامی‌پراید، دسیس و مالاتیون مقادیر EIQ در محدوده ۲۳ تا ۲۷ داشتند (شکل ۳).

شاخص EIQ سموم مصرفی در مزارع گندم

بررسی مقدار اثر زیست‌محیطی انواع آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم منطقه نشان داد که قارچ‌کش آلتوکمبی با EIQ برابر $4/4$ ، بالاترین رتبه آسیب محیط زیستی را در میان آفت‌کش‌ها دارد. حشره‌کش دیازینون و قارچ‌کش فولیکور به‌ترتیب با مقادیر EIQ معادل $4/4$ و $3/3$ در رتبه‌های دوم و سوم آفت‌کش‌های خطرناک قرار گرفتند (شکل ۳). بررسی و مقایسه سه گروه آفت‌کشی نشان داد

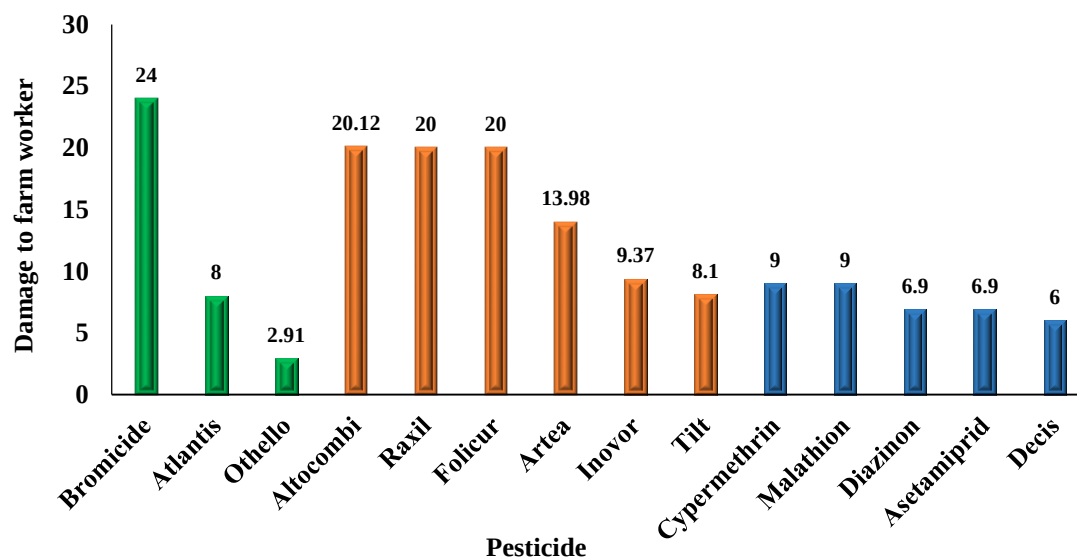


شکل ۳- مقادیر EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
 Fig. 3- EIQ value of pesticides used in wheat fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

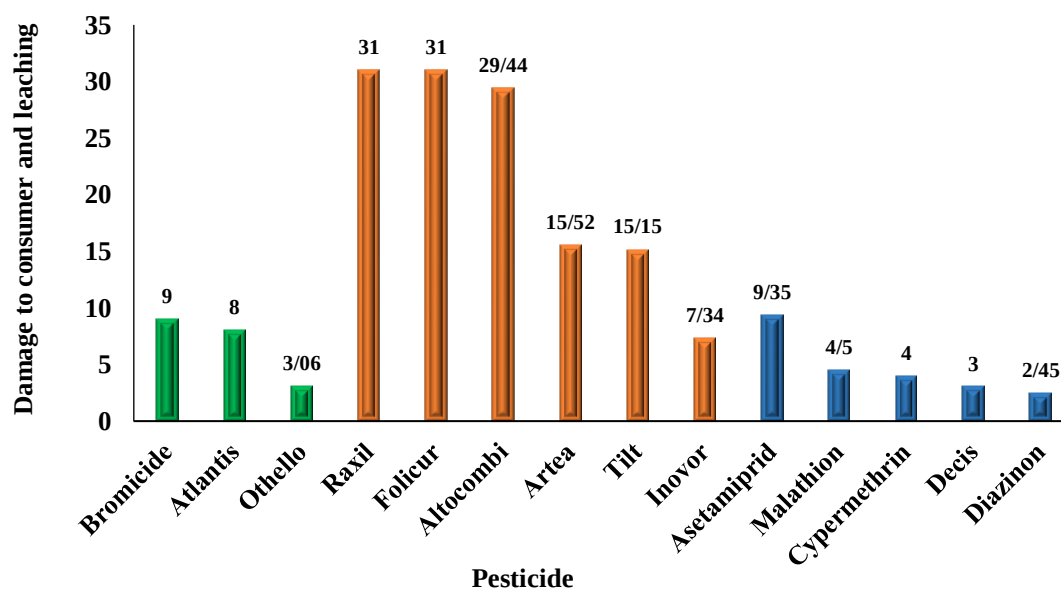
برابر با ۱۲۰/۸۵ بیش‌ترین میزان اثر منفی را بر موجودات خشکی‌زی و آبی‌زی دارد. قارچ‌کش‌های آلتوکمبی (۸۹/۶۴)، راکسیل (۷۰) و فولیکور (۷۰) در رتبه‌های بعدی سموم خطرناک بر بخش بوم‌شناختی معرفی شدند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار نهایی EIQ هر یک از سموم، بیش‌ترین تأثیر را از آسیب بر بخش بوم‌شناختی داشته و این بخش در تعیین عدد نهایی EIQ بسیار مهم می‌باشد. به عبارتی، سموم مصرفی در مزارع گندم منطقه، بیش‌ترین آسیب خود را بر اجزای بوم‌شناختی محیط زیست وارد می‌کند. در میان مقادیر بالای آسیب بر بخش بوم‌شناختی سموم مصرفی، علف‌کش اتللو با میزان ۱۳/۵۶ کم‌ترین تأثیر منفی را بر محیط زیست نشان داد (شکل ۴). در همین راستا، حسینی (Hoseini, 2018) در ارزیابی اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌ها گزارش کردند که حشره‌کش‌های دیازینون، پروفنوفوس، کلرپیرفوس، تیودیکارب، ایمیداکلوپراید، پروپارزیت و دیمیتوات و قارچ‌کش‌های کاربندازیم، پروپوکونازول و تبوکونازول جزو پرخطرترین آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم، کلزا، پنبه و سویا در شهرستان‌های گرگان و علی‌آبادکتول بودند.

بررسی اجزای EIQ آفت‌کش‌های مصرفی و آسیب بر بخش کارگران مزرعه نشان داد که علف‌کش برومایسید و اتللو به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین آسیب را بر کارگر مزرعه داشتند. همچنین قارچ‌کش‌های آلتوکمبی، راکسیل و فولیکور میزان آسیب مشابهی بر کارگر مزرعه نشان دادند. در مجموع میان سه گروه آفت‌کشی، حشره‌کش‌های مصرف‌شده در مزارع گندم، آسیب کم‌تری بر بخش کارگران مزرعه نسبت به قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها داشتند (شکل ۴). بیش‌ترین آسیب آفت‌کش‌ها بر مصرف‌کنندگان و آب‌شویی مربوط به سموم قارچ‌کش می‌باشد. در این گروه، سموم راکسیل و فولیکور (EIQ معادل ۳۱) و سپس آلتوکمبی (EIQ برابر با ۲۹/۴۴) خطرناک‌ترین آفت‌کش بر بخش مصرف‌کنندگان و آب‌شویی شناخته شدند. حشره‌کش دیازینون در میان آفت‌کش‌های مصرفی مزارع گندم، دارای کم‌ترین آسیب بر جزء مصرف‌کنندگان و آب‌شویی بوده و حشره‌کش دسیس و علف‌کش اتللو در رتبه‌های بعدی آسیب کم‌تر جای گرفتند (شکل ۴).

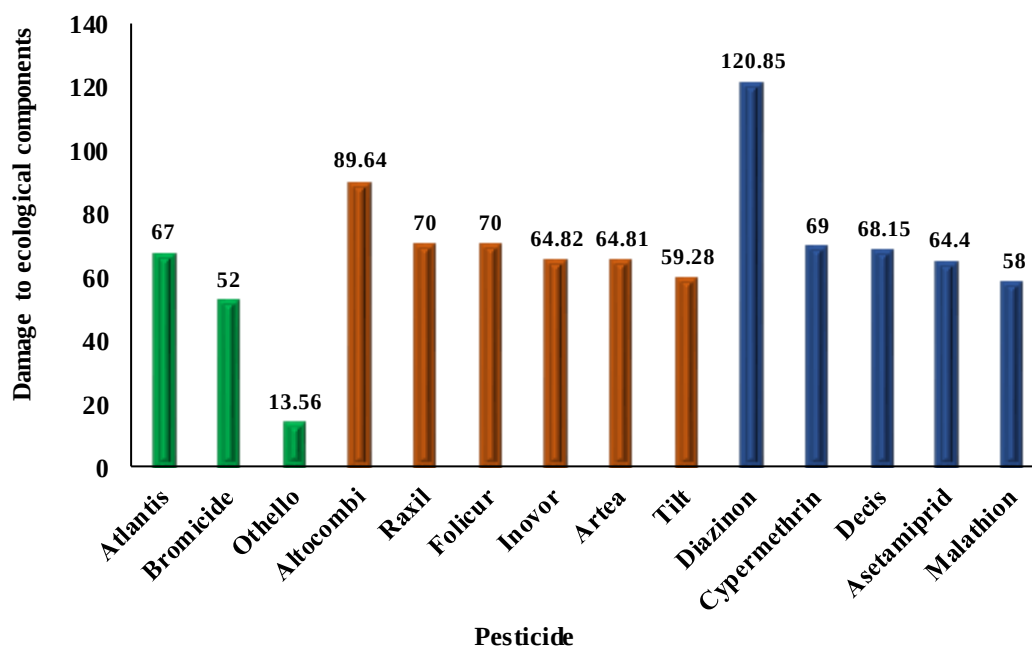
در مقابل، با بررسی شکل ۴ و اثرات منفی آفت‌کش‌ها بر بخش بوم‌شناختی مشخص گردید که حشره‌کش دیازینون با مقدار آسیب



شکل ۴- میزان آسیب به کارگران مزرعه در آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 4- Damage to farm worker of pesticides used in wheat fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province



شکل ۵- میزان آسیب به مصرف‌کنندگان و آب‌شویی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 5- Damage to consumer and leaching of pesticides used in wheat fields of Fazel Abad district of Ali Abad Katool township, Golestan Province

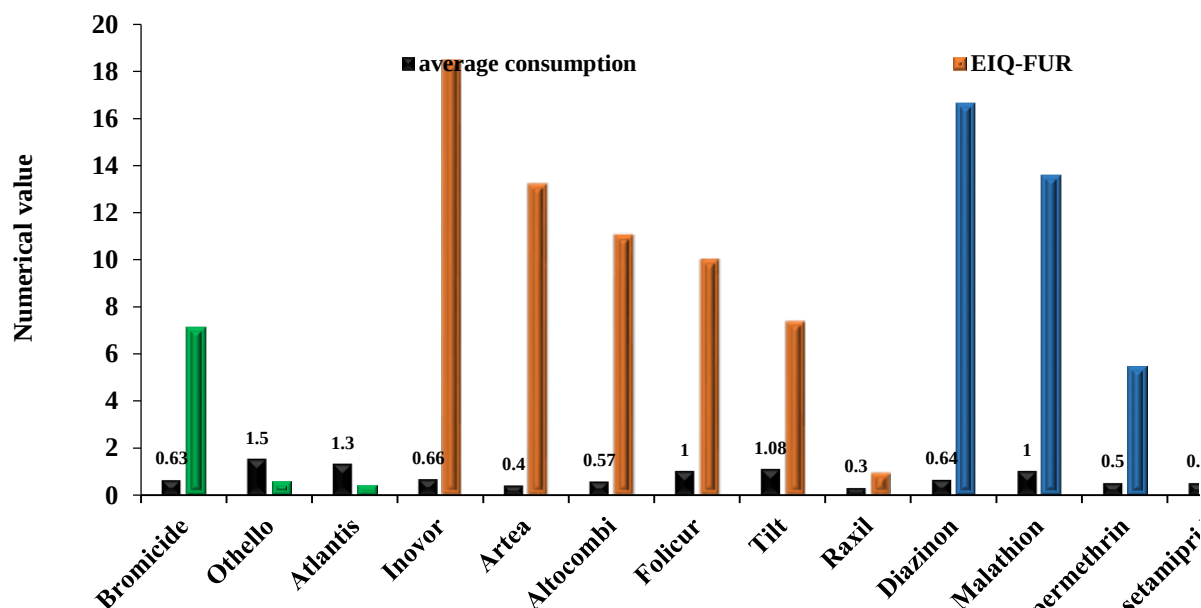


شکل ۶- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کاتول، استان گلستان
Fig. 6- Damage to ecological components of pesticides used in wheat fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

شاخص EIQ-FUR در مزارع گندم

در بررسی رابطه مقادیر مصرف سموم آفت‌کش و میزان اثر محیط زیستی ایجادشده توسط آن‌ها در واحد هکتار مزارع گندم مطابق شکل ۷، سم بروماید بالاترین میزان EIQ-FUR را در میان گروه علف‌کش‌ها داشت. این علف‌کش با اینکه میزان مصرف کمتری (۰/۶۳ لیتر در هکتار) نسبت به دو ترکیب سمی آتالانتیس و اتللو داشت، اما میزان اثر زیست‌محیطی بالاتری در واحد هکتار (۷/۱۴) نشان داد. در گروه قارچ‌کش‌ها، اینور با میزان مصرف ۰/۶۶ لیتر در هکتار بالاترین میزان EIQ-FUR (۱۸/۴۸) را در میان قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها داشت و سموم آرتیا، آلتوکمی و فولیکور در رتبه‌های بعدی سمیت قرار گرفتند. حشره‌کش دیازینون با متوسط میزان مصرف ۰/۶۴ لیتر در هکتار و EIQ-FUR برابر با ۱۶/۶۶، در رتبه دوم سمیت در میان آفت‌کش‌های مصرفی و رتبه اول اثر منفی زیست‌محیطی در گروه حشره‌کش‌ها در مزارع گندم منطقه معرفی شد. به‌طور کلی، آفت‌کش‌های اینور، دیازینون، آرتیا و آلتوکمی با

وجود مصرف مقادیر پایین‌تر در واحد هکتار، میزان EIQ-FUR بالایی را نشان دادند، این موضوع سمیت بالای این آفت‌کش‌ها را مشخص و خاطر نشان می‌کند. در مقابل، آفت‌کش‌هایی از جمله آتالانتیس، اتللو و دیسیس با وجود مصرف مقادیر ۱-۱/۵ لیتر در هکتار، مقدار آسیب محیط زیستی کمتری را نشان دادند، به‌طوری‌که در میان آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم منطقه، علف‌کش آتالانتیس با ۰/۴۳ کمترین سمیت را در واحد هکتار نشان داد (شکل ۷). براساس نتایج این مطالعه، بهتر است در مصرف سموم شیمیایی جهت مهار آفات و بیماری‌ها، از سمومی با سمیت پایین‌تر و کارایی بالاتر استفاده گردد. بنابراین در گروه علف‌کشی، بهتر است از سم دو منظوره آتالانتیس و اتللو استفاده گردد. قارچ‌کش‌های مورد استفاده در منطقه به‌غیر از راکسیل، مقدار EIQ-FUR بالایی دارند، توصیه می‌شود که قبل از مصرف سموم، میزان سمیت آن‌ها ارزیابی شده و سمومی با کارایی بالاتر و اثر محیط زیستی کمتر در زراعت گنجانده شوند.



شکل ۷- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌ها و مقادیر EIQ-FUR در واحد هکتار مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 7- The average consumption of pesticides and EIQ-FUR values per hectare of wheat fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

(Niazmoradi et al., 2024) در بررسی اثرات زیست‌محیطی

آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم شهرستان بندرترکمن (استان گلستان) نشان دادند که تنها تعداد پنج مزرعه آبی گندم، EIQ-FUR بالاتر از ۲۵ داشته و به‌عنوان بوم‌نظام‌هایی با اثر زیست‌محیطی متوسط شناخته شدند. در مطالعه دیگری مشخص شد که ۱۹ درصد از مزارع برنج دارای EIQ-FUR کمتر از ۲۵ و خطر محیط زیستی خیلی کم، ۵۰ درصد در طبقه EIQ-FUR ۲۵-۵۰ یا کم آسیب و بقیه در گروه‌های متوسط و پرخطر قرار گرفتند، در این مطالعه از هشت آفت‌کش مصرفی، چهار آفت‌کش در گروه آفت‌کش‌های خطرناک معرفی شده توسط سازمان بهداشت جهانی قرار داشتند (Kumar Kanojia & Sreekes, 2020).

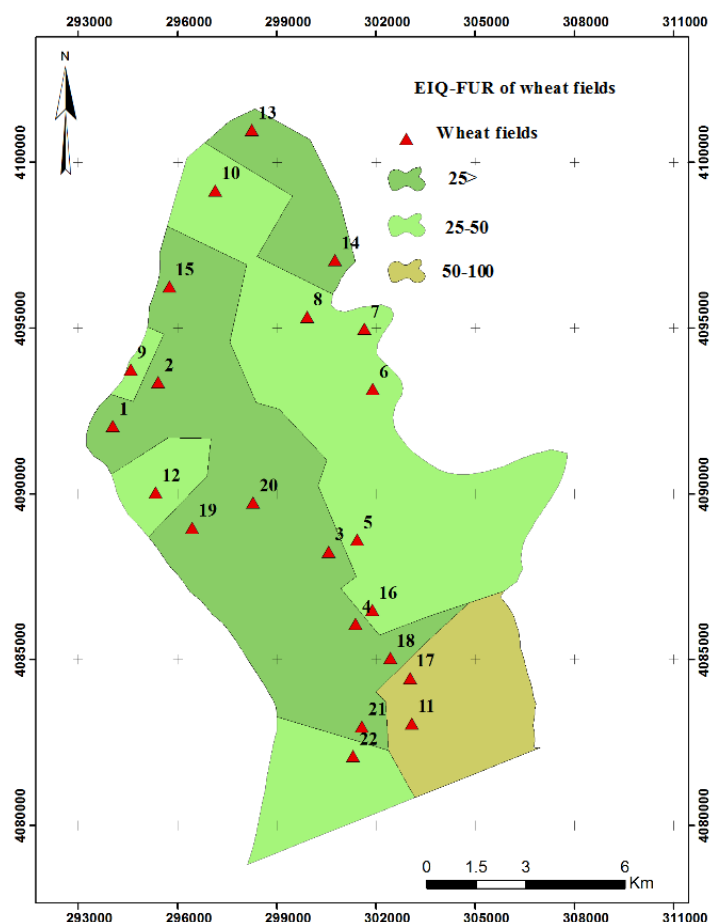
مقایسه شاخص EIQ-FUR و عملکرد گندم

شکل ۹، پراکندگی نقاط متغیر مستقل (EIQ-FUR) و متغیر وابسته (عملکرد گندم) را نشان می‌دهد. پایین بودن مقدار ضریب تعیین ($R^2=0.08$) در این رابطه، عدم تناسب رابطه خطی و مستقیم بین این دو متغیر و همبستگی ضعیف آن‌ها را نشان می‌دهد. به این معنی که افزایش مصرف سموم و استفاده از ترکیبات شیمیایی متنوع در مزرعه، به‌طور مستقیم با میزان عملکرد دانه رابطه نداشته و سموم

نقشه شاخص EIQ-FUR در مزارع گندم

پس از محاسبه مقادیر EIQ-FUR مزارع کلزا در منطقه، براساس الگوی پیشنهادی (Kovach et al., 1992)، طبقه‌بندی انجام و نقشه آن در سطح منطقه تهیه شد (شکل ۸). مطابق این شکل، ۱۱ مزرعه یا ۵۰ درصد از مزارع کلزا در کلاس EIQ-FUR کمتر از ۲۵ قرار گرفتند. این طبقه در قسمت‌های شمالی و غربی منطقه نمونه‌برداری به‌سمت بخش‌های جنوبی ادامه دارد. مدیریت سموم شیمیایی کشاورزان در این مزارع، استفاده از سموم کم‌خطر، مقادیر مصرف پایین‌تر سموم و تنوع یا تعداد کم سموم مصرفی بوده است. همچنین ۴۰/۹ درصد از مزارع (نه مزرعه) گندم به‌دلیل استفاده از سمومی با سمیت متوسط، استفاده از سموم در دفعات و مقادیر بیش‌تر و کاربرد دوزهای پایین سموم خطرناک، در طبقه ۲۵-۵۰ یا خطر محیط زیستی کم قرار گرفتند. استفاده از سمومی همچون بروماید، آرتیا، آلتوکمبی و فولیکور در مزارع این طبقه، منجر به افزایش EIQ-FUR این طبقه نسبت به طبقه ۲۵ شده است. دو مزرعه ۱۱ و ۱۷ در بخش جنوبی منطقه نمونه‌برداری، در طبقه خطر زیست‌محیطی متوسط (۵۰-۱۰۰) قرار گرفتند. کشاورزان این مزارع در مدیریت خود از سموم پرخطر از جمله اینور و دیازینون و تنوع بالای سموم استفاده کرده‌اند (شکل ۸). نیازمندی و همکاری

کارایی خود را در حد بالایی نشان نمی‌دهند.



شکل ۸- طبقه‌بندی اثر زیست‌محیطی (EIQ-FUR) مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 8- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of wheat fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

تناوب‌های زراعی در این مزارع شامل گندم - برنج (سه مزرعه)، گندم - آیش (سه مزرعه)، کلزا - برنج (دو مزرعه)، جو - برنج (دو مزرعه)، گندم - توتون (یک مزرعه)، آیش (یک مزرعه) بود. همچنین این مزارع ۱/۵ تا ۵ هکتار مساحت داشتند. مطابق شکل ۹، تنها ۱۰ نوع آفت‌کش در مزارع جو منطقه مورد بررسی، مصرف شده است. آفت‌کش مصرفی در ۵۰ درصد مزارع جو مورد بررسی، از گروه علف‌کش‌ها بوده است. در این میان، ۳۳/۳۳ درصد از مزارع (چهار مزرعه) از علف‌کش بروماید به میزان ۱-۰/۵ لیتر در هکتار، ۲۵ درصد (سه مزرعه) از علف‌کش پوماسوپر (فنوکسپروپ‌پی‌اتیل) به میزان ۱-۰/۸ لیتر در هکتار، ۸/۳۳ درصد (یک مزرعه) از علف‌کش گرانستار (تری‌بنورون متیل) به میزان ۲۰-۱۵ گرم در هکتار، ۸/۳۳

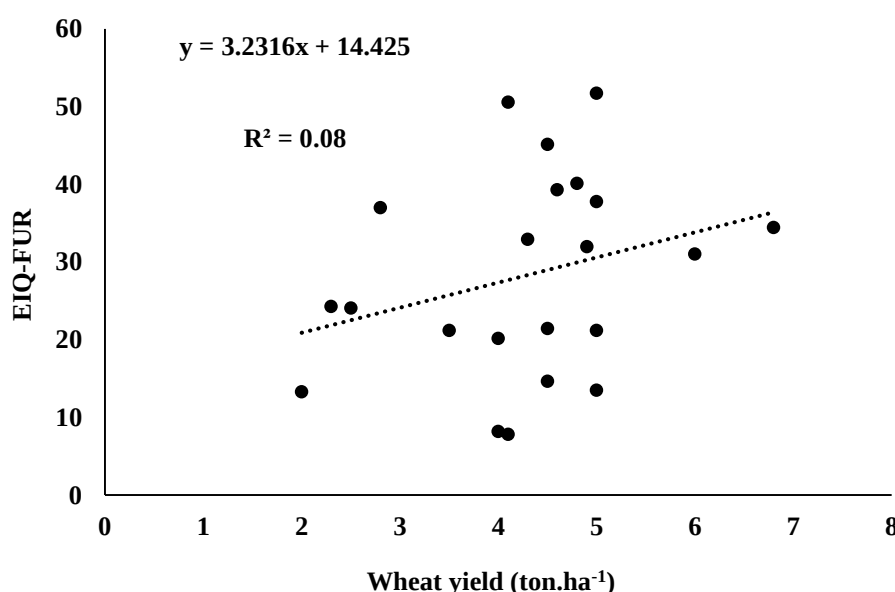
این نتایج می‌تواند بیانگر این حقیقت باشد که رسیدن به عملکرد مورد انتظار مزارع، نیازمند بررسی مدیریت‌های دیگر دخیل در تولید می‌باشد. نتیجه این تحقیق با نتایج مطالعه اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم شهرستان بندرترکمن مطابقت داشت که عدم ارتباط مستقیم اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها و عملکرد گندم را نشان می‌دهد. بنابراین با مدیریت مناسب مزرعه نه لزوماً مصرف آفت‌کش‌ها، می‌توان عملکرد اقتصادی مزارع را بهبود بخشید (Niazmoradi et al., 2024).

مستندسازی جو

در این مطالعه، تمامی مزارع جو به‌صورت دیم کشت شده بودند.

راکسیل در ۳۳/۸ درصد از مزارع به کاربرده شده است. با توجه به اینکه تنها یک نوع حشره‌کش در مزارع مورد بررسی استفاده شده است، می‌توان عنوان کرد که کشاورزان جوکار منطقه نسبت به مزارع گندم، در مزارع خود با آفات کمتری روبه‌رو بودند. در مجموع، ۱۲ مزرعه جو، یک کشاورز از حشره‌کش دورسبان به میزان ۱ تا ۱/۵ لیتر در هکتار استفاده کرده است.

درصد از علف‌کش توفوردی به میزان یک لیتر در هکتار و ۸/۳۳ درصد نیز از علف‌کش بازاگران (بنتازون) به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار استفاده کردند. همچنین ۴۰ درصد از آفت‌کش‌های مصرفی به گروه قارچ‌کش‌ها تعلق گرفت. در این گروه، قارچ‌کش بذرمال کربوکسین-تیرام در ۶۶/۹۱ درصد از مزارع (۱۱ مزرعه)، ۵۰ درصد (شش مزرعه) از قارچ‌کش تیلت به میزان یک لیتر در هکتار، ۶۶/۱۶ درصد (دو مزرعه) از قارچ‌کش آلتوکمبی به میزان ۰/۵ لیتر در هکتار و سم



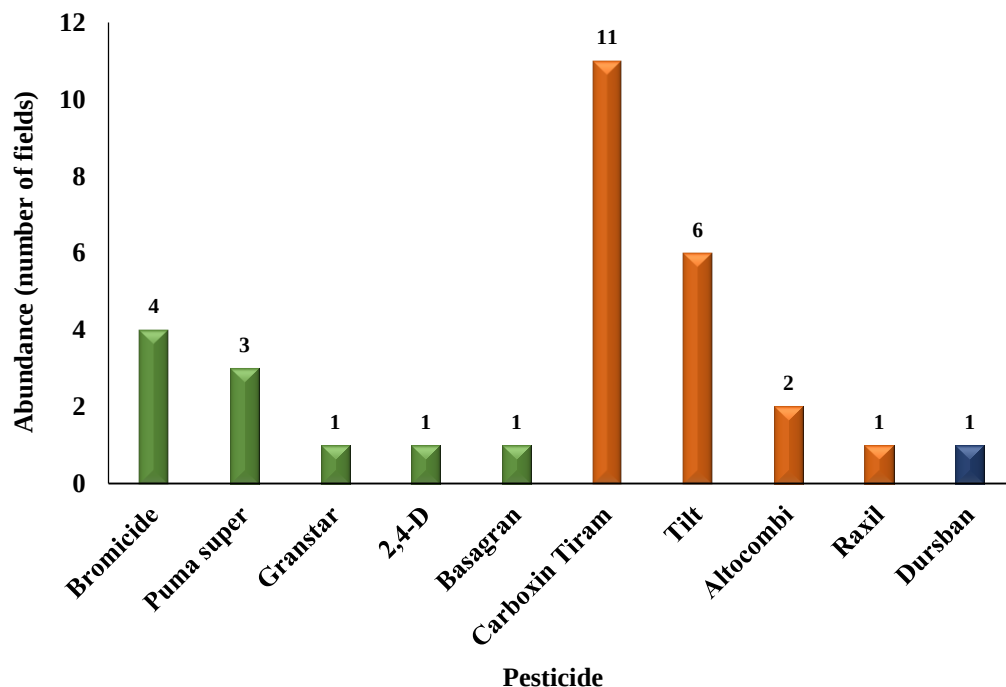
شکل ۹- رابطه EIQ-FUR با میزان عملکرد گندم (تن در هکتار) در مزارع گندم بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 9- The relationship between EIQ-FUR and wheat yield in wheat fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

علف‌کش توفوردی و قارچ‌کش تیلت کم‌ترین میزان آسیب به کارگران مزرعه را نشان دادند. شکل ۱۲، میزان آسیب به مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، گروه آفت‌کشی قارچ‌کش‌ها میزان خطر بیش‌تری را در میان دو گروه دیگر نشان داد. در این میان، راکسیل در رتبه اول سمیت و پس از آن، آلتوکمبی در رتبه بعدی خطر قرار گرفت. همچنین استفاده از علف‌کش گرانتار در مزارع جو کم‌ترین میزان خطر را برای مصرف‌کنندگان و آب‌شویی شدن نشان داد. بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی بر اجزای بوم-شناختی در مزارع جو منطقه مورد بررسی، در شکل ۱۳ نشان داده شده است. مقایسه گروه‌های آفت‌کشی، علف‌کش باریک‌برگ‌کش پوماسوپر را به‌عنوان خطرناک‌ترین آفت‌کش بر این جزء شاخص EIQ

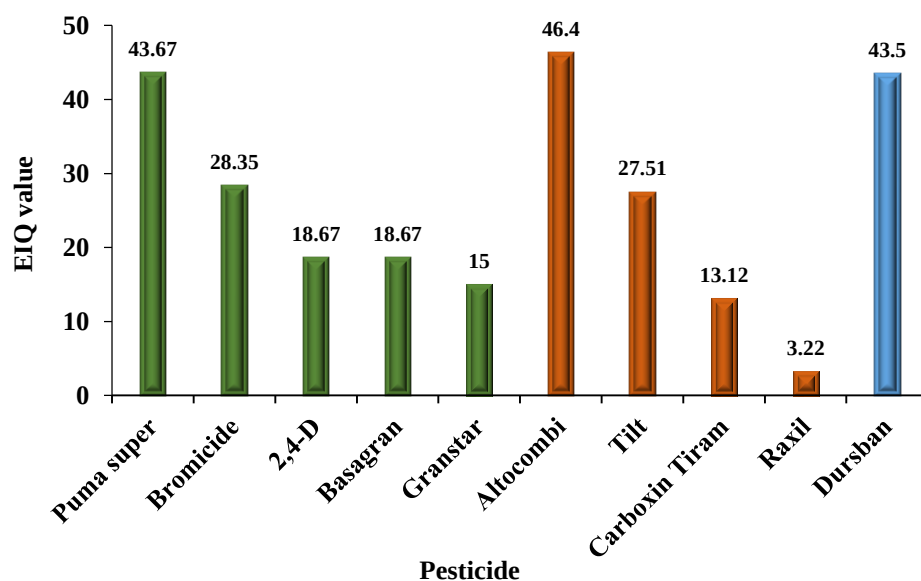
شاخص EIQ سموم مصرفی در مزارع جو

بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو در منطقه در شکل ۱۰ نشان داد که قارچ‌کش آلتوکمبی با EIQ برابر با ۴۶/۴ و حشره‌کش دورسبان با EIQ معادل ۴۳/۵ به‌ترتیب بیش‌ترین میزان سمیت را نشان دادند. در مقابل، کم‌ترین خطر زیست-محیطی به قارچ‌کش راکسیل با EIQ برابر با ۳/۲۲ تعلق گرفت. مطابق این شکل، میزان خطر و سمیت علف‌کش برومایدید (۲۸/۳۵) و قارچ‌کش تیلت (۲۷/۵۱) در رتبه سوم و چهارم قرار گرفتند. بررسی میزان خطر آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو منطقه در شکل ۱۱ نشان داد که علف‌کش برومایدید، بیش‌ترین آسیب به کارگران مزرعه را باعث شده است. قارچ‌کش‌های آلتوکمبی و راکسیل نیز در رتبه‌های بعدی سمیت بر جزء کارگران مزرعه بودند. در مقابل،

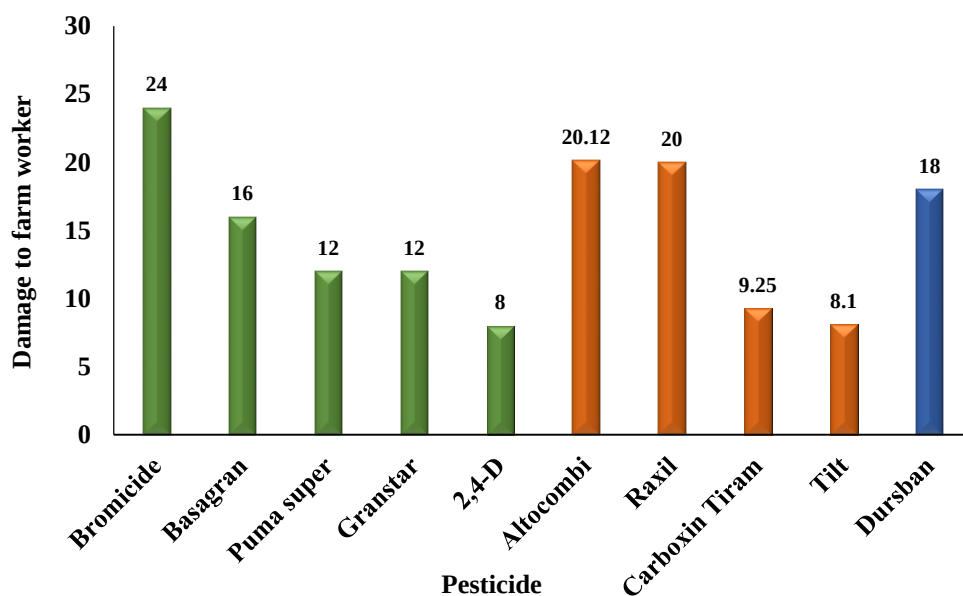
معرفی کرد. همچنین حشره‌کش دورسیان و قارچ‌کش‌های آلتوکمبی، شناخته شدند. راکسیل و تیلت در رتبه‌های بعدی سمیت بر اجزای بوم‌شناختی



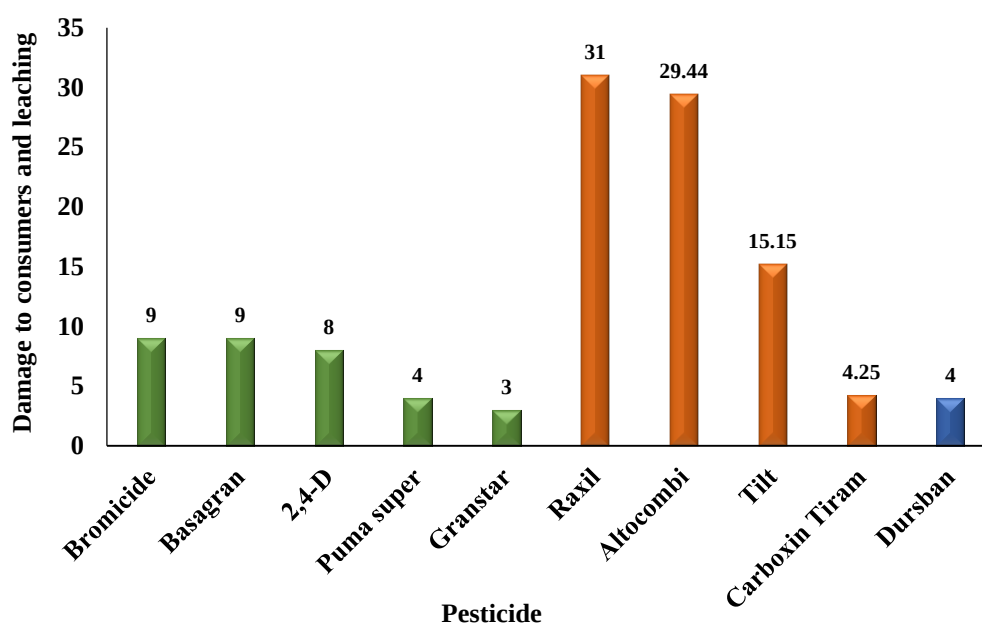
شکل ۱۰- توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 10- Distribution of the abundance of pesticides used in barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province



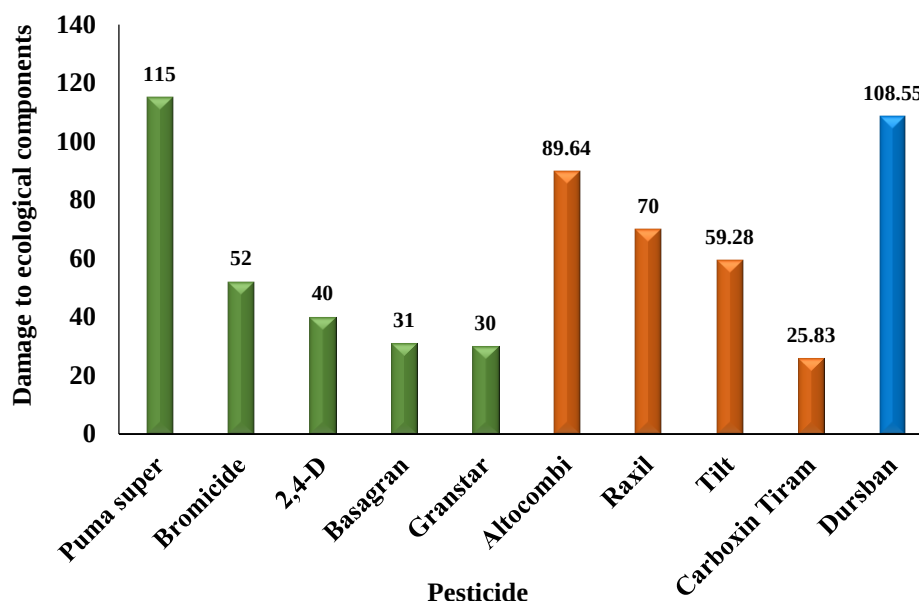
شکل ۱۱- مقادیر EQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 11- EQ value of pesticides used in barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۱۲- میزان آسیب به کارگران مزرعه آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 12- Damage to farm worker of pesticides used in barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province



شکل ۱۳- میزان آسیب به مصرف‌کنندگان و آب‌شویی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 13- Damage to consumer and leaching of pesticides used in barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province



شکل ۱۴- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 14-Damage to ecological components of pesticides used in barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

گروه قارچ‌کش‌ها نیز آلتوکمی با وجود مصرف ۰/۵ لیتر در هکتار توانست مقدار آسیب بالاتری از قارچ‌کش تیلت ایجاد کند و سمیت بالاتر آن را نشان می‌دهد. آفت‌کش‌های راکسیل، کربوکسین‌تیرام و گرانتستار به ترتیب کم‌ترین میزان آسیب بر محیط زیست در واحد یک هکتار را داشتند.

نقشه شاخص EIQ-FUR در مزارع جو

شکل ۱۵ نقشه طبقه‌بندی اثر زیست‌محیطی مزارع جو بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول را نشان می‌دهد. مطابق نتایج پیش گفته‌شده، توجه کم‌تر کشاورزان این مزارع نسبت به مصرف آفت‌کش‌ها باعث شده است که بیشتر مزارع در قسمت‌های شمالی و جنوبی در طبقه آسیب خیلی کم قرار گیرند. آسیب محیط زیستی سه مزرعه ۲، ۷ و ۹ در بخش مرکزی منطقه، به دلیل استفاده از آفت‌کش‌هایی هم‌چون آلتوکمی، بروماید و توفوردی، بیش‌تر شده و EIQ-FUR آن‌ها در طبقه آسیب کم جای گرفتند. در زراعت این گیاه، بیش‌ترین توجه به علف‌کش‌ها معطوف بوده است. علف‌کش پوماسوپر تنها علف‌کش نازک‌برگ‌کش مزارع جو بوده است. این علف‌کش با وجود دارا بودن EIQ بالاتر، به دلیل درصد ماده مؤثره کم‌تر در ترکیب این علف‌کش، میزان EIQ-FUR کم‌تری را ایجاد

قارچ‌کش بذرمال کربوکسین‌تیرام، کم‌ترین خطر را در بررسی این جزء نشان داد. در مطالعه اثر آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو مشهد، قارچ‌کش کاربندازیم بیش‌ترین و حشره‌کش دیازینون کم‌ترین آسیب را به جزء کارگر مزرعه، هم‌چنین قارچ‌کش کاربندازیم بیش‌ترین و حشره‌کش دلتامترین کم‌ترین خطر بر مصرف‌کننده و آب‌شویی، دیازینون و گرانتستار (تری‌بنورون‌متیل) به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سمیت بر جزء بوم‌شناختی را داشتند (Maleki et al., 2015).

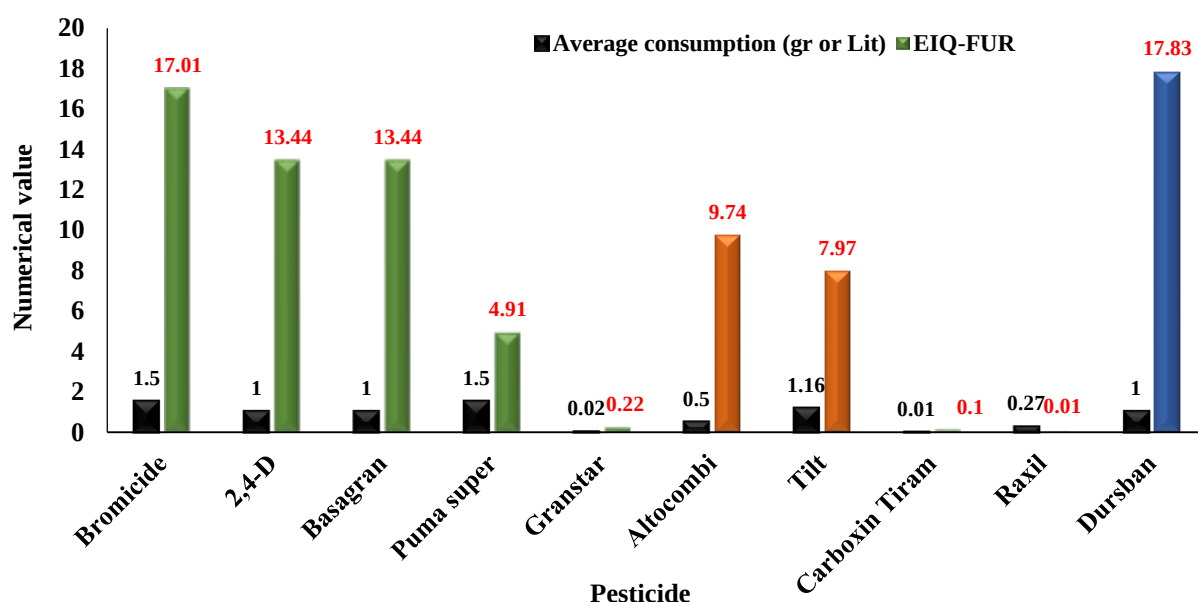
شاخص EIQ-FUR در مزارع جو

مقایسه و بررسی رابطه بین میانگین مصرف و میزان آسیب زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع جو منطقه مطالعاتی نشان داد که حشره‌کش کلرپیریفوسبه با مصرف یک لیتر در هکتار، بیش‌ترین میزان آسیب به محیط زیست را در واحد یک هکتار از مزرعه باعث شدند. علف‌کش بروماید به‌طور میانگین ۱/۵ لیتر در هکتار استفاده شده و پس از حشره‌کش دورسبان، در رتبه دوم آفت‌کش خطرناک در مزارع جو منطقه معرفی شد. علف‌کش‌های توفوردی و بازاگران با مقدار مصرف یک لیتر، میزان آسیب مشابهی بر محیط زیست تحمیل کرده و در رتبه سوم سمیت بالا قرار گرفتند. در

بررسی میزان عملکرد مزارع جو منطقه با میزان اثر زیست‌محیطی ایجادشده در واحد هکتار این مزارع، ارتباط کم این دو متغیر ($R^2 = 0.36$) را نشان می‌دهد. عملکردهای بالا با وجود مصرف آفت‌کش‌های کم‌تر و برعکس، ارتباط معکوس و عدم رابطه مستقیم بین این دو متغیر را نشان داده و نقاط داده‌ها از هماهنگی و یکنواختی کافی برخوردار نمی‌باشند (شکل ۱۶).

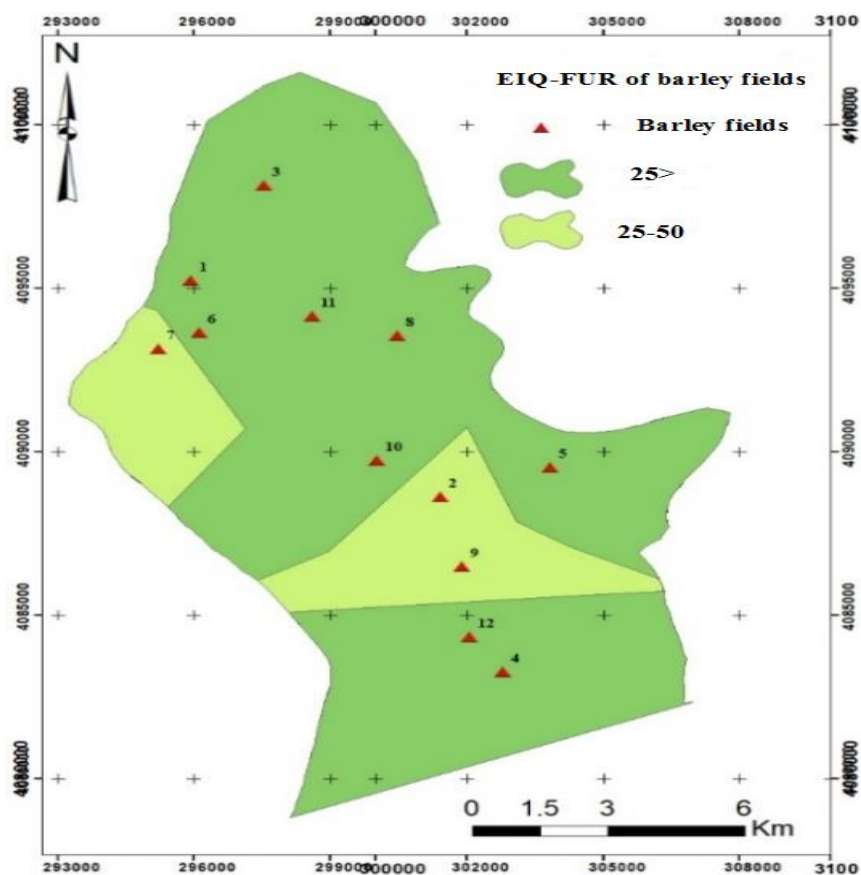
کرده و مصرف آن در منطقه آسیب جدی وارد نخواهد کرد. در مقابل در گروه علف‌کش‌های پهن‌برگ‌کش از جمله برومپسید، توفوردی، بازاگران و گرانستار، علف‌کش برومپسید میزان مصرف و EIQ-FUR بیش‌تری از علف‌کش‌های دیگر داشته و سمیت بالایی را نشان داده است، بنابراین توصیه می‌شود که با علف‌کش‌های کم‌خطر مانند گرانستار جایگزین شوند (شکل ۱۵).

مقایسه EIQ-FUR و عملکرد مزارع جو

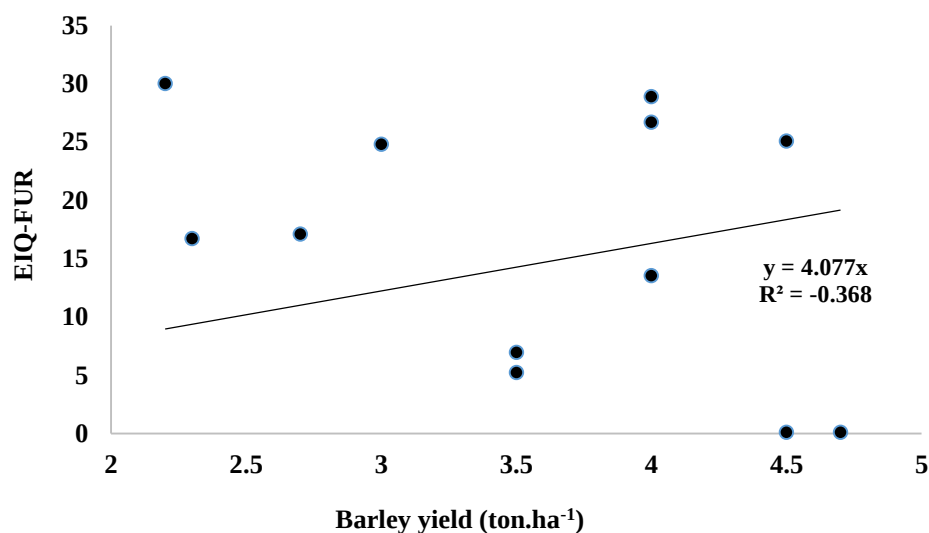


شکل ۱۵- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌های مصرفی و مقادیر EIQ-FUR در واحد هکتار مزارع جو بخش فاضل‌آبادشهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 15- The average consumption of pesticides and EIQ-FUR values per hectare of barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province



شکل ۱۶- طبقه‌بندی اثر محیط زیستی (EIQ-FUR) مزارع جو در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 16- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province



شکل ۱۷- رابطه EIQ-FUR با میزان عملکرد جو (تن در هکتار) در مزارع مطالعاتی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 17- The relationship between EIQ-FUR and wheat yield in barley fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan Province

نتیجه‌گیری

مطابق نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه، بیش‌ترین میزان آسیب به کارگر مزرعه در گروه علف‌کش‌ها متعلق به برومایدید، در گروه حشره‌کش‌ها مربوط به دورسبان و در گروه قارچ‌کش‌ها به آلتوکمبی تعلق گرفت و به‌طور کلی، در مصرف دو علف‌کش برومایدید، فولیکور و راکسیل بیش‌ترین آسیب متوجه کارگران مزرعه خواهد بود. همچنین در میان آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع مورد بررسی، قارچ-کش‌های راکسیل، فولیکور و آلتوکمبی در مقایسه با گروه آفت‌کشی علف‌کش و حشره‌کش، آسیب بیش‌تری بر جزء مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی در محیط زیست نشان دادند. بررسی آفت‌کش‌های مصرفی و آسیب بر اجزای بوم‌شناختی، دو حشره‌کش دیازینون و دورسبان را به‌عنوان خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها بر موجودات محیط زیست معرفی کرد. همچنین علف‌کش پوماسوپر و قارچ‌کش‌های آلتوکمبی، فولیکور و راکسیل نیز از آفت‌کش‌های مضر بر اجزای بوم-شناختی شناخته شدند که لازم است در مصرف آن‌ها دقت و مدیریت بیش‌تری اعمال کرد.

به‌طور کلی، براساس میانگین این آسیب‌های ذکرشده یعنی شاخص EIQ برای هر آفت‌کش، قارچ‌کش آلتوکمبی، علف‌کش پوماسوپر، حشره‌کش دورسبان و قارچ‌کش فولیکور خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها در مزارع مورد بررسی معرفی شدند. بر طبق میزان مصرف

سموم در مزارع گندم و جو و آسیبی که به محیط زیست وارد می‌شود، سموم اینور (۱۸/۴۸)، دورسبان (۱۷/۸۳)، برومایدید (۱۷/۰۱)، دیازینون (۱۶/۶۶)، مالاتیون (۱۳/۶۸)، توفوردی (۱۳/۴۴)، بازگران (۱۳/۴۴) و آرتیا (۱۳/۲۵) به‌عنوان سموم پرخطر در منطقه در نظر گرفته شدند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در بخش علف‌کش‌ها به‌جای استفاده از سمومی با سمیت بالا، پهن‌برگ یا باریک‌برگ‌کش، از علف‌کش‌های دومنظوره با میزان آسیب و سمیت کم‌تر مانند آتالنتیس استفاده کرد. به‌علاوه، یکی از مهم‌ترین راه‌های کاهش مصرف سموم شیمیایی، پایش مستمر مزارع توسط کشاورزان و برنامه‌ریزی کنترل شیمیایی متناسب با آفات و علائم بیماری‌ها است. تأکید بر استفاده از روش‌های زیست‌بوم‌محور برای مهار آفات کشاورزی، از جمله اجرای تناوب زراعی در محصولات مختلف، می‌تواند منجر به کاهش جمعیت و تنوع گیاهان هرز و حشرات آفت، افزایش عملکرد محصولات و کاهش هزینه‌های مدیریت مزرعه شود. با توجه به ضرورت برنامه‌ریزی جهت استفاده سموم و آگاه‌سازی کشاورزان از مخاطرات مصرف و توجه به استفاده از آفت‌کش‌های کم‌خطر، پیشنهاد می‌شود که این شاخص در خصوص تمامی آفت‌کش‌های مورد استفاده منطقه محاسبه گردد و انتخاب سموم در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات با توجه به این شاخص صورت پذیرد.

References

1. Arkin, L. (2011). Assessing environmental impact quotients for pesticide use on state Highways in Lane County. *Oregon Toxice Alliance (OTA)*, 1-23. <https://www.beyondtoxics.org>.
2. Ansah, B. (2019). Assessment pesticides application and impacts among smallholder cocoa farmers in Western Region-Ghana. M.Sc. Thesis, College of Agriculture and Natural Sciences, University of Cape Coast.
3. Barzegar, S.M.M. (2019). The effects of poisons and chemical fertilizers on The Soil and The Health of the Biologists. 16th Iranian Soil Science Congress University of Zanjan, Iran, August 27-29.
4. Bazrgar, A.B., Soltani, A., Koocheki, A., Zeinali, E., & Ghaemi, A. (2013). Evaluation of the environmental impacts of pesticides used in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production systems in Khorasan provinces. *Journal of Agroecology*, 5(2), 122-133. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V5I2.24463>
5. Carbonari, C.A., & Velini, E.D. (2021). Risk assessment of herbicides compared to other pesticides in Brazil. *Advances in Weed Science*, 39, e21202032. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2021;39:00006>.
6. Cross, P., & Edwards-Jones, G. (2006). Variation in pesticide hazard from arable crop production in Great Britain from 1992 to 2002: Pesticide risk indices and policy analysis. *Crop Protection*, 25, 1101-1108. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.02.013>.
7. Deihimfard, R., Zand, E., Liaghati, H., & Soufizadeh, S. (2004). Strategies for reducing consumption of herbicides. *Environmental Science Journal*, 3, 4-25. (In Persian with English abstract).
8. Doris, S., Mullen, J., Wetzstein, M., & Houston, J. (2011). Environmental impact from pesticide use: A case study

- of soil fumigation in Florida tomato production. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 4649-4661. <https://doi.org/10.3390/ijerph8124649>.
9. FAO. (2009). Available online at: <http://faostat.fao.org/site/452/default.aspx>
10. Fazel Abad Agricultural Service Center. (2022). Management of crops and horticulture. <https://www.ajgol.ir/fa-IR/DouranPortal/1/page/%D8%B5%D9%81%D8%AD%D9%87-%D8%A7%D8%B5%D9%84%DB%8C>
11. Gios, G., Farinelli, S., Kheiraoui, F., Martini, F., & Orlando, J.G. (2022). Pesticides, crop choices and changes in well-being. *Bio-Based and Applied Economics*, 11(2), 171-184. <https://doi.org/10.36253/bae10310>.
12. Gizaw, Z. (2019). Public health risks related to food safety issues in the food market: A systematic literature review. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 24(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12199-019-0825-5>
13. Hoseini, S.A. (2018). Assessing the environmental effects of pesticides used in the wheat, canola, cotton and soybean fields in Gorgan and Ali Abad Katool townships. M.Sc Thesis, College of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian with English abstract)
14. Khosravi, S., & Tohidfar, M. (2014). Reducing the consumption of agricultural toxins and cancer by cultivating transgenic crops. *Journal of Genetic Engineering and Biosafety*, 4(1), 1-10. (In Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885073.1394.4.1.5.3>
15. Kniss, A.R., & Coburn, C.W. (2015). Quantitative Evaluation of the Environmental Impact Quotient (EIQ) for comparing herbicides. *Plos ONE*, 10(6), e0131200. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131200>
16. Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J. (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*, 139, 1-8.
17. Kumar Kanojia, A., & Sreekesh, S. (2020). Environmental impact of chemical pesticide use in rice using EIQ model. *Journal of Critical Reviews*, 7(16), 2394-5125.
18. Macharia, I., Mithofer, D., & Waibel, H. (2009). Potential environmental impacts of pesticides use in the vegetable sub-sector in Kenya. *African Journal of Horticultural Science*, 2, 138-151.
19. Mahlouji Rad, M., Kambouzia, J., Zand, E., & Khabbaz Jolfaii, H. (2012). Consideration of environmental impacts of authorized fungicides in Iran using EIQ model. *Journal of Agroecology*, 2(2), 73-86. (In Persian with English abstract).
20. Maleki, L., Sadrabadi Haghighi, R., & Bazregar, A.B. (2015). The study of environmental impact quotient (EIQ) of pesticides used in wheat and barley farms in Mashhad. *Journal of Agroecology*, 7(1), 109-119. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V7I1.48270>.
21. Moeinoddini, S.S., Zand, E., Kambouzia, J., Mahdavi Damghani, A., & Deihim Fard, R. (2014). Environmental risk assessment of registered insecticides in Iran using Environmental Impact Quotient (EIQ) index. *Journal of Agroecology*, 6(2), 250-265. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V6I2.39367>.
22. Molaei, M., Javanbakht, O., & Hesari, N. (2017). The estimation input-oriented environmental efficiency of agricultural products (Case study: Environmental efficiency of rice production). *Agricultural Economics Journal*, 11(2), 157-172. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/IAES.2017.26798>
23. Niazmoradi, M., Kazemi, H., Gherekhloo, J., Soltani, A., & Kamkar, B. (2024). Environmental impact quotient (EIQ) evaluation of used pesticides in wheat (*Triticum aestivum* L.) Fields of Bandar-e-Turkeman county, Golestan province. *Journal of Agroecology*, 15(4), 809-823. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/AGRY.2022.76161.1106>.
24. Peterson, R.K.D., & Schleier III, J.J. (2014). A probabilistic analysis reveals fundamental limitations with the environmental impact quotient and similar systems for rating pesticide risks. *Peer-Reviewed Scientific Mega Journal*, 2(1), e364. <https://doi.org/10.7717/peerj.364>
25. Philippe, V., Neveen, A., Marwa, A., & Ahmad Basel, A.Y. (2021). Occurrence of pesticide residues in fruits and vegetables for the Eastern Mediterranean region and potential impact on public health. *Food Control*, 119, 107457. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107457>
26. Pingali, P.L., & Roger, P.A. (1995). Impact of pesticide on farmer health and the rice environment. *Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA*.
27. Ramezani, M.K. (2013). Fate of pesticides and their risks assessment in the environment: A review. *Journal of Weeds Research*, 5(1), 97-121. (In Persian)
28. Rezaei, R., Safa, L., & Ganjkanlo, M.M. (2020). Understanding farmers' ecological conservation behavior regarding the use of integrated pest management- an application of the technology acceptance model. *Global*

- Ecology and Conservation*, e0094(22), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00941>
29. Sande, D., Mullen, J., Wetzstein, M., & Houston, J. (2011). Environmental impacts from pesticide use: A case study of soil fumigation in Florida tomato production. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 4649-4661. <https://doi.org/10.3390/ijerph8124649>
30. Yadollahi Nooshabadi, S.J., Jahansuz, M.R., Majnoun Hosseini, N., & Peykani, G. (2017). Evaluation of environmental risks in the use of insecticide in Hashtgerd region using EIQ. *Journal of Agroecology*, 9(4), 1020-1030. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.50487>



Evaluation of Sowing Date, Row Spacing, and Seed Density Effects on Yield and Some Agronomic and Phenological Traits of *Vicia pannonica* under Rainfed Conditions

Akbar Shabani^{1*} and Abouzar Asadi²

1- Legumes Department, Dryland Agriculture Research Institute of Iran, Sararood, Kermansha, Iran

2- Department of Plant Genetic and Production Engineering, Plant Improvement and Seed Production Center, Azad University, Isfahan Branch, Isfahan, Iran

(*- Corresponding author's Email: ashabani51@yahoo.com)

How to cite this article:

Received: 17-08-2024

Revised: 09-04-2025

Accepted: 13-04-2025

Available Online: 27-07-2025

Shabani, A., & Asadi, A. (2025). Evaluation of sowing date, row spacing, and seed density effects on yield and some agronomic and phytological traits of *Vicia pannonica* under rainfed conditions. *Journal of Agroecology*, 17(2), 265-280. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89328.1208>

Introduction

The increasing global population and food scarcity, particularly in developing nations, have underscored the significance of fodder legumes in supplying livestock feed and related products (Shabani, 2012). Leguminous fodder plants are crucial in producing necessary livestock feed, reducing soil erosion, enhancing soil texture, utilizing low-yield areas, and transitioning rainfed agriculture toward sustainability (Alizadeh et al., 2017). Among these, *Vicia pannonica* stands out as a key legume in cold regions due to its adaptability to environmental stresses and diverse applications, such as rejuvenating degraded pastures, providing high-quality and palatable fodder, improving soil structure, and supporting crop rotation (Dong et al., 2016; Tigka et al., 2016; Abbasi et al., 2014; Fıncıoğlu, 2014; Kim et al., 2015). Significant variations in performance and tolerance to environmental stresses have been observed among vetch species (Abdi et al., 2023; Karimzadeh Negari et al., 2022). Determining the optimal planting density and timing is crucial for maximizing productivity (Ezueh, 1982). Shabani and Asadi (2024) investigated the effects of planting dates and plant density on vetch yield, revealing that these factors significantly influence yield and agronomic traits. The objective of the present study was to identify the optimal planting time, density, and row spacing for white flower vetch under rainfed conditions.

Materials and Methods

The study utilized a split-plot design within a complete randomized block design, with three replications, conducted at the Seraroud Agricultural Research Institute in Kermanshah during the cropping years 2020-2022. The main factors investigated included planting line distances (25 cm and 30 cm), planting dates (early November, mid-December, and mid-March), and seed densities (100, 150, 200, 250, and 300 plants/m²). Traits assessed were days to 50% flowering, days to pod formation, forage yield, dry fodder yield, days to physiological maturity, biomass yield, seed yield, and 100-seed weight.



©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.2025.89328.1208>

Data were analyzed using combined and simple ANOVA, mean comparisons with Duncan's test, and variance homogeneity with Hartley's Fmax. SAS 9.4 and MSTAT-C software facilitated the analysis.

Results and Discussion

Composite variance analysis revealed that the year significantly impacted all assessed traits, necessitating separate analyses for each year. Row spacing influenced plant height, days to maturity, and fresh and dry fodder yields in both years, with 30 cm spacing outperforming 25 cm. Planting dates also significantly affected all traits; autumn planting consistently produced higher yields of fodder, dry matter, seed, and biomass compared to spring plantings. Autumn planting also resulted in taller plants, greater 100-seed weight, and a longer ripening period. Seed density per square meter had a significant impact on all the traits studied. The highest fodder yields were obtained at seed densities of 250 and 300 seeds per square meter in the first and second years, respectively. For seed yield, the optimal densities were 250 seeds per square meter in the first year and 200 in the second. However, very high densities—above 250 seeds per square meter—resulted in reduced fodder and seed yields due to increased competition for nutrients, which also led to a decrease in 100-seed weight.

Due to the significant interaction effects in various traits, different planting densities were analyzed based on planting dates. A comparison of the means of two years revealed that for autumn planting, a density of 250 plants per m² is preferred. This density demonstrated higher fresh forage content, greater dry matter, increased biological yield, larger grain weight (100-grain weight), and greater height compared to other densities. Conversely, densities of 100 and 300 plants per m² exhibited the lowest performance in these traits and are therefore considered unsuitable for autumn planting. For both the waiting and spring planting dates, densities ranging from 150 to 250 plants per square meter are more advantageous than either 100 or 300 plants per square meter, as they show higher performance traits and shorter ripening periods. Overall, the best performance for fodder production was achieved in autumn planting and densities of 200 to 250 seeds per m², while for seed production, densities of 150 to 250 seeds per m² were recommended.

Conclusion

Vicia pannonica performs better when given more time to grow in favorable autumn weather conditions. Planting in autumn leads to a longer lifespan and greater resilience to environmental factors. Rainfall during autumn has a significant impact on yield, while planting in spring may decrease yield due to a lack of rainfall. It is recommended that *Vicia pannonica* be cultivated in autumn. Increasing planting density leads to higher fodder and plant biomass yield, while medium planting density results in higher grain yield. A reduction in planting density can elongate the duration of flowering, podding, and physiological ripening. Based on the obtained results, a row spacing of 30 cm, an autumn planting date, and a seed density of 200 to 2500 seeds per square meter are recommended for fodder production. For seed production, a density of 150 to 250 seeds per square meter is suggested for cultivating white-flowered vetch in cold and semi-arid regions.

Keywords: Autumn cultivation, Fodder legumes, Rainfed agriculture

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۲۸۰-۲۶۵

ارزیابی تأثیر تاریخ کشت، فاصله ردیف و تراکم بذر بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی و فنولوژیک ماشک گل سفید (*Vicia pannonica*) در شرایط دیم

اکبر شعبانی^{۱*} و ابوذراسدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۴

چکیده

به‌منظور معرفی مناسب‌ترین تاریخ کشت (پاییزه، انتظاری و بهاره)، بهترین فاصله ردیف (۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر) و مناسب‌ترین تراکم بذر (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ در مترمربع) ماشک گل سفید (*Vicia pannonica*) در شرایط دیم، آزمایشی در قالب اسپلیت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات دیم سرارود اجرا شد. تجزیه واریانس نشان داد که فاصله ردیف کاشت، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی، عملکرد علوفه تر و خشک داشت و فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر نسبت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بهتر بود. تاریخ کاشت نیز به‌طور معنی‌داری تمامی صفات مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار داد. تاریخ کاشت پاییزه دارای عملکرد علوفه تر و خشک، عملکرد دانه و زیست‌توده، ارتفاع، وزن ۱۰۰ دانه و طول دوره رسیدگی بیشتری بود. تراکم بوته در مترمربع نیز صفات مورد بررسی را به‌طور معنی‌داری در هر دو سال آزمایش تحت تأثیر قرار داد. با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل در بسیاری از صفات، مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف براساس تاریخ‌های کاشت انجام شد. مقایسه میانگین دو سال آزمایش با در نظر گرفتن تصادفی بودن اثر سال نشان داد که در تاریخ کشت پاییزه، تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع به‌دلیل داشتن مقدار علوفه تر و ماده خشک بالاتر، و عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع بیشتر نسبت به سایر تراکم‌های کشت ترجیح داده می‌شود. تراکم‌های ۱۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع نیز دارای حداقل این صفات بودند و به‌عنوان تراکم‌های نامناسب برای کشت پاییزه معرفی می‌شوند. در تاریخ کشت انتظاری و بهاره نیز تراکم‌های ۱۵۰ تا ۲۵۰ بوته در مترمربع به‌دلیل داشتن صفات عملکردی بالاتر و دوره رسیدگی کوتاه‌تر نسبت به تراکم‌های ۱۰۰ و ۳۰۰ توجیه بیشتری دارند. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان تاریخ کاشت پاییزه، فاصله کشت ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۰۰ تا ۲۵۰ بوته در مترمربع را برای تولید علوفه و تراکم ۱۵۰ تا ۲۵۰ بوته در مترمربع را برای تولید دانه به‌منظور کشت دیم ماشک گل سفید در مناطق سرد و نیمه‌سرد توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: دیم‌کاری، کشت پاییزه، لگوم علوفه‌ای

مقدمه

غذا به‌وجود آورده است که در این میان، نقش لگوم‌های علوفه‌ای در تغلیف دام و در نتیجه تأمین نیاز انسان به فراورده‌های دامی از اهمیت غیرقابل انکاری برخوردار است (Shabani et al., 2012). از حدود شش میلیون هکتار سطح دیم‌زارهای ایران، حدود یک میلیون هکتار زیر کشت گیاهان علوفه‌ای می‌باشد. از سوی دیگر، کل علوفه تولید شده در کشور، حدود ۲۶ میلیون تن گزارش شده است که ۲۵۷ هزار تن آن در شرایط دیم تولید می‌شود (Jihad, 2023). گیاهان علوفه‌ای خانواده بقولات می‌توانند در تولید علوفه مورد نیاز، کاهش فرسایش

کمبود مواد غذایی و افزایش روزافزون جمعیت به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، نگرانی‌هایی جدی در رابطه با آینده تأمین

۱- بخش حبوبات، مرکز تحقیقات دیم سرارود، کرمانشاه، ایران
۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی و مرکز تحقیقات اصلاح و تولید بذر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: ashabani51@yahoo.com)
<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89328.1208>

خاک، بهبود بافت خاک، کاهش استفاده از سموم، بهره‌برداری از مناطق کم‌بازده و نیز سوق دادن کشاورزی دیم به سمت یک کشاورزی پایدار نقش اساسی داشته باشند (Alizadeh et al., 2018).

لزوم وارد کردن یک گیاه جدید در تناوب زراعی دیم‌زارها با توجه به عوارض کشت تک محصولی از یک طرف، نیاز روزافزون به تولیدات دامی و نیز بی‌استفاده ماندن اراضی مستعد در سال‌های آیش از طرف دیگر، ضرورت بررسی و توسعه گیاهان علوفه‌ای در اراضی دیم و معرفی ارقام مناسب برای اقلیم‌های مختلف کشور را یادآور می‌شود. ماشک زراعی (*Vicia spp*) یکی از مهم‌ترین لگوم‌های مناطق سردسیر است که گیاهی علفی، خودگشن و یک‌ساله می‌باشد (Tigka et al., 2016; Dong et al., 2016).

این گیاه سازگاری گسترده‌ای به تنش‌های محیطی دارد و می‌تواند برای اهدافی چون اصلاح مراتع فرسوده، تغذیه دام‌ها به دلیل خوش‌خوراکی و کیفیت بالای علوفه، اصلاح ساختمان خاک و تناوب زراعی مورد استفاده قرار گیرد (Abbasi et al., 2014; Dong et al., 2016; Firincioglu, 2014; Kim et al., 2015).

بین گونه‌های ماشک به لحاظ عملکرد و صفات زراعی تنوع معنی‌داری وجود دارد (Abdi et al., 2023). همچنین بین اکوتیپ‌های ماشک از نظر تحمل به تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری و خشکی تنوع معنی‌داری گزارش شده است (Karimzadeh Negari et al., 2022; Sun et al., 2022).

ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia sativa*) ماشک معمولی (از مهم‌ترین گونه‌های *Vicia hircanica*) و ماشک خزری (*Vicia villosa*) . تحمل به سرما گونه (Javanmard et al., 2019) ماشک می‌باشد (ماشک پانونیکا سبب شده است که این گیاه، مناسب کشت پاییزه در اراضی دیم سردسیر و در تناوب با غلات باشد) (Lamei et al., 2011).

تفاوت عملکرد در گیاهان می‌تواند متأثر از عوامل آب‌وهوایی، تاریخ کاشت، تراکم کاشت و مدیریت عملیات زراعی باشد (Akinola & Davies, 1978). یکی از نیازهای مهم در مدیریت زراعی به‌منظور بهره‌وری از پتانسیل عملکرد و کیفیت مطلوب، تعیین بهترین تراکم و مناسب‌ترین زمان کاشت محصول است (Ezueh, 1982). تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت در هر منطقه یکی از مهم‌ترین جنبه‌های اصلاح محصول و همچنین کشت موفق آن است و از آنجا که تاریخ کاشت در هر منطقه آب‌وهوایی متفاوت است، انتخاب تاریخ کاشت

مناسب به‌طوری که عوامل محیطی برای سبز شدن، استقرار و بقا گیاه ایده‌آل باشد، ضروری است (Dobor et al., 2016). از مهم‌ترین اقدامات مدیریت زراعی برای دستیابی به حداکثر عملکرد در یک محصول، می‌توان به فاصله مناسب ردیف کشت، رعایت تراکم مناسب کاشت در واحد سطح و تاریخ مناسب کاشت اشاره کرد. با رعایت این موارد بوته‌ها می‌توانند حداکثر بهره‌برداری از منابع محیطی را داشته باشند و در نهایت، عملکرد بالاتری داشته باشند (Karaye et al., 2017).

در آزمایشی کاگ و کاکان (Gök & Çağan, 2023) با بررسی تأثیر فاصله‌های مختلف کاشت بر عملکرد علوفه، کیفیت علوفه و برخی ویژگی‌های مهم برای زنبورداری در ماشک مجارستانی (*Vicia panonica* Crantz. گزارش دادند که اثر فاصله‌های مختلف کاشت بر عملکرد علوفه تر و ماده خشک، درصد فسفر، مدت زمان ماندن زنبورهای عسل روی گل و تعداد گل‌ها در هر مترمربع از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد علوفه و ماده خشک در فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین، بیشترین درصد فسفر و بیشترین مدت زمان ماندن زنبورهای عسل روی گل در فاصله‌های ردیف ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر ثبت گردید. حداکثر تعداد گل‌ها در هر مترمربع نیز در فاصله ردیفی ۴۰ سانتی‌متر به دست آمد. شعبانی و اسدی (Shabani and Asadi, 2024) در مطالعه‌ای اثر تاریخ‌های کاشت، تراکم بوته و فاصله ردیف بر عملکرد و برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک ماشک گل‌خوشه‌ای را در شرایط دیم مورد بررسی قرار دادند و گزارش دادند که صفات مختلف از جمله عملکرد علوفه و دانه، ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه و صفات فنولوژیک تحت تأثیر تاریخ‌های کاشت و تراکم بوته قرار گرفتند. در تحقیقی که توسط سلیمانی و همکاران (Soleymani Sardoo et al, 2017) به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش انجام شد، گزارش شد که اثر تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، عملکرد دانه و زیست‌توده تأثیر معنی‌داری داشت. تراکم بوته نیز تعداد نیام در بوته و زیست‌توده را تحت تأثیر قرار داد. با این حال، اثر متقابل تاریخ کاشت در تراکم بوته فقط بر ارتفاع بوته و زیست‌توده تأثیر معنی‌داری نشان داد. آبروش (Abravesh, 2011) نیز تاریخ کاشت را عامل مؤثری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام ماش معرفی کردند. در مطالعه دیگر نیز ربیعی و جیلانی (Rabiee & Jilani, 2014) با بررسی اثر تاریخ کاشت، فاصله ردیف و مقادیر بذر

مهرماه انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت سه متری با توجه به فاصله ردیف کاشت (فاکتور اصلی)، تاریخ کاشت (فاکتور فرعی) و تراکم بذر (فاکتور فرعی فرعی) بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. بذور قبل از کاشت با قارچ‌کش کربوکسین تیرام به نسبت ۲ در ۱۰۰۰ ضدعفونی گردید. علاوه بر مراقبت‌های زراعی لازم، علف‌های هرز نیز طی چندین مرحله وجین شدند.

در طول فصل رشد، اقدام به اندازه‌گیری صفات مختلف فنولوژیک شامل روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (تعداد روز از اولین باران تا زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها وارد مرحله گل‌دهی شدند)، تعداد روز تا شروع غلاف دهی (تعداد روز تا از اولین باران تا زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها وارد مرحله غلاف‌دهی شدند) و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک (تعداد روز تا رسیدگی دانه‌ها) شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد علوفه تر، دو ردیف از گیاهان هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه به‌طور جداگانه کف‌بر و توزین شدند. علوفه تر در داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شد و در داخل آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نمونه‌ها پس از گذشت ۴۸ ساعت با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین و به‌عنوان عملکرد علوفه خشک در واحد سطح در نظر گرفته شدند. سایر صفات پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها اندازه‌گیری شدند. بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی، اثرات حاشیه حذف و بقیه گیاهان هر کرت به‌طور جداگانه برداشت شدند و پس از توزین به‌عنوان عملکرد زیست‌توده (زیست‌توده آفتاب خشک) در واحد سطح ثبت گردید. پس از اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده، مقدار دانه هر کرت جداگانه توزین و به‌عنوان عملکرد دانه در هکتار در نظر گرفته شد و نتیجه حاصل به هکتار تعمیم داده شد. تعداد ۱۰۰ دانه در هر کرت به‌طور جداگانه شمارش و با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین شد و به‌عنوان وزن ۱۰۰ دانه یادداشت شد. فاصله بین محل طوقه تا نوک ساقه نیز به‌عنوان ارتفاع بوته با استفاده از متر اندازه‌گیری شد.

در نهایت، داده‌های به‌دست‌آمده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل دامنه‌های معنی‌دار دانکن و آزمون یکنواختی واریانس‌ها با Fmax هارتلی با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و MSTAT-C انجام گرفت.

بر عملکرد دانه و پروتئین گیاه باقلا (*Vicia faba* L.) گزارش دادند که از بین تاریخ‌های کاشت، تاریخ کاشت ۲۵ و ۱۰ مهر، بیشترین وزن ۱۰۰ دانه، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه و پروتئین را به خود اختصاص دادند. فاصله کاشت ۴۰ و ۳۰ سانتی‌متر و میزان بذر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه و پروتئین را به خود اختصاص دادند.

نظر به اهمیت تولید علوفه و نیز حفظ مراتع در مناطق سرد و نیمه‌سرد کشور، هدف از مطالعه حاضر یافتن مناسب‌ترین تاریخ کشت، تراکم کاشت و فاصله ردیف کشت و به‌منظور ارائه توصیه‌های کاربردی به کشاورزان در گیاه ماشک گل سفید برای مناطق سرد و نیمه‌سرد بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در ایستگاه پژوهشکده کشاورزی دیم سرارود واقع در ۲۲ کیلومتری شهر کرمانشاه با طول جغرافیایی ۲۰ و ۴۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۰ و ۳۴ درجه شمالی در ارتفاع ۱۳۵۱/۶ متری از سطح دریا انجام شد. این ایستگاه دارای بافت خاک سیلتی-رسی-لومی است. برخی از پارامترهای مهم آب‌وهوایی دو سال تحقیق به شرح جدول ۱ می‌باشد.

لاین VP-2670 از ماشک پانونیکا که با همکاری مرکز بین‌المللی ایکاردا از ترکیه وارد آزمایشات مقدماتی ایستگاه‌های مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم شد و پس از چرخه اصلاحی با نام ماشک گل سفید به دیم‌زارهای ایران معرفی گردید (Alizad Dezaj et al., 2013) در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

مطالعه حاضر در قالب طرح اسپلیت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طول سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در منطقه سرارود کرمانشاه اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی به شرح زیر بودند: فاکتور اصلی (A): فاصله ردیف کاشت در دو سطح ۲۵ سانتی‌متر و ۳۰ سانتی‌متر، فاکتور فرعی (B): تاریخ کشت در سه سطح اوایل آبان‌ماه (کشت پاییزه)، اواسط آذرماه (کشت انتظاری) و اواسط اسفند ماه (کشت بهاره) و فاکتور فرعی فرعی (C): تراکم بذر در پنج سطح ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شامل شخم، دیسک و لولر در

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود سال زراعی ۱۴۰۱-۱۳۹۹
Table 1- Crop growing season meteorological details for Sararood station 2020-2022

ماه	2020-2021					2021-2022				
	بارندگی	حداقل دمای مطلق	حداکثر دمای مطلق	متوسط دما	درصد رطوبت نسبی	بارندگی	حداقل دمای مطلق	حداکثر دمای مطلق	متوسط دما	درصد رطوبت نسبی
Month	Rainfall (mm)	Absolute temperature (min)	Absolute temperature (max)	Average Temperature	Average relative Humidity (%)	Rainfall (mm)	Absolute temperature (min)	Absolute temperature (max)	Average Temperature	Average relative Humidity (%)
شهریور	0.4	2	34.2	19.3	32.6	0	0	34.2	19.5	27.7
مهر	63.5	0.4	27.8	13.4	49	24.8	-1	26.6	12.2	53.5
آبان	117	-2.2	16.2	6.4	78.6	39.5	-6.3	18.6	8.1	67
آذر	8.6	-7.4	18.5	5.0	55.3	26.0	-12.4	15.8	4.3	72
دی	93.7	-6.2	20.1	6.4	63.0	54.3	-12.4	16.1	3.5	65.7
بهمن	16.9	-5.2	22.2	7.8	57.3	29.6	-7.3	21.2	8.3	54.9
اسفند	5.3	-2.8	30.2	22.4	47.0	7.8	-3.4	30.3	13.7	38.0
فروردین	5.9	7.3	36.4	20.1	34.0	45.5	3.2	32.2	16.7	48.3
اردیبهشت	6.2	8.2	41.8	23.5	25.0	0	7.6	40.5	23.9	22.4
خرداد	0	14.2	40.8	27.9	20.3	0	12.1	42.4	28.2	19.2

نتایج و بحث

براساس جدول تجزیه واریانس مرکب (جدول ۲)، اثر سال بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس ساده در سال اول آزمایش نشان داد که صفات عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و ارتفاع گیاه در سطح آماری یک درصد تحت تأثیر فاصله ردیف کشت قرار داشتند. اما فاصله ردیف کشت تأثیری بر صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا شروع غلاف‌دهی، روز تا رسیدگی و وزن ۱۰۰ دانه نداشت (جدول ۳). در سال دوم آزمایش نیز ارتفاع گیاه و وزن ۱۰۰ دانه در سطح آماری یک درصد و عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و روز تا رسیدگی در سطح آماری پنج درصد متأثر از فاصله ردیف کشت قرار گرفتند. اما در صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و روز تا شروع غلاف‌دهی تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۴). کاک و کاکن (Gök & Çaçan, 2023) با بررسی فواصل مختلف کاشت ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر بر روی صفات مختلف در ماشک مجارستانی گزارش دادند که برای تولید علوفه ماشک مجارستانی، فاصله ردیفی ۲۰ سانتی‌متر ترجیح داده می‌شود. باین‌حال، اگر این گیاه به‌عنوان مرتع زنبورها ارزیابی شود، فاصله ردیفی ۴۰ سانتی‌متر به‌دلیل وجود حداکثر تعداد گل‌ها ترجیح داده می‌شود.

تاریخ‌های مختلف کاشت، همه صفات مورد بررسی را در هر دو سال آزمایش تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳ و ۴)، اثر متقابل فاصله ردیف کشت و تاریخ کاشت در صفات عملکرد دانه، ارتفاع گیاه، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک، عملکرد زیست‌توده، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود. تراکم‌های مختلف بذر در واحد سطح در هر دو سال آزمایش، تمامی صفات اندازه‌گیری‌شده را تحت تأثیر قرار داده است، اما اثر متقابل سطوح ردیف کاشت در تراکم‌های مختلف در هیچ‌کدام از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود (جدول ۳ و ۴). تمامی صفات مورد مطالعه در هر دو سال آزمایش در سطح آماری یک درصد تحت تأثیر تراکم بذر در واحد سطح قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر متقابل فاصله ردیف کاشت در تراکم‌های مختلف در هیچ‌کدام از صفات مورد مطالعه معنی

دار نبود. اثر متقابل سطوح تاریخ کاشت و سطوح مختلف تراکم بذر در صفات عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد و صفت روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در سال دوم آزمایش، اثرات متقابل سطوح تاریخ کاشت و تراکم بذر در صفات عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، روز تا شروع غلاف‌دهی و ارتفاع گیاه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار و در سایر صفات غیرمعنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین، اثر متقابل سه‌گانه تنها صفت عملکرد دانه در سال اول را تحت تأثیر قرار داد و اثر معنی‌داری بر سایر صفات در سال‌های آزمایش نداشت (جدول ۳ و ۴). شعبانی و اسدی (Shabani & Asadi, 2024) تراکم و تاریخ کاشت را از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در ماشک مراغه معرفی کردند. در آزمایشی که آبروش (Abravesh, 2011) به منظور بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام ماش انجام دادند نیز تاریخ کاشت را عامل بسیار مؤثر بر صفات مختلف در ارقام ماش معرفی کردند. سلیمانی و همکاران (Soleymani Sardoo et al, 2017) نیز گزارش دادند که تاریخ کاشت و تراکم بوته عملکرد و اجزای عملکرد ماش را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، به نظر می‌رسد که شرایط محیطی متفاوت در دو سال آزمایش و واکنش گیاه به عوامل مدیریتی نظیر تاریخ کاشت و تراکم بذر، نقش تعیین‌کننده‌ای در بیان صفات زراعی داشته است. معنی‌دار بودن برخی اثرات متقابل نیز نشان‌دهنده تعامل پیچیده بین عوامل زراعی است که می‌تواند در تدوین توصیه‌های فنی برای مناطق مختلف و شرایط متفاوت اقلیمی مؤثر واقع شود. بنابراین، انتخاب تاریخ کاشت و تراکم مناسب باید با در نظر گرفتن ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه انجام گیرد تا حداکثر بهره‌وری از عملکرد حاصل شود.

نتایج مقایسه میانگین صفات ماشک گل سفید در شرایط دیم در سال اول (۱۳۹۹-۱۴۰۰) در جدول ۵ نشان می‌دهد که سطوح فاصله ردیف کشت تنها در صفات عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند و در گروه‌های متفاوتی قرار گرفتند.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب اثر فاصله ردیف، تاریخ‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت بر صفات فنولوژیک، عملکرد و اجزای آن در ماشک گل سفید

Table 2- Composite variance analysis of different line spacing, planting dates and densities on phenological traits, yield, and its components in *Vicia Pannonica*

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده	روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی	روز تا شروع غلاف	روز تا رسیدن فیزیولوژیکی	ارتفاع بوته	وزن ۱۰۰ دانه
Mean of squares										
Source of variance	df	Fresh fodder yield	Yield of dry fodder	Seed yield	Biomass yield	Days to 50% flowering	Days to the start of podding	Days to physiological ripening	Plant height	Weight of 100 seeds
سال	Year	23006555**	950916**	392000**	*858222	3100**	2437**	3225**	3374*	0.62**
خطا	Error R (Y)	18923740	1091387	99819	355811	41.34	39.83	98.26	6385	0.22
فاکتور اول	A	4550673*	212825*	2058 ^{ns}	18402 ^{ns}	5.49**	9.15**	15.98**	61.00**	0.01 ^{ns}
اثر متقابل	A×Y	622203 ^{ns}	68668 ^{ns}	586 ^{ns}	37656 ^{ns}	6.07**	32.31**	94.22**	12.83 ^{ns}	0.03 ^{ns}
خطا	Error A×R(Y)	256999	21384	3990	12341	0.51	1.34	2.17	6.01	0.01
فاکتور دوم	B	5505502*	265497*	5227 ^{ns}	2456 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.56 ^{ns}	7.2 ^{ns}	50.64*	0.03 ^{ns}
اثر متقابل	A×B	418220 ^{ns}	96779 ^{ns}	6730 ^{ns}	2062 ^{ns}	11.26**	9.20**	2.45 ^{ns}	84.98**	0.01 ^{ns}
اثر متقابل	Y×B	339041 ^{ns}	5997 ^{ns}	7893 ^{ns}	34694 ^{ns}	2.01 ^{ns}	7.20*	5.69 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.37*
اثر متقابل	Y×A×B	305112 ^{ns}	62139 ^{ns}	25553*	56951 ^{ns}	0.69 ^{ns}	5.82*	8.04 ^{ns}	10.89 ^{ns}	0.02 ^{ns}
خطا	Error B×R (Y×A)	229515	14754	3483	19403	0.59	1.39	2.70	2.28	0.01
فاکتور سوم	C	830247042**	41883784**	5657459**	23156557**	37867**	38680**	61799**	15337**	36/12**
اثر متقابل	Y×C	3923326*	181100 ^{ns}	66245**	89912 ^{ns}	476**	754**	42.02**	59.80**	0.266**
اثر متقابل	A×C	1716574 ^{ns}	92402 ^{ns}	12317 ^{ns}	64912 ^{ns}	6.20**	9.47**	3978**	19.98*	0.013 ^{ns}
اثر متقابل	Y×A×C	152598 ^{ns}	27659 ^{ns}	15102 ^{ns}	79302 ^{ns}	3.54**	6.08*	2733**	1.25 ^{ns}	0.02 ^{ns}
اثر متقابل	B×C		36358 ^{ns}	10584 ^{ns}	19097 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.08 ^{ns}	2.01 ^{ns}	20.29 ^{ns}	0.03 ^{ns}
اثر متقابل	Y×B×C	619801 ^{ns}	61420 ^{ns}	15754 ^{ns}	183354**	4.94**	3.27 ^{ns}	0.27 ^{ns}	6.47 ^{ns}	0.02*
اثر متقابل	A×B×C	694744 ^{ns}	30828 ^{ns}	32457**	94627*	5.36**	1.64 ^{ns}	1.17*	24.77*	1.03*
اثر متقابل	Y×A×B×C	416290 ^{ns}	57126 ^{ns}	20336*	92714*	1.05 ^{ns}	4.23 ^{ns}	16.92**	11.31 ^{ns}	0.04**
خطا	Error	1193744	63038	7745	34104	0.87	1.74	3.19	7.68	0.01
درصد ضریب تغییرات	CV (%)	18.41	18.56	19.20	18.81	0.79	1.05	1.10	6.81	3.08

*, **, و^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌داری
 *, **, and ^{ns}: Significant at 5%, 1% probability levels, and non-significant respectively
 Planting line distances (A), planting dates (B) and seed densities (C),

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر فاصله ردیف، تاریخ‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت بر صفات فنولوژیک، عملکرد و اجزای آن در ماشک گل سفید در سال اول

Table 3- Analysis of variance of different planting dates and densities on phenological traits, yield, and its components in *Vicia pannonica* in the first year

		میانگین مربعات									
منابع تغییرات		درجه آزادی	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده	روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی	روز تا شروع غلاف	روز تا رسیدن فیزیولوژیکی	ارتفاع بوته	وزن ۱۰۰ دانه
			Fresh fodder yield	Yield of dry fodder	Seed yield	Biomass yield	Days to 50% flowering	Days to the start of podding	Days to physiological ripening	Plant height	Weight of 100 seeds
بلوک	Repeat	2	4076678*	242874**	234 ^{ns}	19267 ^{ns}	0.58 ^{ns}	5.03 ^{ns}	60.80**	30.10**	0.04*
فاکتور اول	A	2	4288503**	175651**	137 ^{ns}	27808 ^{ns}	1.34 ^{ns}	5.87 ^{ns}	0.04*	20.50**	0.00 ^{ns}
خطا	Error (a)	2	161896	6718	3054	21020	3.38	0.28	9.68	70.70	0.02
فاکتور دوم	B	2	360189198**	18280111**	2257020**	10197388**	15223**	14643*	24465**	7595**	4.54**
اثر متقابل	A×B	2	372805 ^{ns}	21780 ^{ns}	5953 ^{ns}	67374*	2.48*	1.34 ^{ns}	0.41 ^{ns}	6.21 ^{ns}	0.01 ^{ns}
خطا	Error (b)	8	481796	37862	9717	39922	2.49	4.69	23.10	20.20	0.04
فاکتور سوم	C	5	16487353**	988916**	38326**	151269**	36.40**	24.46**	86.90**	6.02**	0.25**
اثر متقابل	A×C	4	228772 ^{ns}	13663 ^{ns}	5609 ^{ns}	15350 ^{ns}	0.59 ^{ns}	2.63 ^{ns}	1.13 ^{ns}	2.74 ^{ns}	0.01 ^{ns}
اثر متقابل	B×C	8	3728866**	215914**	9526**	13505 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.47 ^{ns}	2.79 ^{ns}	1.78 ^{ns}	0.01 ^{ns}
اثر متقابل	A×B×C	8	224629 ^{ns}	7481 ^{ns}	5599*	24213 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.47 ^{ns}	2.79 ^{ns}	1.78 ^{ns}	0.01 ^{ns}
خطا	Error (c)	48	131498	13337	2599	15382	0.74	1.81	3.94	4.39	0.01
درصد ضریب تغییرات	CV (%)		5.6	9.0	12.3	14.3	0.75	1.11	2.26	5.09	3.03

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌داری

فاصله ردیف کاشت (A)، تاریخ کشت (B) و تراکم بذر (C)

*, ** and ^{ns}: Significant at 5%, 1% probability levels, and non-significant respectively

Planting line distances (A), planting dates (B) and seed densities (C)

در هکتار در کشت پاییزه به دست آمد. در کشت انتظاری این مقدار به ۵۵۶۳ کیلوگرم در هکتار رسید و در کشت بهار، عملکرد علوفه تر به ۲۱۲۲ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۵). همچنین، براساس نتایج مقایسه میانگین سال دوم (جدول ۶)، بیشترین و کمترین متوسط عملکرد علوفه تر به ترتیب با ۷۲۶۰ و ۳۶۲۹ کیلوگرم در هکتار در کشت پاییزه و بهار به دست آمد.

این دو صفت در فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر عملکرد بیشتری داشتند. نتایج آزمایشی که توسط ییلاق چغاکور و همکاران (Yeilagh Cheghakhor, 2010) بر روی دو رقم نخود زراعی در سه فاصله ردیف (۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر) انجام شد، نشان داد که تأثیر فاصله ردیف بر صفت وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار نبود، اما در فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر، بوته‌ها به طور نسبی وزن دانه کمتری داشتند. در سال اول، حداکثر متوسط عملکرد علوفه تر با ۹۰۵۲ کیلوگرم

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر فاصله ردیف، تاریخ‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت بر صفات فنولوژیک، عملکرد و اجزای آن در ماشک گل سفید در سال دوم

Table 4- Analysis of variance of different planting dates and densities on phenological traits, yield, and its components in *Vicia panonica* in the second year

Mean of squares											
Source of variance		df	Fresh fodder yield	Yield of dry fodder	Seed yield	Biomass yield	Days to 50% flowering	Days to the start of podding	Days to physiological ripening	Plant height	Weight of 100 seeds
بلوک	Replication	1	1196196*	38620 ^{ns}	2411 ^{ns}	36790 ^{ns}	11.00**	36.43**	2901**	43.70**	0.00 ^{ns}
فاکتور اول	A	2	1556039*	95844*	12984 ^{ns}	9343 ^{ns}	0.71 ^{ns}	1.88 ^{ns}	12.84*	30.60**	0.06**
خطا	E(a)	2	561435	152200	29230	37994	8.57	14.74	0.81	25.10	0.01
فاکتور دوم	B	2	473981169**	23784773**	3466683**	13049080**	23121**	791/24**	32375**	78**	8.09
اثر متقابل	A×B	2	1237176*	75998*	20385**	135077*	2.68*	2.01 ^{ns}	1.88 ^{ns}	20.6**	0.04*
خطا	E (b)	8	1008306	66146	30389	125356	5.58	6.02	23.04	8.40	0.01
فاکتور سوم	C	5	21360125**	1193857**	131312**	520353**	46.30*	55.20***	109.62**	67.70**	0.18**
اثر متقابل	A×C	4	421088 ^{ns}	29229 ^{ns}	2911 ^{ns}	5606 ^{ns}	1.04 ^{ns}	1.97 ^{ns}	1.73 ^{ns}	2.17 ^{ns}	0.00
اثر متقابل	B×C	8	7885658**	400128**	51273**	143427**	1.15 ^{ns}	3.58**	1.89 ^{ns}	53.00**	0.01 ^{ns}
اثر متقابل	A×B×C	8	581281 ^{ns}	26296 ^{ns}	2158 ^{ns}	37292 ^{ns}	0.80 ^{ns}	1.89 ^{ns}	2.56 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.01 ^{ns}
خطا	E (c)	48	332184	15367	3826	28489	0.55	0.93	2.36	3.82	0.01
درصد ضریب تغییرات	CV (%)		9.16	8.69	12.25	16.86	0.61	0.75	0.92	4.85	2.82

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد و یک درصد و غیر معنی‌داری

فاصله ردیف کاشت (A)، تاریخ کشت (B) و تراکم بذر (C)

*, ** and ^{ns}: Significant at 5%, 1% probability levels, and non-significant respectively
Planting line distances (A), planting dates (B) and seed densities (C)

کشت پاییزه و تا حدی کشت انتظاری، ارتباط مستقیمی با دسترسی بهتر گیاه به رطوبت خاک داشته است. بارندگی ۱۲۲ میلی‌متری در کشت پاییزه شرایط مطلوب‌تری برای جوانه‌زنی، استقرار اولیه و رشد رویشی گیاه فراهم کرده است. همچنین، میزان بارندگی بیشتر در کشت انتظاری نسبت به بهاره (حدود ۱۱۹ میلی‌متر) نیز می‌تواند دلیل عملکرد بهتر آن نسبت به کشت بهاره باشد. این یافته‌ها نقش

در کشت پاییزه، از یک سو به دلیل بهره‌مند شدن گیاه از منابع رطوبتی و از سوی دیگر، به دلیل رسیدگی فیزیولوژیکی زودتر که باعث شد گیاه از تنش خشکی آخر فصل فرار کرده و قبل از وقوع تنش خشکی به رسیدگی برسد، عملکرد بیشتری داشت. این امر در خصوص صفات عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده نیز صادق است. با توجه به میزان بارندگی (جدول ۱)، می‌توان گفت که عملکرد بالاتر

تنش‌های شدید رطوبتی ناشی از کاشت دیر هنگام (کشت بهاره) موجب کاهش چشم‌گیر عملکرد می‌گردد، لذا سیاست ترویجی کشت این گیاه در دیم‌زارها می‌بایست به سمت کشت پاییزه و انتظاری باشد. شعبانی و اسدی (Shabani & Asadi, 2024) نیز تاریخ کاشت پاییزه را برای ماشک مراغه توصیه کردند.

صفات ارتفاع گیاه و وزن ۱۰۰ دانه نیز متأثر از سطوح تاریخ کاشت بودند. متوسط صفت ارتفاع در کشت پاییزه در ماشک گل سفید ۵۷ سانتی‌متر و در کشت انتظاری و بهاره به ترتیب ۴۲ و ۲۵ سانتی‌متر بود (جدول ۵). در بررسی سطوح فاکتور تاریخ کاشت، بیش‌ترین مقدار وزن ۱۰۰ دانه در هر دو سال آزمایش به ترتیب به کشت پاییزه، کشت انتظاری و کشت بهاره تعلق داشت. در کشت پاییزه به دلیل طولانی بودن دوره رشد علاوه بر افزایش عملکرد نسبت به سطوح دیگر این فاکتور، گیاه فرصت مناسبی دارد که وزن دانه خود را افزایش داده و قبل از وقوع خشکی آخر فصل، اکثر دانه‌ها رشد خود را کامل کرده باشند.

تعیین‌کننده رطوبت در مراحل اولیه رشد را تأیید می‌کنند. عملکرد دانه در کشت پاییزه، انتظاری و بهاره به ترتیب در سال اول برابر ۶۷۶، ۴۳۱ و ۱۲۹ و در سال دوم برابر ۵۸۹، ۴۱۸ و ۲۴۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵ و ۶). عملکرد زیست‌توده نیز در سطوح تاریخ کاشت به ترتیب در سال اول برابر ۱۴۲۷، ۹۰۰ و ۲۶۳ و در سال دوم برابر ۱۱۹۱، ۸۳۷ و ۴۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد، با توجه به نتایج دو ساله این تحقیق، عملکرد ماشک گل سفید در کشت بهاره بسیار کمتر از کشت پاییزه و انتظاری می‌باشد، به عبارتی با تأخیر در کاشت، گیاهان کوچک‌تر و شاخ و برگ کمتری تولید می‌کنند. در نتیجه، عملکرد زیستی کمتری هم خواهند داشت. به‌طور کلی، گیاهان در کشت پاییزه با داشتن فرصت کافی برای رشدنمو خود، می‌توانند حداکثر پتانسیل خود را جهت تولید عملکرد علوفه تر و دانه نشان دهند، بنابراین گیاه در تاریخ کاشت‌های ابتدای فصل رشد، تعداد شاخه و برگ و دانه بیشتری نسبت به تاریخ کاشت تأخیری خواهد داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر فاصله ردیف، تاریخ‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت بر صفات فنولوژیک، عملکرد و اجزای آن در ماشک گل سفید در سال اول

Table 5- Mean comparison of different planting dates and densities on phenological traits, yield, and its components in *Vicia panonica* in the first year

فاکتور			عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده	روز تا ۵۰ درصد گل دهی	روز تا شروع غلاف	روز تا رسیدن فیزیولوژیکی	ارتفاع بوته	وزن ۱۰۰ دانه
Factors			Fresh fodder yield (kg.ha ⁻¹)	Yield of dry fodder (kg.ha ⁻¹)	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	Days to 50% flowering	Days to the start of podding	Days to physiological ripening	Plant height (cm)	Weight of 100 seeds (g)
فاصله ردیف	Line space (cm)	25	5361 b	1236 b	410.5a	845.7a	114.2a	122.2a	158.6a	40.7a	3.1a
		30	5797 a	1324 a	412.9a	880.9a	113.9a	121.7a	158.7a	41.6a	3.1a
تاریخ کاشت	Planting data	Autumn	9052 a	2057 a	676a	1427a	139.5a	146.9a	192.9a	56.5a	3.46a
		Waiting	5563 b	1286 a	431b	900b	1061b	113.8b	151.7b	42.3b	3.2b
		Spring	2122c	496a	129c	263c	96.6c	105.1c	131.4c	24.7c	2.7c
تراکم بذر در متر مربع	Density of seed per m ²	100	4088d	923c	323c	737c	115.7a	123.6a	161.1a	38.8b	3.3a
		150	5199c	1162b	388b	814c	115.3a	122.7a	160.6a	42.4a	3.2b
		200	6026b	1407a	460a	954a	113.8b	121.5b	158.6b	43.0a	3.1b
		250	6493a	1487a	478a	948a	112.5c	121.0b	156.8c	41.8a	3.0c
		300	6091b	1420a	407b	861b	112.9c	120.8b	156.2c	39.7b	2.9c

در هر ستون و در هر گروه تیمار میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد از طریق آزمون دانکن با هم ندارند.

In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

فاکتور تراکم بوته در مترمربع که از اهمیت ویژه‌ای در اکثر گیاهان برخوردار است نیز صفات مختلف مورد بررسی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵ و ۶). واکنش ماشک گل سفید به تراکم زیاد منجر به کاهش محصول تک بوته و افزایش عملکرد در واحد سطح در هر دو سال آزمایش شد. در تراکم‌های بیشتر، دریافت نور خورشید به دلیل تاج پوشش افزایش یافته که این امر در نهایت، سبب افزایش عملکرد می‌شود. در این آزمایش، حداکثر عملکرد علوفه تر در سال اول به مقدار ۶۴۹۳ کیلوگرم در هکتار، در تراکم ۲۵۰ دانه در مترمربع حاصل شد، رتبه بعدی عملکرد علوفه تر به سطوح تراکم ۳۰۰ و ۲۰۰ دانه در مترمربع تعلق داشت. بین مقدار علوفه تر این دو سطح اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. پایین‌ترین مقدار عملکرد علوفه تر نیز با مقدار ۴۰۸۸ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۱۰۰ دانه در مترمربع به دست آمد (جدول ۵). در سال دوم آزمایش نیز نتایج تقریباً مشابهی حاصل شد و حداکثر عملکرد علوفه تر با مقادیر ۶۱۱۷ و ۵۷۹۸ کیلوگرم در هکتار، در تراکم‌های ۳۰۰ و ۲۵۰ دانه در مترمربع و حداقل آن نیز در تراکم ۱۰۰ دانه در مترمربع به دست آمد (جدول ۶). به‌طور کلی، حداکثر عملکرد علوفه تر در سال اول در کشت پاییزه، در تراکم ۲۵۰ دانه در مترمربع با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر حاصل شد و در سال دوم نیز در کشت پاییزه، در تراکم ۳۰۰ دانه در مترمربع با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر حاصل شد. در آزمایشی که توسط صدقی و سید شریفی (Sedghi & Seyed Sharifi, 2011) بر روی گیاه ماشک انجام شد، مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد علوفه تر در کم‌ترین فاصله بین ردیف کاشت (تراکم بیشتر) مشاهده شد. براساس نتایج حاصل از این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تراکم بوته تا حد معینی موجب افزایش عملکرد علوفه تر در واحد سطح می‌شود، چراکه در تراکم‌های بالاتر، پوشش گیاهی (تاج پوشش) توسعه یافته و توانایی جذب نور خورشید افزایش می‌یابد. با وجود کاهش عملکرد تک‌بوته‌ای در تراکم‌های بالا، افزایش تعداد بوته‌ها در واحد سطح، این کاهش را جبران کرده و منجر به عملکرد کلی بالاتر شده است. این روند به‌ویژه در تراکم‌های ۲۵۰ و ۳۰۰ دانه در مترمربع و در کشت پاییزه با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر به‌وضوح مشاهده شد. حداکثر مقدار عملکرد علوفه خشک در سال اول به‌ترتیب در تراکم‌های ۲۵۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ دانه در مترمربع به‌ترتیب با مقادیر ۱۴۸۷، ۱۴۲۰ و ۱۴۰۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و تفاوت

معنی‌داری با هم نداشتند و کم‌ترین مقدار این صفت نیز با ۹۲۳ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۵)، درحالی‌که در سال دوم آزمایش نیز حداکثر و حداقل متوسط عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب با ۱۳۸۹ و ۷۹۶ در تراکم‌های ۳۰۰ و ۱۰۰ دانه در مترمربع به دست آمد (جدول ۶).

بالاترین مقدار عملکرد دانه در سال اول آزمایش به‌ترتیب با ۴۷۸ و ۴۶۰ کیلوگرم در هکتار، در تراکم ۲۵۰ و ۲۰۰ دانه در مترمربع حاصل گردید. تراکم‌های ۳۰۰ و ۱۵۰ دانه در مترمربع با ۴۰۷ و ۳۸۸ کیلوگرم در هکتار در گروه بعدی قرار گرفتند. تراکم ۱۰۰ دانه در مترمربع، کم‌ترین مقدار عملکرد دانه را دارا بود و در گروه مجزایی قرار گرفت (جدول ۵). در سال دوم آزمایش نیز بالاترین مقدار عملکرد دانه به‌میزان ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۲۰۰ دانه در مترمربع حاصل گردید، تراکم‌های ۱۵۰، ۳۰۰ و ۲۵۰ دانه در مترمربع با ۴۳۲، ۴۱۸ و ۴۱۱ کیلوگرم در هکتار در گروه بعدی قرار گرفتند. تراکم ۱۰۰ دانه در مترمربع (C1) با ۳۲۲ کیلوگرم در هکتار، کم‌ترین مقدار عملکرد دانه را دارا بود و در گروه مجزایی قرار گرفت (جدول ۶). براساس نتایج به‌دست‌آمده نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش تراکم دانه در واحد سطح تا ۲۵۰ بوته در مترمربع، عملکرد دانه افزایش یافته، اما با افزایش بیشتر تراکم بذر، عملکرد دانه افت معنی‌داری خواهد داشت. به‌طور کلی، حداکثر عملکرد دانه در کشت پاییزه و در تراکم‌های ۲۰۰ تا ۲۵۰ دانه در مترمربع به‌دست آمده است (جدول ۵ و ۶)، اما با توجه به اینکه اختلاف معنی‌داری بین این دو سطح وجود ندارد، لذا تراکم ۲۰۰ دانه در مترمربع اولویت داشته و توصیه می‌گردد. کمترین مقدار عملکرد زیست‌توده در سال اول با ۵۱۴ کیلوگرم در هکتار، در تراکم ۱۰۰ دانه در مترمربع به دست آمد، درحالی‌که با افزایش تراکم تا سطح تراکم ۲۰۰ دانه در مترمربع، بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده به‌مقدار ۹۵۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۵). همچنین در سال دوم آزمایش، بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده به‌میزان ۱۰۲۱ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۲۰۰ دانه در مترمربع و کمترین آن نیز با ۶۵۴ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۱۰۰ دانه در مترمربع به دست آمد (جدول ۶). در هر دو سال آزمایش با افزایش تراکم بذر از سطح تراکم ۲۰۰ به سطوح ۲۵۰ و ۳۰۰ دانه در مترمربع، به‌دلیل رقابت ایجادشده بین بوته‌ها، عملکرد زیست‌توده افت شدیدی نشان داد. صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، نیز متأثر از شدت تراکم

تراکم‌های پایین نسبت به تراکم‌های بالا، به دلیل کمتر بودن رقابت بین بوته‌ها، اغلب دانه‌های درشت‌تری تولید شدند که این امر منجر به افزایش وزن ۱۰۰ دانه در مقایسه با تراکم‌های بالا گردیده است. در آزمایشی که توسط ربیعی و جیلانی (Rabiee & Jilani, 2014) روی باقلا انجام شده بود نیز تاریخ کاشت ۱۰ و ۲۵ مهر ماه، فاصله کشت ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر و تراکم ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای کشت آن گیاه توصیه شد. در آزمایشی دیگر که به منظور تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت، فاصله ردیف و تراکم بذر روی ماشک مراغه انجام شده بود نیز تاریخ کاشت پاییزه، فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۰۰ تا ۳۰۰ بوته در مترمربع برای کشت این گیاه در مناطق سرد و نیمه‌سرد پیشنهاد شده بود (Shabani & Asadi, 2024) که مؤید نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر می‌باشند.

بذر در واحد سطح قرار گرفت و با افزایش تراکم بذر در واحد سطح، رسیدگی زودتر حادث شد. زودترین و دیرترین زمان رسیدگی فیزیولوژیک در سال اول آزمایش به‌ترتیب با ۱۵۶ و ۱۶۱ روز، به تراکم ۳۰۰ و ۱۰۰ دانه در مترمربع (جدول ۵) و در سال دوم آزمایش نیز به‌ترتیب با ۱۴۲ و ۱۴۶ روز، به تراکم ۳۰۰ و ۱۰۰ دانه در مترمربع تعلق داشت (جدول ۶).

وزن ۱۰۰ دانه نیز با افزایش تراکم دانه در مترمربع کاهش یافت و در هر دو سال آزمایش بیش‌ترین مقدار این صفت مربوط به تراکم ۱۰۰ دانه در مترمربع و کمترین مقدار آن در تراکم ۲۵۰ و ۳۰۰ دانه در مترمربع به دست آمد (جدول ۵ و ۶). به عبارتی می‌توان بیان داشت که در تراکم‌های بالا به دلیل وجود رقابت شدید بین بوته‌ها، سهم هر دانه از دریافت مواد فتوسنتزی کاهش یافته است. در

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر فاصله ردیف، تاریخ‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت بر صفات فنولوژیک، عملکرد و اجزای آن در ماشک گل سفید در سال دوم

Table 6- Mean comparison of different planting dates and densities on phenological traits, yield, and its components in *Vicia pannonica* in the second year

فاکتور		عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	عملکرد دانه	عملکرد زیست توده	روز تا ۵۰ درصد گل دهی	روز تا شروع غلاف	روز تا رسیدن فیزیولوژیکی	ارتفاع بوته	وزن ۱۰۰ دانه	
Factor		Fresh fodder yield (kg.ha ⁻¹)	Yield of dry fodder (kg.ha ⁻¹)	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	Days to 50% flowering	Days to the start of podding	Days to physiological ripening	Plant height (cm)	Weight of 100 seeds (g)	
فاصله ردیف	Line space (cm)	25	5110a	1114a	428a	844a	99.9a	107.5a	144.3a	46.7a	4.2a
	30	5560a	1198a	406a	826a	99.4a	106.7a	143.9a	46.7a	4.1a	
تاریخ کاشت	Planting data	Autumn	7260a	1548a	589a	1191a	124.5a	132.6a	177.4a	56.2a	4.4a
		Waiting	5116b	1104b	418b	837b	99.0b	106.2b	141.6b	47.3b	4.2b
		Spring	3629c	816c	243c	475c	75.5c	82.5c	113.2c	36.5c	3.9c
تراکم بذر در متر مربع	Density of seed per m ²	100	3939 d	796 d	322 c	654 c	100.6a	108.3a	146.0a	43.8a	4.38a
		150	5119 c	1077 c	432 b	850 b	101.0a	108.5a	145.7a	48.5a	4.3b
		200	5702 b	1235 b	500 a	1021 a	99.2b	107.0b	143.7b	49.2a	4.1c
		250	5798 b	1284 b	411 b	822 b	98.6c	105.9c	142.6c	46.9b	4.0d
		300	6117 a	1389 a	418 b	825 b	98.7c	105.8c	142.3c	44.8b	3.95d

در هر ستون و در هر گروه تیمار میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نسبت به هم ندارند. In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

است. با توجه به داده‌های هواشناسی (جدول ۱)، تاریخ کشت پاییزه با مجموع بارندگی زیادت (۲۵۹/۲۳) میلی‌متر در سال اول و ۲۲۷/۵ میلی‌متر در سال دوم) شرایط مرطوب‌تری را برای رشد گیاهان فراهم می‌آورد. این بارندگی بیشتر به گیاهان امکان می‌دهد تا در تراکم‌های بالاتر مانند ۲۵۰ بوته در مترمربع، بهترین عملکرد را در صفاتی

با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل دو گانه فرعی و فرعی فرعی در بسیاری از صفات، بررسی تراکم‌های مختلف کاشت براساس تاریخ‌های کشت انجام شد. اثر سال نیز تصادفی در نظر گرفته شده است و داده‌های دو سال آزمایش با هم تلفیق و تجزیه شدند. نتایج حاصل براساس تاریخ‌های مختلف کاشت در جدول ۷ نشان داده شده

همچون تولید علوفه تر، ماده خشک، و وزن ۱۰۰ دانه نشان دهند. در تاریخ کشت انتظاری که مجموع بارندگی کمتری دارد (۱۳۶/۶ میلی متر در سال اول و ۱۶۳/۲ میلی متر در سال دوم)، گیاهان در تراکم‌های ۱۵۰ تا ۲۵۰ بوته به دلیل شرایط کمتر مرطوب و دوره رسیدگی کوتاه‌تر عملکرد بهتری دارند، اما در تاریخ کشت بهاره، با

جدول ۷- مقایسه میانگین تراکم‌های مختلف کاشت براساس تاریخ‌های کاشت بر صفات فنولوژیک، عملکرد و اجزای آن در ماشک گل سفید
Table 7- Mean comparison of the different planting densities based on the planting dates on phenological traits, yield, and its components in *Vicia Pannonica*

وزن ۱۰۰ دانه	ارتفاع بوته	روز تا رسیدن فیزیولوژیکی	روز تا شروع غلاف	روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی	عملکرد زیست‌توده	عملکرد دانه	عملکرد علوفه خشک	عملکرد علوفه تر	تراکم بذر در متر مربع	تاریخ کاشت
Weight of 100 seeds (g)	Plant height (cm)	Days to physiological ripening	Days to the start of podding	Days to 50% flowering	Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	Yield of dry fodder (kg.ha ⁻¹)	Fresh fodder yield (kg.ha ⁻¹)	Density (seeds per m ²)	Planting data
3.1a	43.5a	192b	147.2ab	142a	514.7a	292.5a	866.8c	3648.2c	100	پاییز Autumn
2.8b	45.2a	192.8b	145.2b	139.5b	358.8b	264.2ab	1040.7bc	4322.5bc	150	
3.2a	45.8a	192.5b	147.8a	139b	395.5ab	192.5bc	1129.3ab	4120.7bc	200	
3.2a	43.4a	192.8b	147ab	139b	395.5ab	147.7c	1282.2a	5374.8a	250	
3.0a	43.3a	194.2a	148.5a	139b	298.8b	127.7c	1086.2abc	4683ab	300	
3.0a	28.7b	141.3bc	133.5a	127a	422.3a	129.2a	728b	2823.3b	100	انتظاری Waiting
3.0a	29.7b	140.3c	134.2a	125.5b	378.4a	284.3a	934.5b	3708.8a	150	
3.2a	26.9b	142.2ab	133.7a	126ab	364.2a	170.9a	3837.2a	3225.8ab	200	
2.7a	34.0a	141.2bc	134.2a	126ab	419.7a	247.2a	747.8b	2759.2b	250	
3.1a	27.9b	142.7a	133.0a	125b	475.4a	149.8a	1006.8b	3405.5ab	300	
3.0b	22.0d	144.5b	105.8ab	97.3a	344.3a	212.8a	2427.8ab	2873.5c	100	بهاره Spring
2.8c	27.9a	145.0ab	104.7b	96.5ab	317.8a	154.0a	4014.5a	3782.3b	150	
3.2a	26.0b	145.2ab	105.5b	96.2bc	313.1a	185.1a	3921.2a	3384.5bc	200	
3.2a	20.0e	144.7b	106.2ab	96.2bc	305.0a	167.9a	2501.3ab	4831.2a	250	
3.2a	23.9c	145.8a	107.3a	95.3c	347.7a	177.8a	1051.2b	1992.7d	300	

در هر ستون و در هر گروه تیمار میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نسبت به هم ندارند.
In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

نتیجه‌گیری

عملکرد را در اکثر صفات به همراه داشتند. تراکم‌های بذر نیز بر تمامی صفات تأثیرگذار بودند و در تراکم‌های بالاتر عملکرد علوفه تر و عملکرد دانه افزایش یافت. باین‌حال، تراکم‌های بسیار بالا منجر به کاهش وزن ۱۰۰ دانه شد که نشان‌دهنده رقابت شدید بین بوته‌ها برای دریافت مواد غذایی است. همچنین نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد علوفه تر و عملکرد دانه در تراکم‌های ۲۰۰ تا ۲۵۰ بوته در مترمربع و در کشت پاییزه حاصل شد. در تراکم‌های بالاتر از ۲۵۰ بوته در مترمربع، به دلیل رقابت زیاد بین بوته‌ها، کاهش عملکرد علوفه

نتایج نشان داد که تأثیر سال بر تمامی صفات مورد بررسی معنی دار بود. فاصله ردیف کاشت در سال اول بر صفات عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و ارتفاع گیاه تأثیر داشت، درحالی‌که در سال دوم، علاوه بر این صفات، وزن ۱۰۰ دانه نیز تحت تأثیر فاصله ردیف کاشت قرار گرفت. تاریخ‌های کاشت تأثیر قابل توجهی بر تمامی صفات مورد مطالعه داشتند، به‌طوری‌که تاریخ کاشت پاییزه مناسب‌ترین عملکرد را در اکثر صفات و تاریخ کاشت بهاره کمترین

به دلیل داشتن صفات عملکردی بالاتر و دوره رسیدگی کوتاه‌تر مناسب‌تر هستند. به‌طور کلی، براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان تاریخ کاشت پاییزه، فاصله کشت ۳۰ سانتی‌متر، تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع را برای تولید علوفه و تراکم ۲۰۰ تا ۲۵۰ بوته در مترمربع را برای تولید دانه به‌منظور کشت ماشک گل سفید در مناطق سرد و نیمه‌سرد توصیه کرد.

تر و عملکرد دانه مشاهده گردید. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم کاشت در تاریخ کاشت در دو سال آزمایش (با در نظر گرفتن تصادفی بودن اثر سال) مشخص شد که در تاریخ کشت پاییزه تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع به دلیل داشتن مقدار علوفه تر، ماده خشک بالاتر، عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع بیشتر نسبت به سایر تراکم‌های کشت ترجیح داده می‌شود. در تاریخ کشت انتظاری و بهاره نیز تراکم‌های ۱۵۰ تا ۲۵۰ بوته در مترمربع

References

- Abbasi, A., Sarvestani, R., Mohammadi, B., & Bagheri, A. (2014). Drought stress-induced changes at physiological and biochemical levels in some common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), 505-516. <https://doi.org/10.1001/1.16807073.2014.16.3.1.9>
- Abdi, H., Tabrizvand Taheri, M., Alizadeh, K., & Shabbazi Dourbash, S. (2023). Investigating the phenotypic diversity of vetch (*Vicia* L.) genotypes from different species under the rain-fed conditions of Maragheh city. *Taxonomy and Biosystematics*, 15(55), 19-34. <https://doi.org/10.22108/TBJ.2023.137151.1227>
- Abravesh, A. (2011). Effect of planting date and genotypes on yield and yield component [research]. *Crop Physiology Journal*, 2(8), 13-28. <https://doi.org/10.1001/1.2008403.1389.2.8.2.8>
- Akinola, J., & Davies, J. (1978). Effects of sowing date on forage and seed production of 14 varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Experimental Agriculture*, 14(3), 197-203. <https://doi.org/10.1017/S0014479700008693>
- Alizad Dezaj, K., Fakhroazizi, A., Lami, J., Baharami, S., Neyestani, E., Shabani, A., Mahmoudi, H., Asghari Midani, J., Mostafai, H., Dari, M., Khademi, K., Bafandeh, A., Rahimzadeh, R., & Ibn Abbas, R. (2013). Golsefid, a new winter type forage cultivar for cold and moderate cold drylands of Iran. *Seed and Plant*, 1(3), 617-619. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111179>
- Alizadeh, K., Shabani, A., Nistani, E., & Bahrami, S. (2018). Studying the compatibility and stability of fodder and seed yield of autumn pure lines of *Pannonica vetch* under cold weather conditions. Final Report of the Research Project, Number 1123/89. (In Persian).
- Dobor, L., Barcza, Z., Hlászny, T., Árendás, T., Spitkó, T., & Fodor, N. (2016). Crop planting date matters: Estimation methods and effect on future yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 23(2), 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.03.023>
- Dong, R., Jahufer, M., Dong, D., Wang, Y., & Liu, Z. (2016). Characterisation of the morphological variation for seed traits among 537 germplasm accessions of common vetch (*Vicia sativa* L.) using digital image analysis. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 59(4), 422-435. <https://doi.org/10.1080/00288233.2016.1229682>
- Ezueh, M. (1982). Effects of planting dates on pest infestation, yield and harvest quality of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Experimental Agriculture*, 18(3), 311-318. <https://doi.org/10.1017/S0014479700013880>
- Fırıncioğlu, H.K. (2014). A comparison of six vetches (*Vicia* spp.) for developmental rate, herbage yield and seed yield in semi-arid central Turkey. *Grass and Forage Science*, 69(2), 303-314. <https://doi.org/10.1111/gfs.12021>
- Gök, M.R., & Çaçan, E. (2023). The effect of different row spacing on forage yield, forage quality and some important features for beekeeping in Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı*. 60 (3), 529-538. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1319189>
- Javanmard, A., Nikdel, H., & Amani Machiani, M. (2019). Evaluation of forage quantity and quality in domestic populations of hairy vetch (*Vicia villosa* L.), vetch (*Vicia sativa* L.) and Caspian vetch (*Vicia hyrcanica*) under rainfed condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1), 15-31. (In Persian).
- Jihad, M.A. (2023). Agricultural statistics report. *Iran Ministry of Agriculture Jihad*. Available at Web site. <https://get.ageodlr/statistics/field-crop/401-402.pdf>.
- Karaye, A.K., Sabo, B., Chamo, A., & Rabi, A. (2017). Influence of agronomic practices on crop production. *International Journal of Science: Basic and Applied Research*, 31(1), 61-66.
- Karimzadeh Negari, Z., Sahhafi, S.R., & Dahajipour Heidarabadi, M. (2022). Salinity tolerance in some bitter

- vetch ecotypes in germination stage. *Journal of Crop Breeding*, 14(42), 43-52. <https://doi.org/10.52547/jcb.14.42.43>
16. Kim, T.S., Raveendar, S., Suresh, S., Lee, G.A., Lee, J.R., Cho, J.H., Lee, S.Y., Ma, K.H., Cho, G.T., & Chung, J.W. (2015). Transcriptome analysis of two *Vicia sativa* subspecies: Mining molecular markers to enhance genomic resources for vetch improvement. *Genes*, 6(4), 1164-1182. <https://doi.org/10.3390/genes6041164>
17. Lamei, J., Alizadeh, K., Teixeira da Silva, J., & Taghadisi, M. (2011). *Vicia pannonica*: A suitable cover crop for winter fallow in cold regions of Iran. *Plant Stress*, 6(1), 73-76.
18. Rabiee, M., & Jilani, M. (2014). Effect of the planting date, row spacing and seed rate on grain yield and protein yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Rasht. *Iranian Journal Pulses Research*, 5(1), 9-22. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i1.46052>
19. Sedghi, M., & Seyed Sharifi, R. (2011). Effects of planting pattern on yield and forage quality of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Journal of Rangeland*, 1(6), 58-69.
20. Shabani, A., Alipour, S., Khamisabadi, H., Fatahi, B., Vesinejhad, S., Mohammadi, M.S., & Nouri, S. (2012). Investigating the agronomic characteristics and promising lines of Panonica vetch in farmers' fields. The Final Report of the Research Plan of the Research, Education and Promotion Organization. Number 44414. (In Persian).
21. Shabani, A., & Asadi, A. (2024). Investigating the effect of sowing dates and densities on phenological traits, yield, and yield components in *Vicia dasycarpa*. *Medicon Agriculture & Environmental Sciences*, 6, 16-25.
22. Soleymani Sardoo, M., Afsharmanesh, G., & Roudbari, Z. (2017). Evaluating the effects of sowing date and plant density on yield and yield components of mung bean in Jiroft County. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1(1), 27-34. <https://doi.org/10.22034/csrar.01.01.03>
23. Sun, Y., Li, J., Xing, J., Yu, X., Lu, Y., Xu, W., Zhao, N., Liu, Z., & Guo, Z. (2022). Evaluation of salt tolerance in common vetch (*Vicia sativa* L.) germplasms and the physiological responses to salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 278, 153811. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153811>
24. Tigka, E., Beslemes, D., Vlachostergios, D., & Bilalis, D. (2016). Evaluation of *Vicia sativa* L. as green manure: Case study of genotype and plant density influence on N availability. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 73(1), 142-143. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:11819>
25. Yeilagh Cheghakhor, A., Mesgarbashee, M., Mamghani, R., & Nabipour, M. (2010). Effect of row spacing and plant density on some morphological traits, yield, yield components and seed protein in two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 2(20), 1-10. <https://doi.org/20.1001.1.24764310.1389.20.3.9.4>



The Effect of Biofertilizer Application on the Improvement of Pigments, Physiological Traits, and Yield of Cowpea (*Vigna unguiculata*)

Reza Sabaghian¹, Mehdi Bradaran Firouzabadi¹, Mostafa Haydari², Farzane Bahadori¹ and Safiye Arab¹

1- Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

2- Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources of Semnan Province, Semnan, Iran.

(* - Corresponding author's Email: mbaradaran@shahroodut.ac.ir)

Received: 07-09-2024
Revised: 06-04-2025
Accepted: 09-04-2025
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:

Sabaghian, R., Bradaran Firouzabadi, M., Haydari, M., Bahadori, F., & Arab, S. (2025). The effect of biofertilizer application on the improvement of pigments, physiological traits, and yield of cowpea. *Journal of Agroecology*, 17(2), 281-302. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.89695.1213>

Introduction

Cowpea (*Vigna unguiculata*) an annual legume, originated in Iran. It is one of the main sources of protein, amino acids, vitamins, minerals, and energy, and therefore is important for a well-balanced diet with good nutritional value. In recent years, the application of organic fertilizers has increased tremendously in agricultural production. Humic compounds such as HA is one of the organic-mineral fertilizers, which is commonly used for the production of crops. In order to increase the quantitative and qualitative traits of plants, the extract of some plants, such as green tea extract and coffee extract, can be used.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of biofertilizers, including humic acid, green tea extract, and coffee extract, on the improvement of pigments and physiological traits of cowpea, an experiment was designed and implemented in 2023 at a private farm in Semnan city. The experiment was a factorial format based on a randomized complete block design with three replications. The test treatments include seed priming at five levels (control, distilled water, humic acid (750 mg/liter), green tea extract (10% concentration) and coffee extract (10% concentration)) and foliar spraying at four levels (control, humic acid (750 mg/liter), green tea extract (concentration 10%) and coffee extract (concentration 10%). Pretreatment of seeds with desired concentrations was done for six hours, following the principles of seed aeration. Foliar spraying was done at the beginning of flowering. Seeds were sown on June 25 (as the second planting). Before planting, all the seeds were disinfected with benomyl and then in each plot, four rows of five meters were planted with a distance of 25 cm between the rows and 8 cm within the row at a depth of 5 cm.

Results and Discussion



©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.2025.89695.1213>

The results showed that pretreatment of seeds with humic acid, green tea extract and coffee extract led to an increase in the traits of relative leaf water content, membrane stability index, leaf surface index, photosynthetic pigments, protein yield, and grain yield. In plants grown from pre-treated seeds, the amount of malondialdehyde and soluble carbohydrates in leaves decreased to a significant level. Foliar spraying with these substances led to the improvement of leaf surface index, the amount of photosynthetic pigments, protein yield, and seed yield. Application of foliar spraying also reduced the amount of malondialdehyde and soluble carbohydrates in leaves. Finally, within the scope of the research, the use of humic acid at the rate of 750 mg/liter and green tea at a concentration of 10% is recommended as seed pre-treatment and foliar spraying in the field. More research is needed on the recommendation of seed pretreatment and coffee extract foliar spraying. When seed yield was considered as a dependent trait, the traits of leaf surface index (0.6076), carotenoid (0.7265), membrane stability index (0.6501), leaf soluble carbohydrates (-0.6678), and Malondialdehyde (0.6096) entered the model as main variables. The results of this research showed that carotenoid (0.3764) and membrane stability index (0.2950) had the most positive direct effect on grain yield.

Conclusion

The results of this research showed that the photosynthetic pigments, protein yield, and grain yield of cowpea increased to a significant level by using humic acid, green tea extract, and coffee extract as seed pretreatment and foliar spraying. Seed protein percentage, yield components, and grain yield of cowpea increased to a significant level with the application of humic acid, green tea extract, and coffee extract as seed pretreatment and foliar spraying. Finally, within the scope of this research, the use of humic acid at the rate of 750 mg/L and green tea at a concentration of 10% is recommended as seed pretreatment and foliar spraying in the field. More research is needed on the recommendation of seed pretreatment and foliar spraying of coffee extract.

Keywords: Antioxidant, Biological fertilizers, Foliar spraying, Pretreatment

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۲۸۱-۳۰۲

تأثیر کاربرد ترکیبات آلی بر بهبود رنگدانه‌ها، صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*)

رضا صباغیان^۱، مهدی برادران فیروزآبادی^{۱*}، مصطفی حیدری^۱، فرزانه بهادری^۲ و صفیه عرب^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

چکیده

به منظور بررسی تأثیر ترکیبات آلی شامل اسید هیومیک، عصاره چای سبز و عصاره قهوه بر بهبود رنگدانه‌ها و صفات فیزیولوژیکی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*)، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در آزمایشگاه و مزرعه شخصی در شهر سمنان طراحی و اجرا شد. آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش شامل پرایمینگ بذر در پنج سطح (شاهد، آب مقطر، اسید هیومیک (۷۵۰ میلی گرم در لیتر)، عصاره چای سبز (غلظت ۱۰ درصد) و عصاره قهوه (غلظت ۱۰ درصد)) و محلول‌پاشی برگ در چهار سطح (شاهد، اسید هیومیک (۷۵۰ میلی گرم در لیتر)، عصاره چای سبز (غلظت ۱۰ درصد) و عصاره قهوه (غلظت ۱۰ درصد)) بودند. محلول‌پاشی در زمان آغاز گل‌دهی صورت گرفت. نتایج نشان داد که پیش‌تیمار بذور با اسید هیومیک، عصاره چای سبز و عصاره قهوه منجر به افزایش معنی‌دار صفات محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، شاخص سطح برگ، رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه شد. در گیاهانی روییده از بذور پیش‌تیمار شده، میزان مالون‌دی‌آلدئید و کربوهیدرات‌های محلول برگ تا سطح معنی‌داری کاهش نشان داد. محلول‌پاشی با این مواد منجر به بهبود شاخص سطح برگ، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه شد. در نهایت، در محدوده پژوهش انجام‌شده، کاربرد اسید هیومیک به میزان ۷۵۰ میلی گرم در لیتر و چای سبز با غلظت ۱۰ درصد به صورت پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی برگ در مزرعه توصیه می‌شود. به منظور توصیه پیش‌تیمار بذور و محلول‌پاشی عصاره قهوه نیاز به تحقیقات بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: آنتی اکسیدان، پیش‌تیمار، کودهای بیولوژی، محلول‌پاشی

مقدمه

باشد (Shahsavani et al., 2017). کشت و کار لوبیا چشم بلبلی در ایران سابقه طولانی دارد و معمولاً این محصول به صورت دانه، تازه-خوری و سبز در تغذیه انسان و حیوان و همچنین به صورت کود سبز در کشاورزی کاربرد دارد. این گیاه توانایی بالایی در تثبیت نیتروژن خاک دارد (Lotfi et al., 2018).

تلاش برای افزایش عملکرد از طریق استفاده نامتعادل از کودهای شیمیایی، موجب افزایش هزینه‌های تولید و پیامدهای منفی زیست محیطی گردیده است. کودهای آلی به عنوان جایگزین و هم-چنین مکمل کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و موجب تضمین پایداری تولید در کشاورزی می‌شوند (Fathi et al., 2016).

یکی از سازگارترین و متنوع‌ترین حبوبات، لوبیا چشم بلبلی می‌باشد که به طور گسترده‌ای در سراسر دنیا کشت می‌شود. این گیاه همه مزایای حبوبات را دارا می‌باشد و علاوه بر آن از نظر غذایی به واسطه داشتن ویتامین‌های مختلف، مواد معدنی، فیبرهای محلول و غیرمحلول و عوامل نفخ‌زای کمتر نسبت به سایر حبوبات متمایز می‌باشد.

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سمنان، ایران
(*) نویسنده مسئول: mbaradaran@shahroodut.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.89695.1213>

استفاده از کودهای آلی جهت حفظ حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان زراعی، یکی از راه‌حل‌های افزایش عملکرد، بهبود کیفیت محصول، تأمین امنیت غذایی و پایداری در تولید می‌باشد (Dahmarde et al., 2017). استفاده از کودهای آلی در کشاورزی پایدار موجب افزایش جمعیت ریزجانداران خاک و همچنین با فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجب بهبود رشد و عملکرد در گیاهان می‌شوند (Alipour et al., 2023). از جمله کودهای آلی می‌توان به اسید هیومیک اشاره کرد. اسید هیومیک توان جذب سریع انواع عناصر معدنی را دارد. در نتیجه، همانند یک مخزن، عناصر اضافی را جذب و بعد به‌تدریج آزاد می‌کند. اسید هیومیک جذب نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد و موجب تحرک بیشتر عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌شود و دسترسی آن‌ها را برای سیستم رشد گیاه آسان‌تر کرده و جذب این عناصر را افزایش می‌دهد (Huculak-Maczka et al., 2018). اسید هیومیک موجب فعال شدن دو سازوکار در گیاه می‌شود. یکی اثرات سیگنالی مواد معدنی به‌خاطر متابولیسم هورمون‌ها و دیگری افزایش فعالیت پمپ ATPase در اندام ریشه است که در نهایت منجر به افزایش سرعت دسترسی ریشه به نیترات می‌شود (Roy et al., 2017). محققان دریافتند که استفاده از اسید هیومیک، صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه، وزن تر و خشک برگ و ساقه و عملکرد لوبیا چشم بلبلی را تا سطح معنی‌داری افزایش داد (Hassanen et al., 2020). کاربرد اسید هیومیک توانست سطح برگ، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک کل و عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی را بهبود دهد (Arnaout et al., 2019). محققان دیگری دریافتند که استفاده از اسید هیومیک موجب افزایش رشد، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد لوبیا چشم بلبلی می‌شود (Kahraman, 2017).

از دیگر مواد آلی که به‌صورت پیش‌تیمار و محلول‌پاشی برگی در گیاهان قابل استفاده هستند می‌توان به عصاره چای سبز و عصاره قهوه اشاره کرد. برگ‌های چای، منبع مهمی از ترکیبات پلی‌فنول، فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک می‌باشد. مهم‌ترین فلاونول‌هایی که در چای سبز مشاهده می‌شوند، شامل کوئرستین، کامفرول و میریستین است. اسید گالیک، اسید کلروژنیک و اسید نوکلروژنیک نیز به‌میزان زیادی در چای سبز وجود دارند (Noghani et al., 2020). ترکیبات برگ چای سبز شامل فلاونول‌ها، اسیدهای فنولیک، تئوبرومین، پروتئین، اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی، مونوساکاریدها،

پلی‌ساکاریدها، لیگنین، لیپیدها، کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها و مواد معطر می‌باشد (Cavusoglu et al., 2022). قهوه دارای مقدار زیادی ترکیبات پلی‌فنولی می‌باشد. ترکیبات فنولی موجود در گیاهان، یکی از بهترین و مهم‌ترین منابع آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند. آنتی‌اکسیدان‌های پلی‌فنولی یک گروه ویژه از متابولیت‌های ثانویه هستند که در حفاظت از بافت‌ها در برابر آسیب‌های گونه‌های فعال اکسیژن، نقش ایفا می‌کنند (Balasundram et al., 2006). در میان ترکیبات مختلف قهوه، کافئین اهمیت ویژه‌ای دارد. کافئین (۱، ۳، ۷-تری متیل گزانتین) با فرمول $C_8H_{10}N_4O_2$ یک آلکالوئید طبیعی است (Li et al., 2020). ترکیبات موجود در قهوه بسیار متنوع هستند و شامل کربوهیدرات‌ها (مونوساکارید و پلی‌ساکارید)، پلی‌ساکاریدهای نامحلول (سلولز)، لیپیدها (موم و روغن)، ترکیبات نیتروژن‌دار (اسیدهای آمینه آزاد و پروتئین‌ها)، آلکالوئیدها (کافئین) و مواد معدنی مانند پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، مس، سدیم، منگنز، روی و غیره می‌باشند (Balzano et al., 2020). همچنین حاوی اسیدهایی مانند اسید سیتریک، اسید مالیک و اسید کوئینیک^۱ و همچنین اسیدهای فنولیک مانند اسید مونو، دیکاافئویل^۲ و فرولویلیکینیک^۳ اسید می‌باشد (Garcia-Larez et al., 2021). دانه قهوه دارای ترکیبات مهمی مانند پلی‌ساکاریدها، پلی‌فنول‌ها و پروتئین‌ها می‌باشد که برای سلامتی انسان مفید هستند. همچنین، قهوه دارای مواد زیادی مانند فیبرها، آلکالوئیدها، ملانوییدین‌ها، پلی‌فنول‌ها و اسید کلروژنیک می‌باشد که مسئول خواص دارویی آن هستند (Castaldo et al., 2022). اسید کلروژنیک، استر اسید کافئیک با اسید کوئینیک است که از خانواده اسید هیدروکسی سینامیک می‌باشد (Tajik et al., 2017). بررسی تأثیر عصاره چای در گیاه خیار نشان داد که عصاره چای سیاه و سبز به‌ترتیب موجب کاهش ۴۱/۷ و ۳۳/۳ درصدی آلودگی ویروس موزاییک خیار شد (Rahmanian & Ayazpour, 2020). کاربرد عصاره چای سبز در گیاه مانگو (*Mangifera indica* L.) سبب افزایش طول برگ، تعداد برگ و سطح برگ در مقایسه با شاهد شد (Ahmed et al., 2014). در پژوهش دیگری، محلول‌پاشی چای سبز موجب بهبود صفاتی از قبیل سطح برگ، میزان کلروفیل و کاروتنوئید در برگ‌های گیاه *Vitis vinifera* L. گردید (Abada, 2014). کاربرد

1- Quinic

2- Dicafeoyl

3- Feruloylquinic

سانتی‌متر و روی ردیف هشت سانتی‌متر در عمق پنج سانتی‌متری کاشته شدند. آبیاری به‌صورت قطره‌ای با مدار آبیاری شش روز با استفاده از نوارهای تیپ انجام شد. مهار علف‌های هرز از طریق وجین دستی صورت گرفت.

برای تهیه عصاره چای سبز و قهوه از آب مقطر استفاده شد. برای این منظور، ۱۰۰ گرم از پودر خشک این دو ماده به‌صورت جداگانه وزن و در یک ظرف شیشه‌ای (ارلن) مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به آن اضافه گردید. مخلوط مذکور به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری قرار داده شد و سپس توسط کاغذ صافی و قیف بوختر صاف گردید (Moradi & Amini, 2017). عصاره به‌دست‌آمده به‌حجم یک لیتر رسانده و جهت تهیه غلظت‌های مورد نظر برای تیمارهای آزمایش استفاده شد. پیش-تیمار بذور با مواد و غلظت‌های یادشده با رعایت اصول هوادهی بذور به‌مدت شش ساعت انجام شد. پس از آن، بذور در سایه خشک شدند و جهت ادامه آزمایش استفاده گردید. محلول‌پاشی‌ها در تاریخ پنجم شهریور ۱۴۰۲، همزمان با مرحله آغاز گل‌دهی انجام شد. دو هفته پس از انجام تیمارهای محلول‌پاشی، نمونه‌گیری و اندازه‌گیری صفات آغاز شد. نمونه‌گیری از دو خط وسط هر کرت و از بوته‌های درگیر در رقابت انجام پذیرفت.

شاخص سطح برگ چهار هفته پس از محلول‌پاشی در پنج بوته با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل A3 Light box ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری و سپس شاخص سطح برگ محاسبه گردید. مقدار نسبی آب برگ براساس روش کرامر (Kramer, 1983) اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ، در ۹۵ روز پس از کاشت (مرحله دانه‌بندی)، از برگ‌های هم‌سن و جوان موجود در قسمت یک سوم بالایی بوته‌ها نمونه‌برداری انجام شد. نیم گرم از نمونه‌های برگ در پنج میلی‌لیتر دی‌متیل‌سولفوکسید، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد.

قهوه روی گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) موجب افزایش رشد این گیاه شد و مواد مغذی موجود در خاک را افزایش داد (Vigardt, 2012). نتایج مشابهی از کاربرد قهوه در افزایش عملکرد دو گیاه چچم (*Darnel ryegrass*) و نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) گزارش شده است (Hashimi et al., 2019).

اطلاعات اندکی در خصوص تأثیر ترکیباتی مانند عصاره چای سبز و قهوه بر رفتارهای زراعی و فیزیولوژیکی گیاهان به‌ویژه لوبیا چشم‌بلبلی وجود دارد، لذا با عنایت به اهمیت بالای لوبیا چشم‌بلبلی در زنجیره غذایی انسان، همچنین برخورد بخشی از دوره رشد این گیاه با مجموعه‌ای از تنش‌های محیطی در فصل تابستان، در این پژوهش به بررسی اثر این ترکیبات و نیز اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی این گیاه در قالب کشت دوم و رویارویی با گرما و شرایط سخت فصل تابستان پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در دو بخش آزمایشگاهی و مزرعه‌ای در شهر سمنان (با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه، شرایط آب‌وهوایی گرم‌وخشک و ارتفاع ۱۱۲۱ متر از سطح دریا) در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. شرایط آب‌وهوایی و خاک منطقه آزمایش، به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ گزارش شده است.

تیمارها در این بخش شامل پیش‌تیمار بذور در پنج سطح شاهد، آب مقطر، اسید هیومیک (۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، عصاره چای سبز (غلظت ۱۰ درصد) و عصاره قهوه (غلظت ۱۰ درصد) و محلول‌پاشی برگ در چهار سطح شاهد، اسید هیومیک (۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، عصاره چای سبز (۱۰ درصد) و عصاره قهوه (۱۰ درصد) بودند. کاشت لوبیا در تاریخ ۲۵ خرداد (به‌عنوان کشت دوم) انجام شد. کلیه بذور قبل از کاشت با سم بنومیل به نسبت دو در هزار ضدعفونی و سپس در هر کرت چهار ردیف به‌طول پنج متر با فاصله بین ردیف ۲۵

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physico-chemical properties of the experimental soil

بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم
Soil texture	pH	(EC) (dS.m ⁻¹)	Organic C	(N) (%)	(P)	(K)
لوم سیلتی Silty loam	7.36	2.00	0.85	0.10	9.00	1.27

جدول ۲- داده‌های هواشناسی منطقه در سال مورد آزمایش (اداره هواشناسی استان سمنان)

Table 2- Meteorological data for the field sites during experiment (Semnan province Meteorological Office)

	بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	میانگین دما Mean temperature (°C)
فروردین April	35.8	42	15
اردیبهشت May	5.8	37	20.2
خرداد June	1.7	36	26.1
تیر July	0.0	30	31.4
مرداد August	0.0	28	31.1
شهریور September	0.0	32	25.3
مهر October	3.3	33	19.3
آبان November	5.8	38	14.1

میکرولیتر عصاره اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از آن، لوله‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در یخ سرد شدند. بلافاصله پس از آن، نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در ۱۰۰۰۰ g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقدار جذب روشن‌آور در طول موج‌های ۴۴۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدهید از ضریب خاموشی معادل ۱۵۷۰۰۰ mM/cm استفاده شد. به منظور استخراج کربوهیدرات‌های غیرساختاری موجود در برگ، ۰/۵ گرم از بافت برگ با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در داخل هاون چینی هم‌وزن و فاز بالایی جدا شد. عمل استخراج دو بار دیگر و هر بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. در مرحله بعد، محلول به دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و بخش بالایی آن جدا شد و تا زمان اندازه‌گیری کربوهیدرات در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول از روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen et al., 1992) استفاده شد. به ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده، ۵ میلی‌لیتر آنترون اضافه شد. برای تولید آنترون، ۱۵۰ میلی‌گرم آنترون با ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ترکیب شد. لوله‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفتند تا ماده رنگی حاصل شود. بعد از خنک شدن نمونه‌ها، میزان جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب عصاره‌ها در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت گردید (Hiscox & Israelstom, 1979). جهت اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء، در ۹۰ روز پس از کاشت به طور تصادفی از قسمت یک سوم بالایی، برگ‌های هم‌سن برداشت گردید. از نمونه‌ها دیسک برگی تهیه شد و مقدار ۰/۱ گرم در فالكون تیوپ قرار گرفت و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی آن‌ها ریخته شد. فالكون تیوپ‌ها به مدت ۱۵ دقیقه درون اتوکلاو در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. به طور مشابه، یکسری دیگر نمونه در فالكون تیوپ قرار گرفتند و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها از آون و اتوکلاو خارج و در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند تا دمای آن به ۲۵ درجه سانتی‌گراد برسد. بعد با استفاده از دستگاه EC متر، مربوط به هر فالكون تیوپ اندازه‌گیری و در نهایت، شاخص پایداری غشاء محاسبه گردید (Sairam & Srivastava, 2001). غلظت مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌هایی هم‌سن و جوان از قسمت یک سوم بالایی بوته‌ها در مزرعه در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت اندازه‌گیری شد (Du & Bramley, 1992). نمونه‌های گیاهی (۰/۲۵ گرم) با اسید تری‌کلرواستیک (TCA) ۰/۱ درصد (وزن به حجم) هم‌وزن گردیدند. هم‌وزن حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در ۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ و از فاز بالایی برای سنجش میزان مالون‌دی‌آلدهید استفاده شد. دو میلی‌لیتر اسید تیوباربتوریک ۰/۲۵ درصد به ۲۵۰

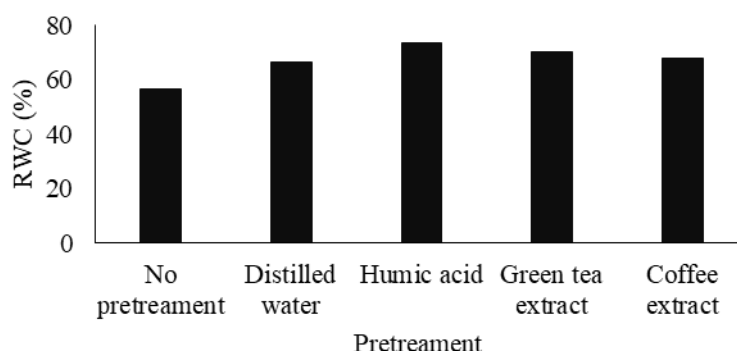
درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. در مورد عصاره چای سبز و عصاره قهوه نیز به‌ترتیب افزایش ۴/۲۷ و ۳/۰۲ درصدی مقدار آب نسبی برگ نسبت به شاهد به ثبت رسید که البته از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲). نتایج تحقیقات نشان داده است که مواد هیومیکی توانایی جذب آب و مواد غذایی را در گیاه افزایش داده و از این طریق منجر به افزایش مقدار آب نسبی برگ می‌شوند (Aggag et al., 2015). مقدار آب نسبی برگ نشان‌دهنده توانایی جذب آب از محیط اطراف می‌باشد و معمولاً نشان‌دهنده مقاومت به خشکی گیاهان می‌باشد (Grzesiak et al., 2006). مطالعات نشان داده است که تنش خشکی موجب کاهش مقدار آب نسبی برگ در گیاهان می‌شود و اسید هیومیک با این اثر مقابله می‌کند (Bili, 2015). استفاده از اسید هیومیک به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، به‌شکل معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ را در آفتابگردان (*Helianthus annuus*) افزایش داد (Heidari et al., 2020). این افزایش به‌دلیل توان بالاتر ریشه در جذب آب و کاهش تبخیر و تعرق غیرضروری از سطح برگ گزارش شده است. افزایش مقدار آب نسبی برگ با محلول‌پاشی عصاره چای سبز می‌تواند با ترکیبات فلاونوئیدی و کافئین موجود در آن ارتباط داشته باشد. کافئین به‌عنوان یک تحریک‌کننده برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان و فلاونوئیدها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد مغذی در گیاهان عمل می‌کند (Yoo et al., 2023).

پروتئین دانه با استفاده از روش کج‌للال اندازه‌گیری شد (Fowler et al., 1989). در ۱۰۰ روز پس از کاشت (مرحله رسیدگی فیزیولوژیک)، تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت برداشت شد و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

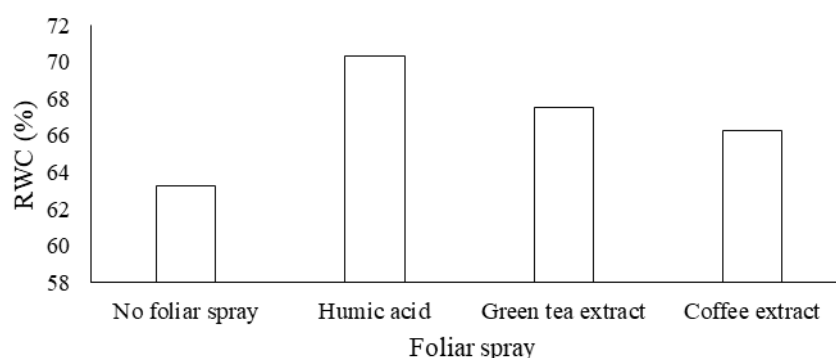
نتایج تجزیه واریانس صفات در جدول ۳ گزارش شده است. مقدار آب نسبی برگ تحت تأثیر پیش‌ تیمار ($p \leq 0.01$) و محلول‌پاشی ($p \leq 0.05$) قرار گرفت، ولی از برهم‌کنش دوجانبه پیش- تیمار و محلول‌پاشی تأثیر نپذیرفت (جدول ۳). براساس نتایج قابل مشاهده در شکل ۱، سطوح مختلف پیش‌ تیمار بذر سبب بهبود وضعیت آبی در برگ گیاهان لوبیا چشم بلبلی گردید. پیش‌ تیمار بذر با اسید هیومیک نه‌تنها مقدار آب نسبی برگ را نسبت به شاهد ۹/۹۰ درصد بهبود بخشید، بلکه نسبت به سطح آب مقطر نیز به‌طور معنی‌داری برتر بود. این در حالی است که پیش‌ تیمار با عصاره‌های چای سبز و قهوه برتری آماری نسبت به آب مقطر نداشتند و هر سه تقریباً به یک اندازه و البته به‌صورت معنی‌دار این صفت را نسبت به شاهد افزایش دادند. مقدار آب نسبی برگ در گیاهانی که با اسید هیومیک محلول‌پاشی شده بودند، به‌طور معنی‌دار و معادل ۷/۰۷

LSD=5.835



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر پیش‌ تیمار بذر بر مقدار نسبی آب برگ لوبیا چشم بلبلی
Fig. 1- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on RWC of Cowpea

LSD=5.219

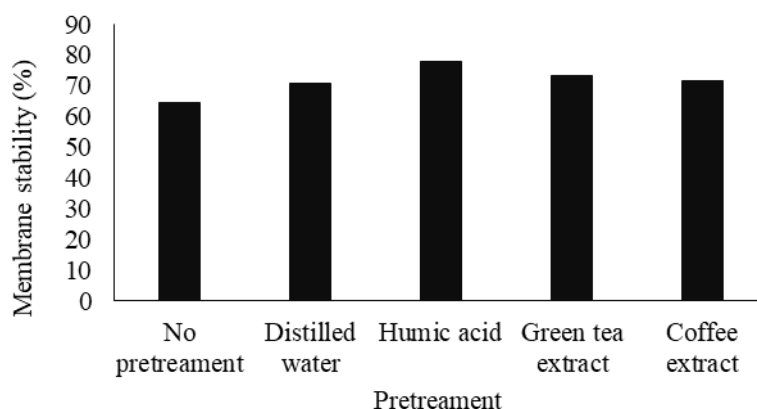


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی بر مقدار آب نسبی برگ لوبیا چشم بلبلی
Fig. 2- Mean comparison of the effect of foliar spray on RWC of Cowpea

پایداری غشاء نسبت به شاهد به میزان ۸/۶۶، ۷/۲۵ و ۶/۱۵ درصد شدند که همگی در یک گروه آماری بودند (شکل ۳). تنها محلول پاشی با اسید هیومیک توانست شاخص پایداری غشاء را در مقایسه با شاهد به طور معنی داری بهبود بخشد. میزان این افزایش نسبت به شاهد ۵/۵۴ درصد بود (شکل ۴). محققان دیگر دریافتند که محلول پاشی اسید هیومیک موجب افزایش شاخص پایداری غشاء در گندم (*Triticum aestivum* L.) گردید (Rousta et al., 2019).

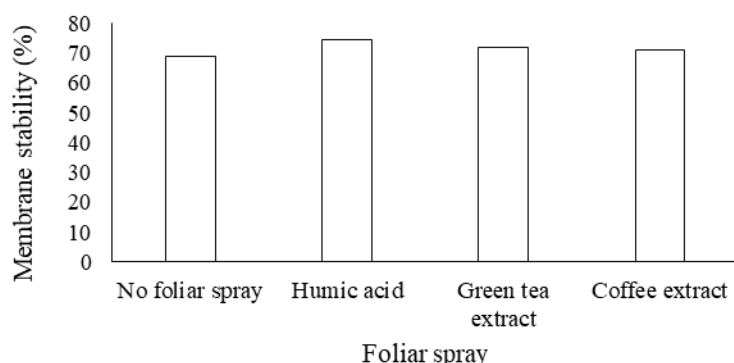
در بین منابع تغییر، اثر محلول پاشی و پیش تیمار بذر در سطح احتمال یک درصد بر شاخص پایداری غشاء معنی دار بودند (جدول ۳). نتایج نشان داد که پیش تیمار بذر می تواند سبب افزایش شاخص پایداری غشاء در گیاهان حاصل از این بذور شود. در بین تیمارهای آزمایش، بیشترین تأثیر مربوط به اسید هیومیک بود، به طوری که پیش تیمار بذور با اسید هیومیک موجب افزایش ۱۳/۳۹ درصدی شاخص پایداری غشاء نسبت به شاهد گردید. پیش تیمار بذور با عصاره چای سبز، عصاره قهوه و آب مقطر نیز موجب افزایش شاخص

LSD=3.326



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر پیش تیمار بذر بر روی شاخص پایداری غشاء لوبیا چشم بلبلی
Fig. 3- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on the membrane stability of Cowpea

LSD=2.974

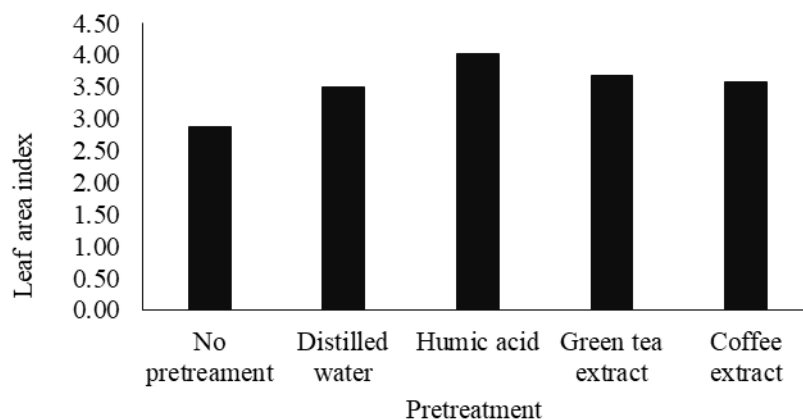


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر شاخص پایداری غشاء لوبیا چشم‌بلبلی
Fig. 4- Mean comparison of the effect of foliar spray on the membrane stability of Cowpea

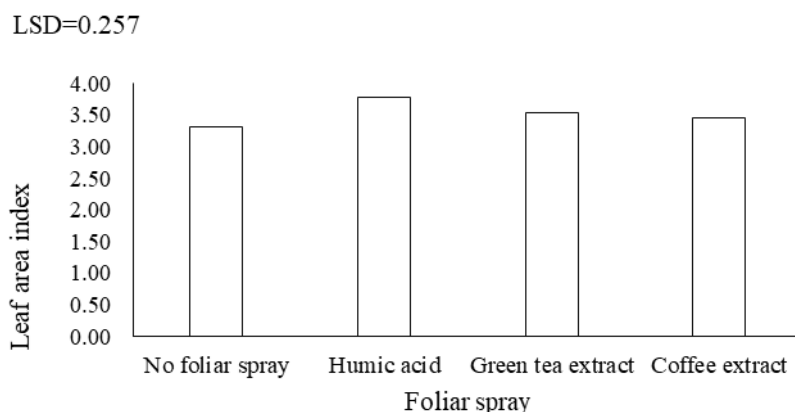
نسبت به شاهد در اسید هیومیک داشت. همچنین محلول‌پاشی با عصاره چای سبز موجب افزایش ۵/۹۴ درصدی این صفت نسبت به شاهد گردید که با محلول‌پاشی عصاره قهوه و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۶). گزارش شده است که اسید هیومیک منجر به افزایش شاخص سطح برگ در ذرت شده است (Abdulameer & Ahmed, 2019). این محققان علت افزایش شاخص سطح برگ با کاربرد اسید هیومیک را بهبود رشد گیاه و افزایش تعداد برگ در گیاه دانستند.

اثر محلول‌پاشی و پیش‌ تیمار بذور در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان شاخص سطح برگ ثبت‌شده در گیاهان شاهد (بدون پیش‌ تیمار) معادل ۲/۸۷ و کمترین مقدار بود. پیش‌ تیمار بذور با آب مقطر، اسید هیومیک، عصاره چای سبز و قهوه به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱/۶۰، ۳۲/۹۵، ۲۰/۱۴ و ۱۹/۰۲ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به شاهد شد. بنابراین نقش اسید هیومیک در بهبود این شاخص نسبت به شاهد و آب مقطر کاملاً مشهود بود (شکل ۵). نتایج بررسی محلول‌پاشی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی نشان از افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ به‌میزان ۱۲/۱۶ درصد

LSD=0.287



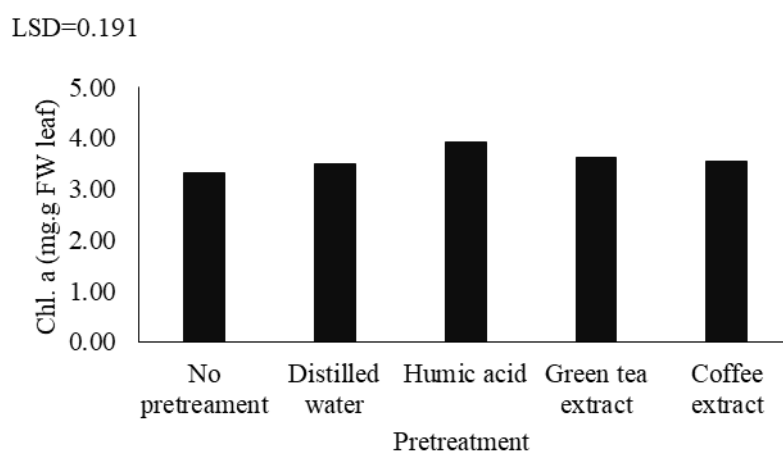
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر پیش‌ تیمار بذور بر شاخص سطح برگ لوبیا چشم‌بلبلی
Fig. 5- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on leaf area index of Cowpea



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ لوبیا چشم بلبلی
Fig. 6- Mean comparison of the effect of foliar spray on leaf area index of Cowpea

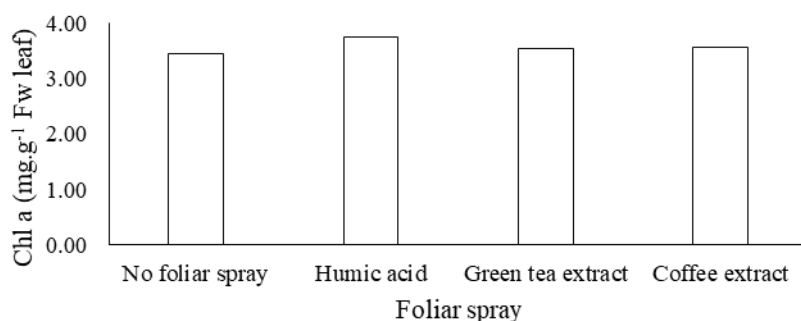
میزان کلروفیل a در برگ‌های لوبیا چشم بلبلی در این تحقیق از محلول‌پاشی ($p \leq 0.05$) و پیش‌ تیمار ($p \leq 0.01$) تأثیر پذیرفت، ولی تحت تأثیر برهم‌کنش دوجانبه پیش‌ تیمار و محلول‌پاشی قرار نگرفت (جدول ۳). در برگ گیاهان حاصل از بذور تیمار شده با اسید هیومیک بیشترین مقدار کلروفیل a ثبت شده است که نسبت به شاهد ۱۶/۹۰ درصد بیشتر بود. پس از آن، تیمارهای عصاره چای سبز و قهوه قرار داشتند که اگرچه نسبت به شاهد برتری آماری داشتند، ولی اختلافی با آب مقطر نداشتند (شکل ۷). محلول‌پاشی با اسید هیومیک با ۷/۴۸ درصد افزایش نسبت به شاهد دارای بیشترین میزان کلروفیل a بود. عصاره چای سبز و عصاره قهوه اگرچه میزان این صفت را افزایش دادند، ولی اختلاف معنی‌داری نداشتند و از لحاظ آماری با گیاهان شاهد هم‌گروه بودند (شکل ۸). محققان دلیل افزایش کلروفیل با آفتابگردان شد (Heidari et al., 2020).

محلول‌پاشی اسید هیومیک را با افزایش جذب مواد غذایی در این شرایط مرتبط دانستند. با کاربرد اسید هیومیک، جذب مواد غذایی از جمله نیتروژن بیشتر می‌شود که به دنبال آن میزان کلروفیل و فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد (Haranal et al., 2023). پژوهشگران دیگری دریافتند که افزایش محتوای کلروفیل برگ ممکن است به دلیل تولید پروتئین‌های محافظت‌کننده در اثر مصرف اسید هیومیک باشد، یا به دلیل عملکردهای دیگر اسید هیومیک مانند افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی، جذب اکسیژن، تنفس، فتوسنتز، جذب فسفات و افزایش طول ریشه می‌باشد (Eryigit & Husamalddin, 2023). در راستای تحقیق حاضر، محققان دریافتند که محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش میزان کلروفیل a در برگ‌های



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر پیش‌ تیمار بذر بر کلروفیل a لوبیا چشم بلبلی
Fig. 7- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on Chl a of Cowpea

LSD=0.171



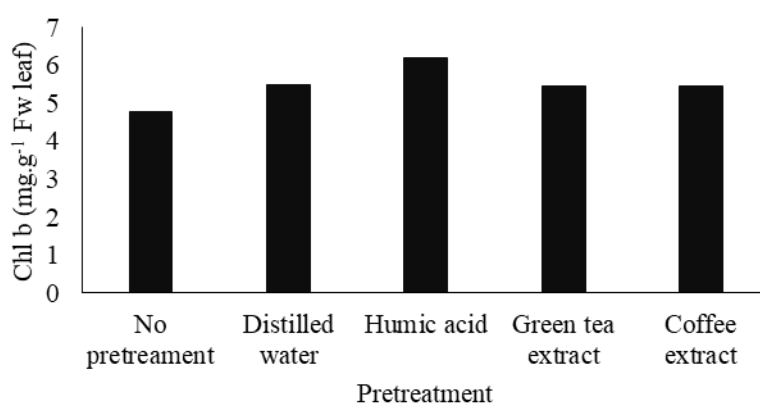
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بذر بر کلروفیل a لوبیا چشم‌بلبلی

Fig. 8- Mean comparison of the effect of foliar spray on Chl a of Cowpea

محلول‌پاشی‌شده با اسید هیومیک نسبت به شاهد در بالاترین سطح بود و افزایش ۹/۴۰ درصدی نشان داد، ولی نسبت به محلول‌پاشی با عصاره چای سبز و عصاره قهوه اختلاف معنی‌دار نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفت. چای سبز و عصاره قهوه به‌ترتیب افزایش ۵/۶۲ و ۴/۰۵ درصدی را نسبت به شاهد نشان دادند که از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۱۰). محققان دیگر افزایش میزان کلروفیل b را با کاربرد اسید هیومیک در لوبیا چشم‌بلبلی گزارش کرده‌اند (Hajihassani et al., 2014).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که میزان کلروفیل b به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول‌پاشی ($p \leq 0.05$) و پیش‌ تیمار بذری ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). بررسی شکل ۹ نشان داد که میزان کلروفیل b برگ گیاهان روییده از بذوری که با اسید هیومیک پیش‌ تیمار شده بودند، دارای اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها و ۲۶/۵۰ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود. پیش‌ تیمار با آب مقطر، عصاره قهوه و عصاره چای سبز نیز به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار و ۱۴/۹۱، ۱۲/۴۵ و ۱۱/۲۷ درصدی نسبت به شاهد شدند. اگرچه این سه تیمار با یکدیگر در یک گروه قرار داشتند. میزان کلروفیل b در گیاهان

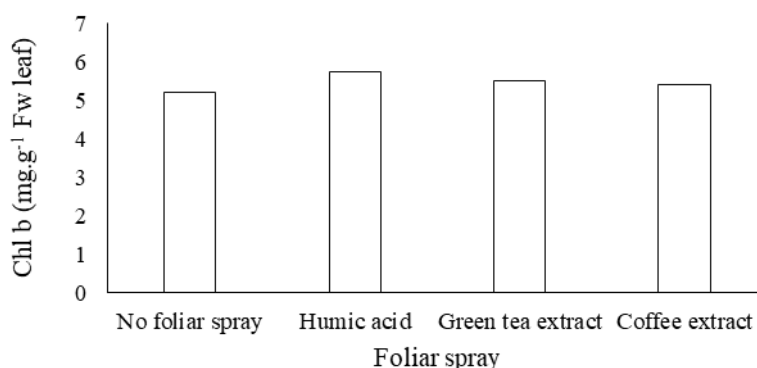
LSD=0.410



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر پیش‌ تیمار بذر بر کلروفیل b لوبیا چشم‌بلبلی

Fig. 9- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on Chl b of Cowpea

LSD=0.367

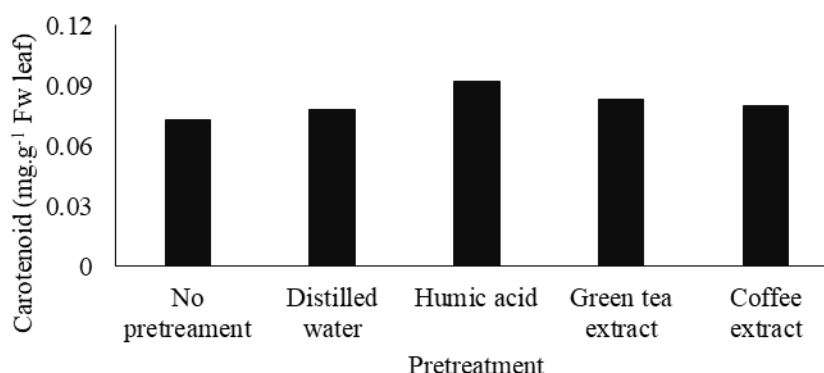


شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر کلروفیل b لوبیا چشم بلبلی
Fig. 10- Mean comparison of the effect of foliar spray on Chl b of Cowpea

گردید. به‌طوری‌که محلول‌پاشی با اسید هیومیک، عصاره چای سبز و عصاره قهوه به‌ترتیب موجب افزایش معنی‌دار ۱۳/۷۹، ۷/۴۰ و ۶/۲۵ درصدی میزان کاروتنوئید نسبت به شاهد شدند. محلول‌پاشی با اسید هیومیک در گروه بالاتر و محلول‌پاشی با عصاره چای سبز و قهوه هر دو در یک گروه آماری و در مرتبه بعدی قرار گرفتند (شکل ۱۲). راستای نتایج این پژوهش، محققان نشان دادند که اسید هیومیک موجب افزایش میزان کاروتنوئید در آفتابگردان شد. آن‌ها بیشتر بودن مقادیر کاروتنوئیدها با کاربرد اسید هیومیک را مربوط به اثرات مثبت این ماده در متابولیسم درون سلول‌ها دانستند (Heidari et al., 2020).

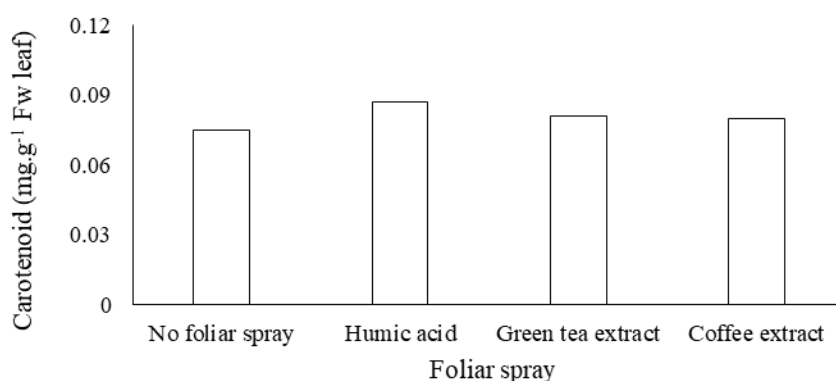
اثر محلول‌پاشی و پیش‌تیمار بذر هر کدام در سطح احتمال یک درصد بر میزان کاروتنوئید برگ گیاهان معنی‌دار شد، درحالی‌که برهم‌کنش دوجانبه آن‌ها اثری نداشت (جدول ۳). میزان کاروتنوئید در برگ گیاهان روییده از بذور پیش‌تیمارشده با آب مقطر، اسید هیومیک، عصاره چای سبز و عصاره قهوه به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد بیشتر بود (شکل ۱۱). در این بین، پیش‌تیمار با اسید هیومیک موجب بیشترین افزایش کاروتنوئید (۲۴/۳۵ درصد) نسبت به شاهد گردید و بعد از آن عصاره چای سبز، عصاره قهوه و آب مقطر به‌ترتیب معادل ۱۰/۸۶، ۸/۴۳ و ۶/۸۴ درصد نسبت به شاهد موجب افزایش کاروتنوئید گردید. محلول‌پاشی نیز سبب بهبود این صفت

LSD=0.005



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر پیش‌تیمار بذر بر کاروتنوئید برگ لوبیا چشم بلبلی
Fig. 11- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on carotenoid of Cowpea

LSD=0.004



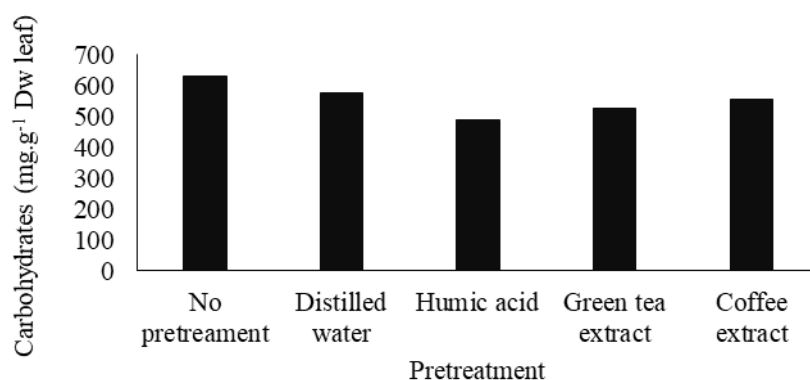
شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر کاروتنوئید برگ لوبیا چشم‌بلبلی

Fig. 12- Mean comparison of the effect of foliar spray on carotenoid of Cowpea

کاهش ۱۴/۷۲ درصدی و آب مقطر کاهش ۸/۹۶ درصدی این صفت را نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۱۳). بررسی سطوح محلول‌پاشی نیز نشان داد که محلول‌پاشی با اسید هیومیک موجب کاهش ۱۰/۲۴ درصدی کربوهیدرات نسبت به شاهد گردید و محلول‌پاشی با عصاره چای سبز و عصاره قهوه تأثیر معنی‌داری بر این صفت در مقایسه با شاهد نداشت (شکل ۱۴).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که میزان کربوهیدرات‌های موجود در برگ لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر محلول‌پاشی برگی ($p \leq 0.01$) و پیش‌تیمار بذور ($p \leq 0.01$) قرار گرفت، اما برهم‌کنش دوجانبه پیش‌تیمار و محلول‌پاشی تأثیری نداشت (جدول ۳). پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک سبب کاهش ۲۴/۷۹ درصدی کربوهیدرات در برگ نسبت به شاهد شد. همچنین پیش‌تیمار با عصاره چای سبز کاهش ۲۱/۵۰ درصدی، عصاره قهوه

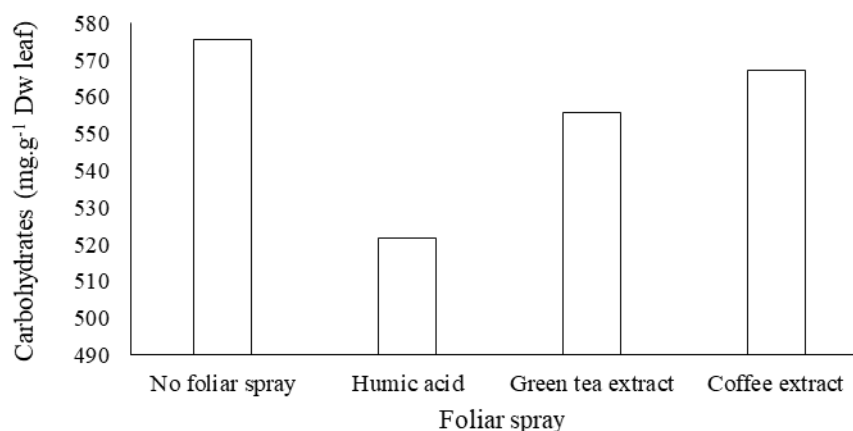
LSD=29.521



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر پیش‌تیمار بذر بر کربوهیدرات‌های برگ لوبیا چشم‌بلبلی

Fig. 13- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on carbohydrates of Cowpea

LSD=33.005



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر کربوهیدرات‌های محلول برگ لوبیا چشم بلبلی
Fig. 14- Mean comparison of the effect of foliar spray on carbohydrates of Cowpea

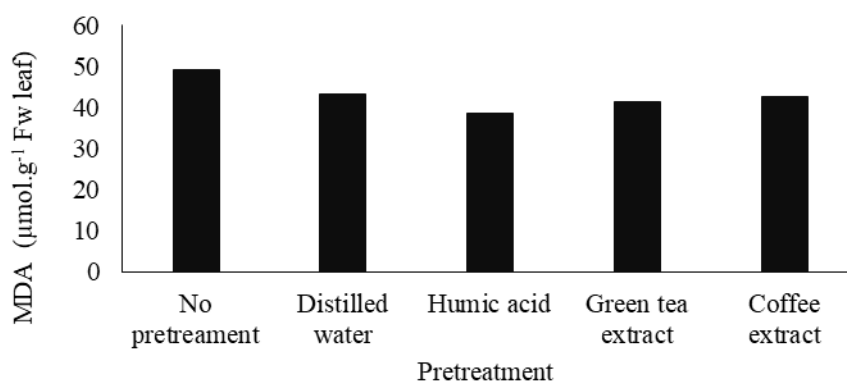
بیانگر عملکرد بهتر اسید هیومیک در گیاه لوبیا چشم بلبلی می‌باشد. محققان اعلام کردند که کاربرد اسید هیومیک منجر به کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید در سویا گردید (Maiwan et al., 2023).

عملکرد پروتئین تحت تأثیر پیش‌تیمار (P≤۰/۰۱) و محلول‌پاشی (P≤۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۳). بررسی شکل ۱۷ نشان داد که کمترین عملکرد پروتئین در گیاهانی به دست آمد که پیش‌تیمار را تجربه نکرده بودند و معادل ۴۲۲۰/۹ گرم بر مترمربع بود. بیشترین عملکرد پروتئین نیز در گیاهان حاصل از بذور پیش‌تیمار شده با اسید هیومیک به دست آمد. کاربرد پیش‌تیمار با آب مقطر، عصاره چای سبز و عصاره قهوه نیز موجب افزایش معنی‌دار عملکرد پروتئین تا سطح معنی‌داری نسبت به شاهد شد (شکل ۱۷).

مقایسه میانگین سطوح مختلف محلول‌پاشی نشان داد که کاربرد اسید هیومیک و عصاره چای سبز منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد پروتئین نسبت به شاهد شد. عصاره قهوه اگرچه این صفت را بهبود داد، ولی از لحاظ آماری با شاهد اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۱۸). تحقیقات نشان داده است که اسید هیومیک سبب تشکیل کمپلکس‌های محلول با عناصر ریزمغذی می‌شود و از این طریق، بیشترین تأثیر را بر افزایش میزان پروتئین دانه دارد (Bidyabhusan et al., 2024). محققان دیگر نیز افزایش عملکرد پروتئین لوبیا چشم بلبلی را در شرایط کاربرد اسید هیومیک گزارش کرده‌اند (Daylami & Mojaddam, 2018).

نتایج نشان داد که میزان مالون‌دی‌آلدهید تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی (P≤۰/۰۵) و پیش‌تیمار بذور (P≤۰/۰۱) قرار گرفت، ولی برهم‌کنش دوجانبه آن‌ها تأثیری نداشت (جدول ۳). پیش‌تیمار بذر با اسید هیومیک، عصاره چای سبز، عصاره قهوه و آب مقطر موجب کاهش معنی‌دار ۲۴/۴۲، ۲۰/۰۱، ۱۶/۱۷ و ۱۱/۸۸ درصدی میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ نسبت به گیاهان شاهد شدند. از نظر آماری عصاره چای سبز، قهوه و آب مقطر در یک گروه قرار گرفتند و اسید هیومیک نسبت به بقیه اثر بیشتری در کاهش پراکسیداسیون لیپیدها داشت (شکل ۱۵). اگرچه تمامی سطوح محلول‌پاشی شامل اسید هیومیک، عصاره چای سبز و عصاره قهوه موجب کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ شد، ولی فقط کاهش ناشی از اسید هیومیک نسبت به شاهد معنی‌دار بود. اسید هیومیک این صفت را ۱۰/۸۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۱۶). محققان اعلام کردند که اسید هیومیک از طریق تحریک فعالیت آنزیم کاتالاز موجب کاهش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و در نهایت، کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید می‌شود (Cordeiro et al., 2011). مالون‌دی‌آلدهید حاصل پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده در فسفولیپیدها است. و به‌عنوان معرف برای بررسی میزان صدمات غشاء مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jaleel et al., 2007). در این پژوهش، مقدار مالون‌دی‌آلدهید در اثر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی اسید هیومیک بیشترین کاهش را نسبت به عصاره چای سبز و قهوه نشان داد که

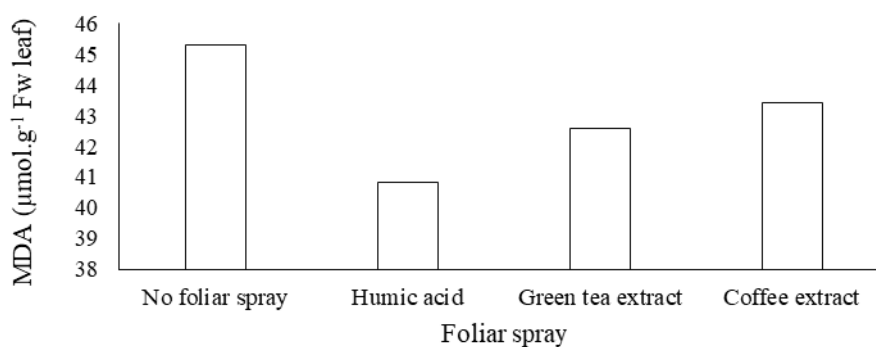
LSD=3.321



شکل ۱۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف پیش تیمار بذر بر مالون دی آلدئید لوبیا چشم بلبلی

Fig. 15- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on MDA of Cowpea

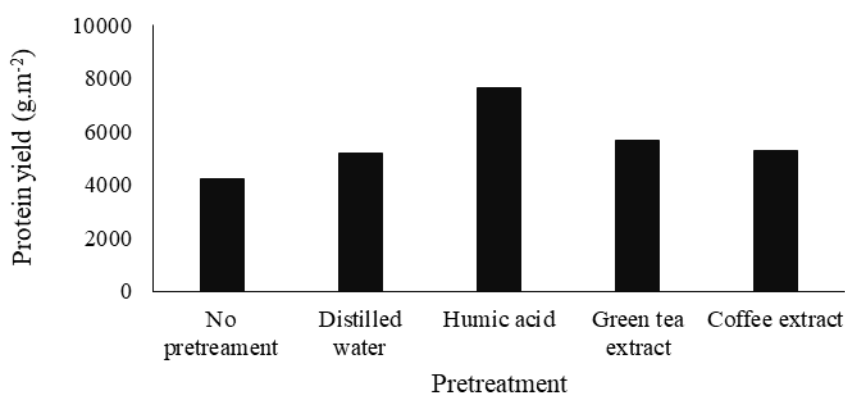
LSD=2.971



شکل ۱۶- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف محلول پاشی بر مالون دی آلدئید لوبیا چشم بلبلی

Fig. 16- Mean comparison of the effect of foliar spray on MDA of Cowpea

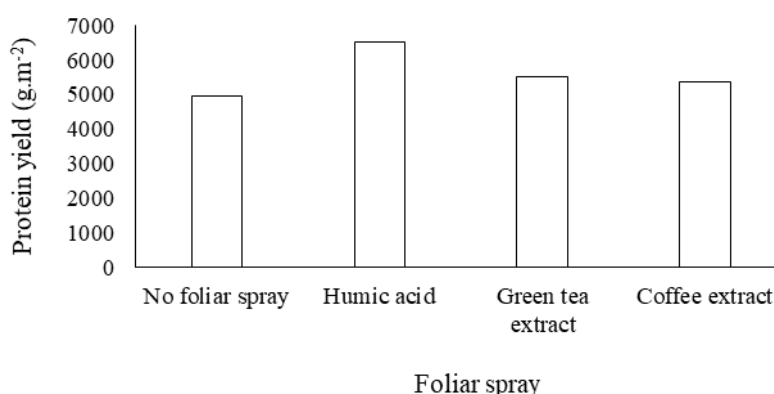
LSD=595.45



شکل ۱۷- مقایسه میانگین اثر پیش تیمار بذر بر عملکرد پروتئین لوبیا چشم بلبلی

Fig. 17- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on protein yield of Cowpea

LSD=532.62



شکل ۱۸- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر عملکرد پروتئین لوبیا چشم بلبلی
Fig. 18- Mean comparison of the effect of foliar spray on protein yield of Cowpea

شاخص پایداری غشاء، کاهش مالون‌دی‌آلدهید و افزایش وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته منجر به افزایش عملکرد دانه شده است. افزایش عملکرد دانه از طریق محلول‌پاشی اسید هیومیک در گندم نیز گزارش شده است (Mahmoodi et al., 2016). در تحقیق دیگری، مصرف اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر پرمصرف مانند فسفر و پتاسیم، عملکرد دانه در نخود را افزایش داد (Sakinejad et al., 2011). در پژوهش دیگری، کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش عملکرد دانه در لوبیا چشم بلبلی گردید (Daylami & Mojaddam, 2018). در خصوص تأثیر عصاره چای سبز و عصاره قهوه بر عملکرد دانه گیاهان، سندی یافت نگردید.

تجزیه علیت

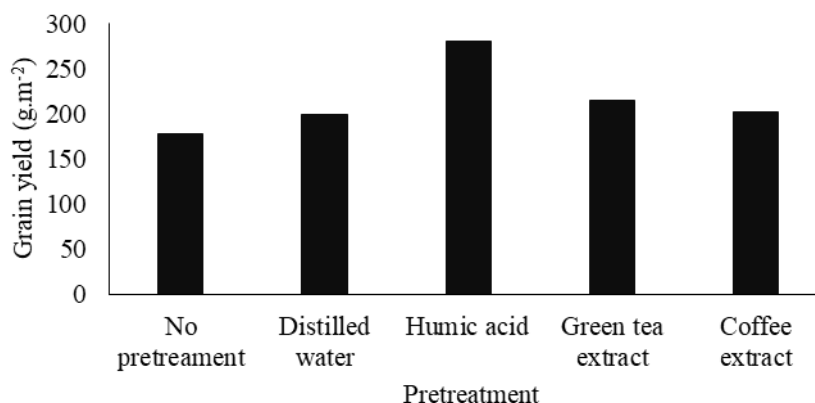
جهت تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر عملکرد دانه از تجزیه علیت استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، زمانی که عملکرد دانه به‌عنوان صفت وابسته در نظر گرفته شد، صفات شاخص سطح برگ (۰/۶۰۷۶)، کاروتنوئید (۰/۷۲۶۵)، شاخص پایداری غشاء (۰/۶۵۰۱)، کربوهیدرات‌های محلول برگ (۰/۶۶۷۸) و مالون‌دی‌آلدهید (۰/۶۰۹۶) به‌عنوان متغیرهای اصلی وارد مدل شدند. با توجه به میزان ضریب تبیین ۶۵/۸۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه توسط این پنج صفت توجیه می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین اثر مستقیم مثبت را کاروتنوئید (۰/۳۷۶۴) و شاخص پایداری غشاء (۰/۲۹۵۰) بر عملکرد دانه داشتند. کربوهیدرات‌های محلول برگ نیز بیشترین اثر مستقیم و

عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی در این پژوهش در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر پیش‌ تیمار بذری و محلول‌پاشی برگی قرار گرفت، ولی برهم‌کنش دوجانبه این دو عامل بدون تأثیر بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در گیاهان روئیده از بذور پیش‌ تیمار شده با اسید هیومیک به ثبت رسید که ۵۷/۶۹ درصد بیشتر از شاهد بود و این در حالی بود که پیش‌ تیمار با عصاره چای سبز، آب مقطر و عصاره قهوه این صفت را به‌ترتیب ۲۰/۹۱، ۱۱/۴۱ و ۱۳/۶۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱۹).

مقایسه میانگین عملکرد دانه در سطوح مختلف محلول‌پاشی نشان داد که اعمال تمامی سطوح محلول‌پاشی موجب افزایش عملکرد دانه در این شرایط شد. بیشترین عملکرد دانه متعلق به گیاهانی بود که اسید هیومیک را به‌صورت محلول‌پاشی دریافت کرده بودند که نسبت به شاهد ۲۰/۳۶ درصد برتری داشت. محلول‌پاشی با عصاره چای سبز و عصاره قهوه در سطح دوم آماری قرار گرفت. زمانی که گیاهان با عصاره چای سبز محلول‌پاشی شدند، افزایش ۸/۲۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد به ثبت رسید. کاربرد عصاره قهوه نیز موجب افزایش ۵/۹۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد که البته اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان عملکرد دانه در این شرایط با میانگین ۱۹۵/۰۶ گرم در مترمربع متعلق به گیاهان شاهد بود (شکل ۲۰). محققان دریافتند که پیش‌ تیمار بذرها احتمالاً از طریق بهبود سرعت استقرار و رشد گیاهان زراعی موجب افزایش عملکرد آنها می‌شوند (Nezami et al., 2013). در این پژوهش، اسید هیومیک از طریق افزایش شاخص سطح برگ، کلروفیل،

منفی (۰/۱۹۶۸-) را بر عملکرد دانه نشان داد. مالون‌دی‌آلدهید از طریق تأثیر غیرمستقیم بر میزان کاروتنئید و شاخص پایداری غشاء منجر به اثر منفی بر عملکرد دانه شد (جدول ۴).

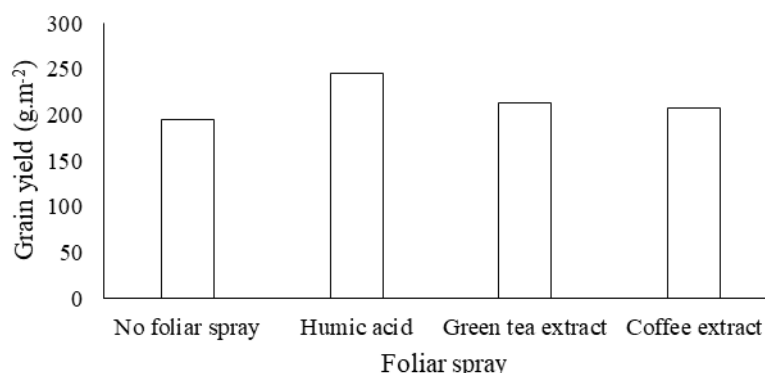
LSD=15.541



شکل ۱۹- مقایسه میانگین اثر پیش تیمار بذر بر عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 19- Mean comparison of the effect of seed pretreatment on grain yield of Cowpea

LSD=13.901



شکل ۲۰- مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی

Fig. 20- Mean comparison of the effect of foliar spray on grain yield of Cowpea

نتیجه‌گیری

غشاء در گیاه لوبیا چشم بلبلی منجر به افزایش عملکرد دانه شدند. در محدوده پژوهش حاضر، کاربرد اسید هیومیک و عصاره چای سبز به صورت پیش تیمار بذری و محلول‌پاشی برگ‌ها جهت افزایش کیفیت و کمیت لوبیا چشم بلبلی توصیه می‌شود. توصیه به استفاده از عصاره قهوه نیازمند انجام تحقیقات بیشتری می‌باشد.

استفاده از کودهای آلی به دلیل اثرات مختلف فیزیولوژیکی، علاوه بر افزایش عملکرد گیاهان می‌تواند منجر به استفاده کمتر از کودهای شیمیایی شود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از اسید هیومیک، عصاره چای سبز و عصاره قهوه از طریق افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص سطح برگ و شاخص پایداری

جدول ۴- تجزیه علیت عملکرد دانه تحت تأثیر صفات شاخص سطح برگ، کاروتنوئید، شاخص پایداری غشاء، کربوهیدرات‌های محلول برگ، مالون‌دی‌آلدهید (عملکرد دانه صفت وابسته است).

Table 4- Path coefficient analysis of grain yield under the influence of leaf area index, carotenoid, membrane stability, carbohydrate and Malondialdehyde, (grain yield is a dependent trait).

صفات	شاخص سطح برگ	کاروتنوئید	شاخص پایداری غشاء	کربوهیدرات	مالون دی‌آلدهید	اثرات کل
Traits	Leaf area index	Carotenoid	Membrane stability	Carbohydrate	Malondialdehyde	Total effects
شاخص سطح برگ	0.1191	0.2029	0.1439	0.1281	-0.0107	0.6076
Leaf area index						
کاروتنوئید	0.0718	0.3764	0.1606	0.1288	-0.0114	0.7265
Carotenoid						
شاخص پایداری غشاء	0.0580	0.1654	0.2950	0.1046	-0.0127	0.6501
Membrane stability						
کربوهیدرات	-0.0775	-0.2465	-0.1568	-0.1968	0.0100	-0.6678
Carbohydrate						
مالون دی‌آلدهید	-0.0710	-0.2388	-0.2081	-0.1095	0.0181	-0.6096
Malondialdehyde						
r-square	0.6581					

References

- Abada, M.A. (2014). A comparative study for the effect of green tea extract and some antioxidants on Thompson Seedless grapevines. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(10), 1333-1342. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2014/8611>
- Abdulameer, O.Q., & Ahmed, S.A. (2019). Role of humic acid in improving growth characters of corn under water stress. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 50(1), 420-430.
- Aggag, A.M., Alzoheiry, A.M., & Abdallah, A.E. (2015). Effect of kaolin and fulvic acid anti-transpirants on tomato plants grown under different water regimes. *Alexandria Scienc Exchange Journal*, 36, 2-15. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2015.2875>
- Ahmed, F.F., Kamel, M.K., & Ibrahim, H.I.M. (2014). The synergistic effects of using plant extracts and salicylic acid on yield and fruit quality of Keitte mango trees. *Stem Cell*, 5(2), 30-39.
- Alipour, H., Razavinasab, A., & Hosseinifard, S.J. (2023). The effect of humic acid application on growth characteristics, quality and yield of pistachios. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12(4), 117-133. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejsms.2023.20659.2077>
- Arnaout, S.M., Kamel, N.H., El-Mosallamy, H.M.H., & Boghdady, M.S. (2019). Effect of unihumic and aminomore on cowpea plants (*Vigna unguiculata* L.) grown under drought stress conditions. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 46(4), 999-1019. <https://doi.org/10.21608/zjar.2019.47053>
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses, *Food Chemistry*, 103, 1288-1296. <https://doi.org/org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
- Balzano, M., Loizzo, M.R., Tundis, R., Lucci, P., Nunez, O., Fiorini, D., Giardinieri, A., & Pacetti, D. (2020). Spent espresso coffee grounds as a source of anti-proliferative and antioxidant compounds. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102-125. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102254>
- Bidyabhusan, B., Kangujam, B., Barkha, S., & Arambam, A. (2024). Effect of humic acid on growth, yield and soil properties in rice: A review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(6), 26-35. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i64603>
- Bili, C. (2015). Mechanism of silicon alleviation of drought stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Shandong Agricultural University, 214 pp.
- Castaldo, L., Toriello, M., Izzo, L., Sessa, R., Lombardi, S., Trombetti, S., & Grosso, M. (2022). Effect of different coffee brews on tryptophan metabolite-induced cytotoxicity in HT-29 human colon cancer cells.

- Antioxidants*, 11(12), 24-38. <https://doi.org/10.3390/antiox11122458>
12. Cavusoglu, D., Macar, O., Kalefetoglu Macar, T., Cavusoglu, K., & Yalcın, E. (2022). Mitigative effect of green tea extract against mercury (II) chloride toxicity in *Allium cepa* L. model. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(19), 27862-27874. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17781-z>
 13. Cordeiro, F.C., Santa-Catarina, C., Silveira, V., & Souza, S.R. (2011). Humic acid effect on catalase activity and the generation of reactive oxygen species in corn (*Zea mays* L.). *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 75, 70-74. <https://doi.org/10.1271/bbb.100553>
 14. Dahmarde, M., Mirbahaodin, M., & Khomri, A. (2017). The effect of biofertilizer application on the quantitative and qualitative characteristics of cowpea under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 11(1), 23-33. (In Persian with English abstract).
 15. Daylami, S., & Mojaddam, M. (2018). Studying the effect of application time of humic acid foliar spraying on qualitative and quantitative characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1), 85-94. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.1056.1209>
 16. Du, Z., & Bramley, W.J. (1992). Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 40(9), 1566-1570. <https://doi.org/10.1021/jf00021a018>
 17. Eryigit, T., & Husamaldin, A.H. (2023). Effects of different humic acid doses on yield and quality properties of corn (*Zea mays* L.) in Iraq-Sulaymaniyah conditions. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 1377-1393. <https://doi.org/10.21597/jist.1241745>
 18. Fathi, A., Farnia, A., & Maleki, A. (2016). Effect of nitrogen and phosphorus biological fertilizers on vegetative characteristics, dry matter and yield of corn. *Journal of Agriculture*, 110, 1-7. (In Persian with English abstract), <https://doi.org/10.22092/aj.2016.109214>
 19. Fowler, B.D., Brydon, J., & Baker, R.J. (1989). Nitrogen fertilization of no till winter wheat and rye. II: Influence of grain protein. *Agronomy Journal*, 81, 72-77. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100010013x>
 20. Garcia-Larez, F.L., Murillo-Hernandez, J.L., Vargas-Sanchez, R.D., Torrescano-Urrutia, G.R., Torres-Martinez, B.D.M., & Sanchez-Escalante, A. (2021). Effect of extraction solvent on metabolites content, antioxidant, and antibacterial activity of coffee bagasse. TIP. Revista especializada en ciencias quimico-biologicas. <https://doi.org/10.22201/fssz.23958723e.2021.363>
 21. Grzesiak, M.T., Grzesiak, S., & Skoczowski, A. (2006). Changes of leaf water potential and gas exchange during and after drought in triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. *Photosynthetica*, 44, 561-568. <https://doi.org/10.1007/s11099-006-0072-z>
 22. Hajjhasani, N., Ameriyan, M.R., Asghari, H.R., & Rahimi, M. (2014). Effect of mycorrhiza, vermicompost and humic acid application on development and yield of *Vigna unguiculata* L. M.Sc. Thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. 135 pp.
 23. Haranal, K., Hanumanthappa, M., Mavarkar, N.S., Salimath, S.B., & Nadukeri, S. (2023). Foliar application of humic acid with varied nutrient levels on the performance of sweet corn. *International Journal of Research in Agronomy*, 6(1), 18-21. <https://doi.org/10.33545/2618060x.2023.v6.i1a.157>
 24. Hashimi, R., Afghani, A.K., Karimi, M.R., & Habibi, H.K. (2019). Effect of organic and inorganic fertilizers levels on spinach (*Spinacia oleracea* L.) production and soil properties in Khost Province, Afghanistan. *International Journal of Advanced Research*, 5(7), 83-87.
 25. Hassanen, S.A., Mousa, W.M., & Sultan, F.M. (2020). Effect of foliar application of humic acid, yeast and garlic extracts on growth, yield and quality in forage cowpea. *The Middle East Journal*, 9(4), 1079-1087. <https://doi.org/10.36632/mejar/2020.9.4.84>
 26. Heidari, M., Paydar, A., Baradarn Firozabad, M., & Abedinin Esfalati, M. (2020). The Effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments, and mineral nutrient content in sunflower seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 51-62. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.253008.654448>
 27. Hiscox, J.D., & Israelstom, G.F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57(2), 1332-1339. <https://doi.org/10.1139/b79-163>
 28. Huculak-Maczka, M., Hoffmann, J., & Hoffmann, K. (2018). Evaluation of the possibilities of using humic acids

- obtained from lignite in the production of commercial fertilizers. *Journal of Soils Sediments*, 18, 2868-2880. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1907-x>
29. Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentration of prolun and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Physiology*, 84, 55-60.
30. Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(2), 43-56.
31. Kahraman, A. (2017). Effect of humic acid doses on yield and quality parameters of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cultivars. *Legume Research*, 2(1), 1-14. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iof.3763>.
32. Kramer, P.S. (1983). Water relation of plants. Academic Press. pp. 342-415.
33. Li, S., Bingshu, H., Wang, J., Liu, J., & Xianmin, H. (2020). Risks of caffeine residues in the environment: Necessity for a targeted Eco pharmacovigilance program. *Chemosphere*, 243, 125-143. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125343>.
34. Lotfi, B., Fotohi, F., Siadat, S.A., & Sadeghi, M. (2018). The effect of nitrogen chemical fertilizer and nitroxin biofertilizer on yield and protein percentage of cowpea seed (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 1(45), 123-138. (In Persian with English abstract).
35. Mahmoodi, R., Nasri, M., & Oveisi, M. (2016). Effects of humic acid spraying on yield and yield components of wheat in drought stress condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(1), 10-26.
36. Maiwan, N., Tunçtürk, M., & Tunçtürk, R. (2023). Effect of humic acid applications on physiological and biochemical properties of soybean (*Glycine max* L.) grown under salt stress conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 33(1), 1-9. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1057288>
37. Moradi, P., & Amini, K. (2017). Extraction and identification of *Urtica dioica* l extract and its antibacterial and antifungal properties. *Journal of Mazandaran University Medical Science*, 27(151), 74-85. (In Persian with English abstract).
38. Nezami, A., Khazaei, H.R., Mirhashemi, S.M., & Hasanzade, F. (2013). The effect of seed hydropriming on germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.) in controlled condition. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 2(1), 39-54. (In Persian with English abstract).
39. Noghani, F., Kamali, S., & Zaree, G. (2020). Investigation of sensory characteristics and analysis of antioxidant levels of green tea extract and acceptance in minced meat of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) stored at refrigerator temperature 4°C. *Advanced Aquaculture Sciences Journal*, 3(3), 63-74.
40. Rahmanian, M., & Ayazpour, K. (2020). Evaluation of the effect of salicylic acid, harmal and tea extracts on mechanical transmission of cucumber mosaic virus. *Research in Plant Pathology*, 6(2), 1-9. (In Persian with English abstract).
41. Roustaei, M.J., Enayati, K., Soltani, V., Shiran, M., Ghane, N., Besharat, N., & Neshat, E. (2019). The effects of humic acid application on yield and yield components of wheat and some chemical properties of a saline-sodic soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(4), 95-109. (In Persian with English abstract). <http://ejssms.gau.ac.ir>.
42. Roy, D., Sarkar, S., Sardar, S., & Sengupta, K. (2017). Effect of nutrient management on the incidence of major insect and disease pests in rice-mustard cropping system. *International Journal of Chemical Studies*, 5(6), 1408-1412.
43. Sairam, R.K., & Srivastava, G.C. (2001). Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 63-70. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00461.x>
44. Sakinejad, T., Hossaini, S.M., & Hyvari, M. (2011). Calculate changes of bean germination process in the presence of various compounds of biological fertilizer humic acid mixed with micro and macro elements. *Journal of American Science*, 7(6), 10-14.
45. Shahsavani, S., Abaspour, A., Parsaeian, M., & Unesi, Z. (2017). Effect of fish waste, chemical fertilizer and biofertilizer on yield and yield components of bean (*Vigna sinensis*) and some soil properties. *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(1), 45-59. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ljpr.v8i1.4728>
46. Tajik, N., Tajik, M., Mack, I., & Enck, P. (2017). The potential effects of chlorogenic acid, the main phenolic components in coffee, on health: A comprehensive review of the literature. *European Journal of Nutrition*, 56, 22-

35. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1379-1>
47. Vigardt, A. (2012). Influence of coffee vermicompost on growth and nutrient quality of greenhouse spinach and field grown green bell peppers. Ph.D. Dissertation, Southern Illinois University Carbondale.
48. Yoo, Y., Yoo, Y.H., Lee, D.Y., Jung, K.H., Lee, S.W., & Park, J.C. (2023). Caffeine produced in rice plants provides tolerance to water-deficit stress. *Antioxidants*, 12(11), 19-34. <https://doi.org/10.3390/antiox12111984>



Assimilate Accumulation and Translocation of Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) in Intercropped Triticale-Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Deficit Irrigation

Ida Rashidipour¹, Vahid Barati^{1*} and Mahdi Najafi-Ghiri²

1- MSc Graduated and Assistant Professor, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran, respectively.

2- Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran

(*- Corresponding author's Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

How to cite this article:

Rashidipour, I., Barati, V., & Najafi-Ghiri, M. (2025). Assimilate accumulation and translocation of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) in intercropped triticale-chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by bio-organic fertilizer and deficit irrigation. *Journal of Agroecology*, 17(2), 303-321. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.90340-1217>

Received: 23-11-2024
Revised: 24-01-2025
Accepted: 05-04-2025
Available Online: 27-07-2025

Introduction

Water stress is one of the main limiting factors for global crop productivity in arid areas. A strategy to mitigate the pronounced water stress levels may entail the application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPRs), organic matter, and intercropping systems in arid regions. Among PGPRs, *Pseudomonas* and *Azospirillum* bacteria stand out for their remarkable capacity to enhance the availability of soil phosphorus (P) and nitrogen (N), respectively. Sufficient P and N uptake has been documented to improve plants' resilience to water stress through several mechanisms and, therefore, increase dry matter remobilization, grain yield in late-season severe water stress. The application of organic matter and intercropping systems emerges as alternative solutions for mitigating severe water stress levels, and consequently improving dry matter remobilization and grain yield of the intercropping members. Despite the above knowledge, there is a lack of information regarding the interaction between biological fertilizer, organic matter, and the triticale-chickpea intercropping system in mitigating the detrimental effects of water stress on triticale (*X Triticosecale* Wittmack). Therefore, this research was conducted to evaluate the impacts of PGPRs, sheep manure, and intercropped triticale with chickpea (1:1) on assimilate accumulation and translocation of triticale as two main traits for determining the triticale grain yield under the late-season deficit irrigation (water stress) in southern Iran (Fars province -Darab).

Materials and Methods

A split-factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was implemented at the research field of the College of Agriculture and Natural Resources of Darab - Shiraz University in 2019-2020 growing season. Treatments were two levels of irrigation (Ir): [1- normal (IR_N); irrigation based on the



©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.2025.90340-1217>

plant water requirement up to the physiological maturity stage (ZGS92) and 2- deficit irrigation (water stress - WS): irrigation based on the plant water requirement up to the milking stage] as the main plots. Three fertilizer sources (F_s) [1- chemical: (50 kg P ha⁻¹ + 150 kg N ha⁻¹), 2- integrated: (25 Kg P ha⁻¹ + 75 Kg N ha⁻¹ + 20 tons sheep manure ha⁻¹ + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*) 3- bio-organic: 40 tons sheep manure ha⁻¹ + inoculation with *P. fluorescens* and *A. brasilense*] and two cropping systems (C_s) [1- monoculture of triticale, 2- intercropped triticale with chickpea (1:1)] were subjected as the sub-plots. The aboveground dry matter of the whole plant organs at the anthesis stage and the dry matter of the vegetative organs at maturity were measured, and the dry matter remobilization and its attributes were calculated as Barati and Ghadiri (2017) mentioned. Data were analyzed using SAS 9.1 software, and means were separated using the Duncan multiple range test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the highest amount of assimilate remobilization occurred in integrated (2271.9 kg ha⁻¹) and intercropped triticale (2188.4 kg ha⁻¹) under IR_N condition. Assimilate remobilization and assimilate remobilization efficiency decreased by deficit irrigation. However, these decrements were different in the two cropping systems. Intercropping triticale, as compared to its sole, showed a lower decrease in these traits (16.5% and 4.3%, respectively). Furthermore, the smallest reductions in assimilate remobilization and assimilate remobilization efficiency due to deficit irrigation were observed in the bio-organic (16.0%) and integrated (2.3%) treatments, respectively. Grain yield showed a positive and linear relationship with assimilate remobilization in IR_N and WS conditions ($R^2 = 0.65$ and $R^2 = 0.95$, respectively).

Conclusions

As a result, to enhance assimilate remobilization and subsequently increase triticale grain yield, triticale–chickpea intercropping combined with integrated fertilizer application is recommended under IR_N conditions. In contrast, when deficit irrigation (water stress) is anticipated, a bio-organic fertilizer system and intercropped triticale are advisable.

Keywords: Contribution of pre-anthesis assimilate, Dry matter remobilization efficiency, Grain yield, Harvest index

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۳۲۱-۳۰۳

تجمع و انتقال مواد پرورده در تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) کشت مخلوط شده با نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر کاربرد کود زیستی-آلی و کم آبیاری

آیدا رشیدی پور^۱، وحید براتی^{۱*} و مهدی نجفی قیری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

چکیده

با توجه به تأثیر قابل توجه مواد پرورده تجمع یافته در دوره رشد رویشی بر عملکرد دانه غلات در شرایط تنش آبی انتهایی فصل، آزمایشی به صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب - دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح آبیاری [مطلوب (شاهد): آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و کم آبیاری (تنش آبی): آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله شیری] به عنوان عامل اصلی و سه منبع کودی [شیمیایی: ۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، تلفیقی: ۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و ۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلفیق با باکتری های سودوموناس فلورسنس و آزوسپیریوم براسیلنس]، زیستی-آلی: ۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلفیق با باکتری های سودوموناس فلورسنس و آزوسپیریوم براسیلنس] و دو نوع سامانه کشت [کشت خالص تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) (رقم هاشمی) و کشت مخلوط تریتیکاله - نخود (*Cicer arietinum* L.) (رقم داراب) (۱:۱)] به عنوان عوامل فرعی بودند که به صورت فاکتوریل در کرت های اصلی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار انتقال مجدد مواد در شرایط مطلوب رطوبتی در سامانه کود تلفیقی (۲۲۷۱/۹ کیلوگرم بر هکتار) و در سامانه کشت مخلوط تریتیکاله با نخود (۲۱۸۸/۴ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. کم آبیاری، انتقال مجدد مواد پرورده و کارایی انتقال مجدد مواد پرورده در هر دو سامانه کشت را نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی کاهش داد، به طوری که کمترین میزان کاهش در این صفات (به ترتیب ۱۶/۵ و ۴/۳ درصد) در الگوی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص مشاهده شد. همچنین کمترین میزان کاهش انتقال مجدد مواد پرورده و کارایی انتقال مجدد مواد پرورده به واسطه کم آبیاری نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی با کاربرد به ترتیب کود زیستی-آلی (۱۶/۰ درصد) و کود تلفیقی (۲/۳ درصد) به دست آمد. عملکرد دانه همبستگی خطی و مثبت با انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط مطلوب و کم آبیاری نشان داد (ترتیب $R^2 = 0.65$ و $R^2 = 0.95$). بنابراین، به منظور افزایش انتقال مجدد مواد پرورده و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه، کشت تریتیکاله به صورت مخلوط با نخود و همچنین استفاده از سامانه تلفیقی در شرایط مطلوب رطوبتی توصیه می شود. به علاوه، چنانچه احتمال بروز تنش آبی در انتهای فصل رشد تریتیکاله وجود داشته باشد، با توجه به کاهش کمتر انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط تنش نسبت به مطلوب در شرایط کاربرد کود زیستی-آلی نسبت به سایر سامانه های کودی و استفاده از کشت مخلوط نسبت به خالص قابل توصیه است.

واژه های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از گلدهی

۱- به ترتیب کارشناسی ارشد و استادیار، بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران

۲- دانشیار، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران

(Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.90340-1217>

مقدمه

تولید غلات در جنوب ایران به دلیل وجود آب‌وهوای گرم و خشک با مشکلات جدی ناشی از کمبود آب به‌ویژه در نیمه دوم سال زراعی روبه‌رو است، از این‌رو مواجهه گیاهان با تنش آبی شدید در طول دوره پر شدن دانه گریزناپذیر است. در مرحله پر شدن دانه غلات به دلیل بالا بودن فعالیت مقصد، به افزایش فراهمی فتوآسیمیلات‌ها احتیاج بیشتری است. اما کاهش فعالیت فتوسنتزی غلات (فعالیت منبع) و کاهش انتقال فتوآسیمیلات‌ها پس از مرحله گل‌دهی به دلیل شرایط نامناسب ایجادشده به واسطه تنش آبی و گرمای شدید، دسترسی دانه ها به مواد پرورده را محدود کرده و وزن نهایی دانه‌ها کاهش می‌یابد (Barati & Ghadiri, 2017; Bijanzadeh & Emam, 2012).

برخی از پژوهشگران (Barati & Bijanzadeh, 2020) گزارش کرده‌اند که در شرایط اعمال طیفی از تنش آبی (ملایم تا شدید) میزان فتوسنتز تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) کاهش می‌یابد متناسب با شدت تنش نشان داده است. همچنین برخی از پژوهشگران نشان داده‌اند که تنش‌های شدید آبی، میزان انتقال مجدد مواد پرورده را دچار کاهش قابل توجه می‌کند. در همین راستا، بیژن‌زاده و امام (Bijanzadeh & Emam, 2012) بر روی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L. و براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2017) بر روی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) اثبات کردند که اعمال تنش شدید پس از گل‌دهی، سبب کاهش مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه می‌شود، اما تنش ملایم نه تنها مقدار مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه را کاهش نمی‌دهد، بلکه سبب افزایش آن شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که حساسیت فرآیند فتوسنتز به تنش آبی به مراتب شدیدتر از انتقال فتوآسیمیلات‌ها در غلات است. بنابراین، اگر بتوانیم شدت تنش آبی در مرحله پر شدن دانه را کاهش دهیم، اگر چه احتمالاً فتوسنتز در چنین شرایطی روند کاهشی خواهد داشت. اما می‌توانیم تا حدودی کاهش ناشی از فتوسنتز را با افزایش مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه جبران کنیم و جلوی افت شدید وزن دانه را بگیریم. بنابراین، پژوهشگران برای کاهش شدت تنش آبی پس از گل‌دهی باید راهکارهایی را جستجو کنند.

کشت گیاهان مقاوم به خشکی، یکی از راهکارهای مناسب در

جهت کاهش سطح تنش در درون گیاه است. تریتیکاله نسبت به سایر غلات، تنش‌های غیرزیستی را به‌خوبی تحمل می‌کند و با داشتن پتانسیل تولید علوفه و عملکرد بالا، برای کشت در اراضی حاشیه‌ای مناسب است (Arseniuk, 2015). بنابراین، استفاده از این گیاه در مناطق جنوبی ایران می‌تواند به‌عنوان اولین راه‌حل در جهت کاهش سطح تنش درونی گیاه مطرح باشد. پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق جنوبی ایران در مورد اثرات تنش آبی بر مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه روی این گیاه محدود بوده و انجام چنین پژوهشی می‌تواند یافته‌های جدیدی را به دانش ما در این زمینه اضافه کند.

کشت مخلوط غلات و حبوبات نیز به دلیل تفاوت در عمق و نحوه قرارگیری ریشه‌ها در خاک و بنابراین، کاهش سطح رقابت درون گونه‌ای می‌تواند در کاهش اثرات تنش آبی شدید در غلات و بقولات مؤثر باشد (Rashidipour et al., 2023; Mazaheri, 1998). در تأیید این موضوع، برخی از پژوهشگران (Mohavieh Asadi et al., 2019) نیز نشان داده‌اند که گیاه جو به‌صورت مخلوط با نخود (*Cicer arietinum* L.) که در شرایط تنش آبی کاشت شدند، تنش آبی کمتری را نسبت به شرایط کشت خالص خود تحمل کردند. با وجود مطالعات متعدد (Pelzer et al., 2014) در مورد اثرات کشت مخلوط غلات و حبوبات، مطالعات در مورد مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه گیاه تریتیکاله به‌عنوان گیاهی جدید در شرایط پرتنش مناطق جنوبی ایران در شرایط کشت مخلوط آن با گیاهان خانواده بقولات نایاب است و مطالعه اثر کشت مخلوط آن با گیاهان خانواده بقولات در کاهش اثرات تنش شدید آبی در این گیاه، می‌تواند اطلاعات جدید و ارزشمندی را فراهم بیاورد.

راه حل دیگر در کاهش سطح تنش آبی، استفاده از کودهای زیستی و آلی است. در این راستا، استفاده از باکتری‌های تنظیم‌کننده رشد (PGPR) در شرایط تنش آبی از طریق کمک به افزایش رشد ریشه‌ها و به دنبال آن افزایش جذب مواد غذایی (Bhattacharyya & Jha, 2012) و همچنین، به دلیل تولید سیتوکینین‌ها، آنتی اکسیدان ها، ایندول استیک اسید IAA و آنزیم دامیناز ACC، میزان تحمل به تنش آبی را افزایش می‌دهند (Figueiredo et al., 2008). از جمله این باکتری‌ها می‌توان به *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilense*) و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر از جمله *سودوموناس فلورسکس* (*Pseudomonas fluorescens*) اشاره کرد

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب - دانشگاه شیراز (طول جغرافیایی ۵۴ و ۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ و ۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. به منظور بررسی بافت خاک و عناصر غذایی موجود در آن، نمونه‌ای از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی-متری خاک مزرعه تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب فرستاده شد. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. مکان اجرای آزمایش (داراب) با میانگین بارش بلندمدت سالیانه (۲۷ ساله، از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۴۰۰) ۲۶۴ میلی‌متر، دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد. وضعیت آب‌وهوای منطقه داراب در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در شکل ۱ نشان داده شده است.

تیمارها شامل دو سطح آبیاری (۱- مطلوب: آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- کم‌آبیاری (تنش آبی): آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله شیری) به عنوان عامل اصلی و عوامل فرعی شامل سه منبع کودی (۱- شیمیایی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار به صورت سوپرفسفات تریپل + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به صورت اوره)، ۲- تلفیقی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر به اندازه نصف نیاز گیاه (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) + کود گوسفندی به-اندازه نصف نیاز گیاه (۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریوم براسیلنس*، ۳- زیستی-آلی: کود گوسفندی کامل (۴۰ تن بر هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریوم براسیلنس*) و دو نوع کشت (۱- کشت خالص تربیتکاله و ۲- کشت مخلوط تربیتکاله-نخود (۱:۱)) بودند که به صورت فاکتوریل در هر کرت اصلی در تکرارها قرار گرفتند. ویژگی‌های کود گوسفندی در جدول ۲ آمده است.

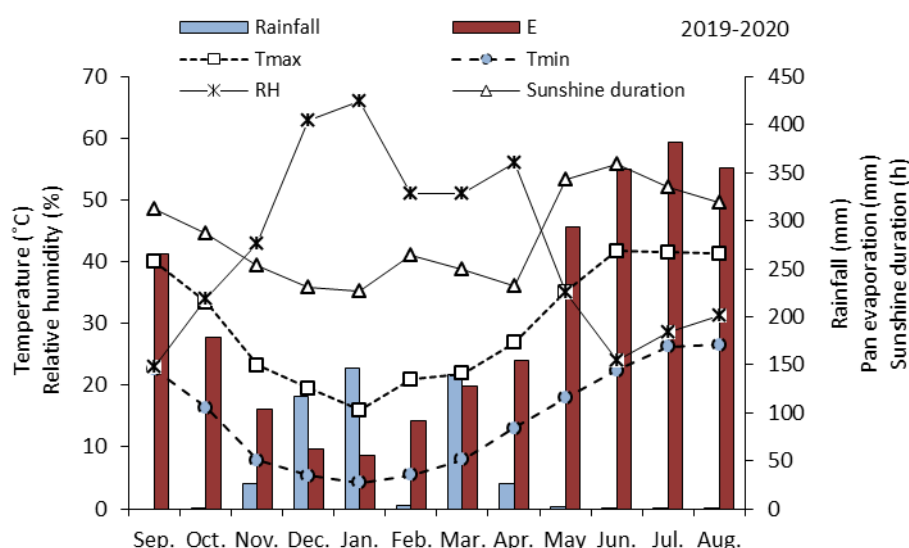
که به ترتیب با توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری (Vurukonda et al., 2016) و حل کردن فسفر نامحلول در خاک (Rawat et al., 2021)، این عناصر را برای جذب در دسترس گیاه قرار داده و سبب رشد بیشتر ریشه‌ها و افزایش جذب آب شده و سطح تنش را کاهش می‌دهند. در همین راستا، برخی از پژوهشگران نشان دادند که کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزین کردن آن‌ها با کودهای زیستی در گیاه جو (Niazi Ardakani et al., 2020) و گیاه تربیتکاله (Barati et al., 2020) در تعدیل اثرات منفی تنش آبی شدید مؤثر است. نتایج حاصل از پژوهش نیازی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) نشان داد که کاربرد کود به صورت تلفیقی (شیمیایی و زیستی)، با افزایش انتقال مجدد و مشارکت مواد پرورده در دانه جو در شرایط تنش آبی سبب افزایش مقدار عملکرد دانه در این تیمار در مقایسه با سایر تیمارهای کودی (صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و زیستی (تلقیح با باکتری *آزوسپیریوم براسیلنس*)) شد.

کود حیوانی منبعی از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف مورد نیاز گیاهان است که می‌تواند از طریق تأثیرگذاری مثبت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب سبب بهبود شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک و رشد بهتر ریشه‌ها شده و بنابراین، جذب آب در شرایط تنش را بیفزاید و سطح تنش آبی را کاهش دهد. در این راستا، برخی از پژوهشگران دریافتند که استفاده از کود حیوانی، خاک را قادر می‌سازد تا آب و مواد غذایی را برای مدت طولانی‌تری حفظ کند و به صورت آهسته در اختیار گیاه قرار دهد (Risse et al., 2006) و سبب کاهش سطح تنش آبی شود.

بنابراین، با توجه به نقش مؤثر استفاده از کودهای زیستی و آلی در کاهش سطح تنش آبی و کمبود اطلاعات در مورد اثر آن‌ها بر میزان مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه گیاه تربیتکاله در شرایط کشت خالص و مخلوط در مناطق پرتنش جنوبی ایران، این پژوهش به بررسی برهم‌کنش اثر کم‌آبیاری (تنش آبی)، منابع مختلف نیتروژن و فسفر (شیمیایی و زیستی-آلی) بر انتقال مجدد مواد پرورده، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه و عملکرد تربیتکاله در کشت خالص و مخلوط با نخود پرداخته است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر
Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth.

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
Characteristics	Unit	Amount	Characteristics	Unit	Amount
شن	%	38.23	نیتروژن کل	%	0.09
Sand	%	38.23	Total N	%	0.09
سیلت	%	45.10	پتاسیم قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	340
Silt	%	45.10	Available K	mg.kg ⁻¹	340
رس	%	16.67	فسفر قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	10.67
Clay	%	16.67	Available P	mg.kg ⁻¹	10.67
کربن آلی	%	0.93	آهن قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	6.01
Organic C	%	0.93	Available Fe	mg.kg ⁻¹	6.01
ماده آلی	%	1.57	منگنز قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	15.88
Organic material	%	1.57	Available Mn	mg.kg ⁻¹	15.88
قابلیت هدایت الکتریکی	dS.m ⁻¹	1.07	مس قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	1.54
EC	dS.m ⁻¹	1.07	Available Cu	mg.kg ⁻¹	1.54
اسیدیته	----	7.49	روی قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	0.63
pH	----	7.49	Available Zn	mg.kg ⁻¹	0.63



شکل ۱- بارندگی ماهیانه، تبخیر از تشت تبخیر، طول دوره روشنایی، میانگین کمینه و بیشینه دمای هوا و رطوبت نسبی در طول سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹

Fig. 1- Monthly rainfall, pan evaporation (E), sunshine duration, mean minimum and maximum air temperatures (Tmin and Tmax, respectively) and relative humidity (RH) during 2019- 2020 growing season

مزرعه، کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم فسفر برهکتار یک روز قبل از کاشت به‌صورت نواری بین ردیف‌های کشت به زمین اضافه شد. بذر نخود (رقم محلی داراب: مناسب برای کشت در مناطق گرم و خشک کشور) و بذر تریپیکاله (رقم هاشمی: زودرس و مناسب برای کاشت در اراضی کم‌بازده) از مؤسسه

عملیات خاکورزی با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک و سپس کرت بندی در ابعاد ۳/۵×۲ متر انجام شد. دو هفته قبل از کاشت، کود دامی (گوسفندی) (۴۰ و ۲۰ تن بر هکتار) متناسب با تیمارهای مربوطه به - زمین اضافه و با خاک مزرعه مخلوط شد. سپس، به‌منظور پوسیدگی کود دامی، آبیاری کرت‌ها انجام گرفت. با توجه به نتایج آزمون خاک

سودوموناس فلورسنس (*Pseudomonas fluorescens*) نیز از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه گردید.

تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند و بر روی شش خط کاشت به طول سه متر با فاصله ۲۵ سانتی متری کاشته شدند. باکتری-های آروسپیریلوم براسیلنس (*Azospirillum brasilense*) و

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود گوسفندی مورد استفاده

Table 2- Physical and chemical characteristics of the sheep manure

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
Characteristics	Unit	Amount	Characteristics	Unit	Amount
کربن آلی	%	32.31	پتاسیم قابل دسترس	mg.kg ⁻¹	589
Organic C			مس قابل دسترس	mg.kg ⁻¹	49
اسیدیته	-	7.97	مگنیز قابل دسترس	mg.kg ⁻¹	212
pH			روی قابل دسترس	mg.kg ⁻¹	99
قابلیت هدایت الکتریکی	dS.m ⁻¹	8.21	آهن قابل دسترس	mg.kg ⁻¹	2714
EC			Available Fe		
نیتروژن کل	%	0.76			
Total N					
فسفر قابل دسترس	mg.kg ⁻¹	25.43			
Available P					

(ZGS₃₄)، همراه با آب آبیاری به مقدار (۱۰ گرم از هر باکتری) در هر کرت استفاده شد.

به منظور انجام آبیاری مطلوب، محتوای رطوبت خاک از قسمت میانی کرت‌های مربوطه به روش وزنی اندازه‌گیری شد. به این منظور، از عمق ۰ تا ۶۰ سانتی متری خاک، در فواصل ۳۰ سانتی متری نمونه برداری با مته انجام شد و بعد از وزن کردن نمونه، خاک به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد درون آون قرار گرفت تا خشک شود. با کم کردن وزن خاک خشک (پس از قرار دادن در آون) از وزن خاک مرطوب (قبل از قرار دادن در آون)، رطوبت خاک به دست آمد. زمانی که میانگین رطوبت خاک در نقاط اندازه‌گیری شده به کمتر از ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس رسید، آبیاری کرت‌ها انجام شد و رطوبت زمین در عمق متناسب با توسعه ریشه به ظرفیت مزرعه رسانده شد (Barati & Ghadiri, 2016).

مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها از طریق معادله ۱ محاسبه و مقدار آب استفاده شده برای هر کرت از روش حجمی-زمانی (Barati & Ghadiri, 2016) اندازه‌گیری شد. زمان مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها با توجه به دبی آب خروجی از لوله‌های تعبیه شده برای آبیاری به دست آمد. در کرت‌های مربوط به تیمار کم آبیاری، آبیاری تا مرحله شیری انجام شد.

$$D = \sum_{i=1}^n (\theta_{fci} - \theta_i) \Delta Z_i \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن، D: عمق آب آبیاری (میلی متر)، i: یک لایه، n: تعداد

قبل از عملیات کاشت، ضد عفونی بذرها با محلول سدیم هیپوکلریت یک درصد به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد و پس از آن بذرها با آب مقطر سترون شستشو و خشک شدند. سپس، به مدت ۳۰ ثانیه بذرها در محلول شکر ۲۰ درصد قرار گرفتند تا تمام سطح بذر به صورت یکنواخت چسبناک شود. تلقیح بذرها در تربیتکاله و نخود در شرایط آزمایشگاهی و بعد از گندزدایی انجام شد. مایه تلقیح (باکتری-های آروسپیریلوم براسیلنس و سودوموناس فلورسنس) به ازای هر کیلوگرم بذر، ۲۰ گرم از هر باکتری به بذرها چسبناک اضافه شده و بعد از ۴۵ ثانیه تکان دادن ظرف محتوی بذر و باکتری، بذرها آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلومینیومی پهن شدند تا در سایه خشک شوند (Niazi Ardakani et al., 2020).

عملیات کاشت بذر براساس مقدار توصیه شده برای نخود (۴۰ بوته در مترمربع) (Mohavieh Assad et al., 2019) و تربیتکاله (۲۰۰ بوته در مترمربع) (Barati et al., 2020) در تاریخ ۸ دی ماه انجام و پس از آن آبیاری کرت‌ها به صورت یکنواخت صورت گرفت. در تیمار کاربرد کود شیمیایی، کود نیتروژن در سه مرحله نمو تربیتکاله شامل سه برگچه‌ای (ZGS₁₃) (Zadoks et al., 1974) پنجه‌زنی (ZGS₂₃) و ساقه‌دهی (ZGS₃₂) به مقدار مساوی به کرت‌ها اضافه و بعد از آن آبیاری انجام شد. همچنین، در تیمارهای کود زیستی-آلی و تلفیقی، علاوه بر تلقیح بذرها، باکتری آروسپیریلوم براسیلنس و سودوموناس فلورسنس در دو مرحله پنجه‌زنی (ZGS₂₅) و ساقه‌دهی

نتایج و بحث

وزن خشک اندام‌های رویشی هوایی در مرحله شیری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک گیاه در زمان شیری معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک اندام رویشی در تیمار کشت مخلوط (۱۰۳۵۴ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد و افزایش ۱۸/۸ درصدی، نسبت به کشت خالص تریتیکاله (۸۷۱۶ کیلوگرم بر هکتار) را نشان داد (جدول ۴). به دلیل اینکه رقابت درون گونه‌ای غلات نسبت به رقابت بین گونه‌ای غلات و حبوبات بیشتر است (Pelzer et al., 2014)، در کشت مخلوط با کم شدن تراکم غلات و اضافه شدن حبوبات به الگوی کاشت، رقابت کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این، حبوبات به دلیل توانایی در تثبیت نیتروژن اتمسفری در خاک، بخشی از نیتروژن را در اختیار غلات قرار می‌دهند و به افزایش رشد اندام‌های رویشی غلات کمک می‌کند (Mazaheri, 1998) که این موضوع در نهایت، منجر به افزایش وزن خشک اندام‌های رویشی تریتیکاله در مرحله شیری شده است. نتایج به دست آمده از پژوهشی نشان داد که کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) / لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) باعث افزایش وزن خشک اندام‌های رویشی سورگوم در مرحله گل‌دهی شد (Forsatian et al., 2010).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک گیاه در مرحله شیری معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک اندام رویشی تریتیکاله در مرحله شیری، در تیمار کود تلفیقی (۱۰۸۱۹ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که با تیمار شیمیایی (۱۰۱۸۷ کیلوگرم بر هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان شیری نیز در تیمار کود زیستی-آلی (۷۵۹۸ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد و کاهش ۳۴/۱ و ۴۲/۳ درصدی را در وزن خشک اندام‌های رویشی نسبت به کود شیمیایی و تلفیقی در مرحله شیری نشان داد (جدول ۴). کود حیوانی، عناصر غذایی از جمله نیتروژن را به صورت آهسته رها کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Risse et al., 2006). به نظر می‌رسد که با توجه به نیاز بالای گیاهان خانواده غلات به نیتروژن، این موضوع بر کاهش رشد رویشی تریتیکاله در سامانه کود زیستی-آلی، نسبت به دیگر سامانه‌های کودی تأثیر داشته و موجب کاهش وزن خشک تریتیکاله در مرحله شیری شده است.

لایه‌های خاک، θ_{fc} : محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرع (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب)، θ_i : محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب) در i امین لایه خاک و ΔZ_i : ضخامت هر لایه (میلی‌متر) است.

به منظور تعیین عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت، دو هفته بعد از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تریتیکاله (ZGS₉₂)، یک ردیف به طول یک متر از وسط هر کرت، از سطح خاک بریده شد (۵۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر ردیف کاشت و دو ردیف کناری در هر کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شدند). به منظور یکسان بودن سطح برداشت در کشت مخلوط و خالص، مساحتی مساوی در شرایط کشت خالص و مخلوط تعیین و سپس برداشت شد.

در ابتدای رشد تریتیکاله (ZGS₁₃)، ۱۰ بوته در همه کرت‌ها از یک ردیف مشخص در مرکز کرت علامت‌گذاری شدند، که پنج بوته در مرحله شیری (ZGS₇₅) از سطح خاک برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت و پس از خشک شدن، وزن خشک کل بوته‌ها اندازه‌گیری شد و با توجه به تراکم بوته در هکتار به کیلوگرم بر هکتار تبدیل شد. پنج بوته باقی مانده در مرحله رسیدگی (ZGS₉₂) از سطح خاک برداشت شدند و وزن خشک اندام‌های هوایی رویشی تریتیکاله (ساقه‌ها، برگ‌ها و کلش مربوط به سنبله) اندازه‌گیری و با توجه به تراکم بوته در هکتار به کیلوگرم بر هکتار تبدیل شد. جهت اندازه‌گیری انتقال مجدد مواد پرورده (کیلوگرم بر هکتار) (معادله ۲)، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده (درصد) (معادله ۳) و مشارکت مواد پرورده انتقال یافته از اندام‌های رویشی در دانه (مشارکت مواد پرورده) (درصد) (معادله ۴) از معادله‌های زیر استفاده شده است (Barati & Ghadiri, 2017).

معادله (۲) وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی - وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیری = انتقال مجدد مواد پرورده
معادله (۳) $100 \times (\text{وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیری} / \text{انتقال مجدد مواد پرورده}) = \text{کارایی انتقال مجدد}$
معادله (۴)

$100 \times (\text{انتقال مجدد مواد پرورده} / \text{عملکرد دانه}) = \text{مشارکت مواد پرورده}$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

براساس نتایج به دست آمده، می توان نتیجه گرفت که در سامانه کودی تلفیقی، با کاربرد کود حیوانی، کود نیتروژن به مدت طولانی تری در خاک باقی می ماند و در دسترس ریشه قرار می گیرد (Barker, 2016) که این مورد بر رشد رویشی تریتیکاله تأثیر گذاشته و باعث افزایش وزن خشک در زمان شیرگی به طور جزئی نسبت به سامانه کود شیمیایی شده است. کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به مقدار زیاد، موجب افزایش رشد اندام های رویشی تریتیکاله می شود که این موضوع بر افزایش وزن خشک گیاه در زمان شیرگی مؤثر است. واکنش مثبت

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، الگوهای کاشت و سامانه کودی بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن خشک اندام های رویشی در مرحله شیرگی، وزن خشک اندام های رویشی در مرحله رسیدگی، انتقال مجدد مواد پرورده، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده و مشارکت مواد پرورده در تریتیکاله
Table 3- Analysis of variance for the effect of irrigation regime, cropping system and fertilizer system on grain yield, harvest index, dry weight of the shoots at anthesis, dry weight of the vegetative parts of the shoots at maturity, dry matter remobilization, dry matter remobilization efficiency and contribution of pre anthesis assimilate to grain of triticale

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن خشک اندام- های رویشی در مرحله شیرگی Dry weight of the shoots at milking stage	وزن خشک اندام های رویشی در مرحله رسیدگی Dry weight of the vegetative parts of the shoots at maturity	انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization	کارایی انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization efficiency	مشارکت مواد پرورده Contribution of pre-anthesis assimilate to grain
تکرار Replication	2	23001 ^{ns}	1.24 ^{ns}	357749.53 ^{ns}	418960.21 ^{ns}	3988.22 ^{ns}	6.00 ^{ns}	12.26 ^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)	1	82716296 ^{**}	1108.33 [*]	27680751.56 ^{ns}	12453252.84 ^{**}	3032822.25 [*]	89.93 ^{**}	499.52 ^{**}
خطای (الف) Error (a)	2	252273	12.30	2326742.24	22953.22	35953.18	0.49	9.31
الگوی کاشت Cropping system (Cs)	1	15000516 ^{**}	140.77 ^{**}	24132492.50 ^{**}	9174941.97 ^{**}	3513000.49 ^{**}	122.10 ^{**}	166.84 ^{**}
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	5751212 ^{**}	240.68 ^{**}	34953126.66 ^{**}	32746200.08 ^{**}	1438600.11 ^{**}	268.51 ^{**}	352.23 ^{**}
Ir × Cs	1	1029108 [*]	57.08 ^{**}	2408652.27 ^{ns}	817487.22 ^{ns}	431649.00 ^{**}	47.38 [*]	55.50 [*]
Ir × Fs	2	5141185 ^{**}	142.47 ^{**}	730649.13 ^{ns}	823071.96 ^{ns}	440590.34 ^{**}	52.24 ^{**}	79.76 ^{**}
Cs × Fs	2	247121 ^{ns}	2.03 ^{ns}	1490615.75 ^{ns}	921385.12 ^{ns}	73297.57 ^{ns}	0.52 ^{ns}	19.53 ^{ns}
Ir × Cs × Fs	2	116314 ^{ns}	5.25 ^{ns}	299444.04 ^{ns}	225804.96 ^{ns}	23858.15 ^{ns}	4.57 ^{ns}	7.56 ^{ns}
خطای (ب) Error (b)	20	139990.1	5.00	1670745.3	553239.9	31887.03	8.42	8.46
ضریب تغییرات CV [€] (%)		7.40	5.83	13.55	9.48	10.53	16.18	8.51

* و **: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیر معنی داری، €: ضریب تغییرات
* and **: significant at the 5% and 1% probability levels respectively, ns: Non significant; €: Coefficient of variation

جدول ۴- اثرات آبیاری، الگوی کاشت و سامانه کودی بر وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیر و رسیدگی در تربیتکاله
 Table 4- Effects of cropping system and fertilizer system on dry weight of the shoots at the anthesis and dry weight of the vegetative parts of the shoots at the maturity of triticale

تیمار Treatment	وزن خشک اندام‌های هوایی رویشی در مرحله شیر Dry weight of the shoots at the milking stage	وزن خشک اندام‌های هوایی رویشی در مرحله رسیدگی Dry weight of the vegetative parts of the shoots at the maturity stage
رژیم آبیاری Irrigation regimes (Ir)	----- (kg.ha ⁻¹) -----	
آبیاری مطلوب Normal irrigation	10412 ^a	8429 ^a
کم‌آبیاری Deficit irrigation	8658 ^a	7253 ^b
الگوی کاشت Cropping system (Cs)		
کشت خالص Sole cropping	8716 ^b	7336 ^b
کشت مخلوط Inter cropping	10353 ^a	8346 ^a
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)		
شیمیایی ^E Chemical	10187 ^a	8824 ^a
تلفیقی ^{EE} Integrated	10819 ^a	8765 ^a
زیستی-آلی [¥] Bio-organic	7898 ^b	5934 ^b

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

E: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار)، EE: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و ۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های سودوموناس فلورسنتس و آزوسپیریلوم براسیلنس)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan multiple range test.

E: Chemical (50 kg P .ha⁻¹ and 150 kg N .ha⁻¹), EE: Integrated (25 kg P .ha⁻¹, 75 kg N .ha⁻¹ and 20 ton.ha⁻¹ of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Bio-Organic (40 tons sheep manure ha⁻¹ + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

وزن خشک اندام‌های رویشی هوایی در زمان رسیدگی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان رسیدگی در تیمار آبیاری مطلوب (۸۴۲۹ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که به‌واسطه کم‌آبیاری ۱۴ درصد کاهش یافت و به ۷۲۵۴ کیلوگرم بر هکتار رسید (جدول ۴). براساس نتایج سایر پژوهشگران و برخلاف نتایج آزمایش حاضر، تنش‌های ملایم بعد از مرحله گل‌دهی منجر به افزایش انتقال مجدد مواد پرورده در تربیتکاله می‌شود که به نظر می‌رسد این افزایش میزان انتقال مجدد، منجر به کاهش وزن خشک اندام‌های رویشی تربیتکاله شده است. اما در آزمایش حاضر به‌علت بروز تنش شدید آبی به‌علت قطع آبیاری پس از مرحله شیر، احتمالاً مقدار فتوسنتز کاهش یافته (داده‌ها نشان داده نشده است) و این کاهش تجمع ماده خشک پس از مرحله شیر را کاسته است.

نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی روی چهار رقم گندم نشان داد که وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی کاهش یافت، اما میزان کاهش در تیمار تنش آبی بیشتر بود (Ahmadi et al., 2004). بیژن زاده و همکاران (Bijanazadeh et al., 2019) در پژوهشی روی تربیتکاله نشان دادند که تنش آبی انتهای فصل بر تولید ماده خشک تأثیر منفی داشت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک اندام رویشی تربیتکاله در مرحله رسیدگی، در الگوی کشت مخلوط (۸۳۴۶ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که افزایش ۱۳/۸ درصدی نسبت به کشت خالص (۷۳۳۶ کیلوگرم بر هکتار) نشان داد (جدول ۴). گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد، کشت مخلوط عملکرد ماده خشک را نسبت به کشت خالص افزایش می‌دهد که می‌تواند به‌دلیل استفاده بهتر از منابع باشد.

آبیاری $\times$ الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر انتقال مجدد مواد پرورده تربیتکاله معنی دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقدار انتقال مجدد مواد پرورده در تیمار کشت مخلوط (۲۱۸۸ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که ۲۲/۷ درصد نسبت به کشت خالص (۱۷۸۳ کیلوگرم بر هکتار) افزایش داشت. در شرایط کم آبیاری نیز بیشترین مقدار این صفت در کشت مخلوط (۱۸۲۷ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که ۸۵/۸ درصد نسبت به کشت خالص (۹۸۳ کیلوگرم بر هکتار) برتری داشت (جدول ۵). نتایج پژوهشی روی کشت مخلوط جو و خلر (*Latyrus sativus* L.) (Biswas et al., 2019) نشان داد که کشت مخلوط جو نسبت به کشت خالص آن در شرایط آبیاری مطلوب منجر به افزایش رشد رویشی و انتقال مجدد مواد پرورده جو شد.

کم آبیاری منجر به کاهش ۴۴/۸ و ۱۶/۵ درصدی انتقال مجدد مواد پرورده، به ترتیب در تیمار کشت خالص و کشت مخلوط شد (جدول ۵). تنش آبی شدید از طریق کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز سبب کاهش تولید ماده خشک شده و در انتقال مواد پرورده از طریق آوند آبکش اختلال ایجاد می کند. برخی از پژوهش ها نشان داده اند که انتقال مجدد مواد پرورده در سطوح کاهش یافته تنش آبی می تواند کاهش کمتری را نسبت به تنش آبی شدید (Mowludi et al., 2015) نشان دهد. در آزمایش حاضر نیز کاهش کمتر انتقال مجدد مواد پرورده به واسطه تنش آبی (کم آبیاری) در شرایط کشت مخلوط تربیتکاله با نخود (۱۶/۵ درصد) نسبت به کشت خالص آن (۴۴/۸ درصد) را می توان به تفاوت در نحوه گستردگی و عمق ریشه های این دو گیاه در نیم رخ خاک نسبت داد. این تفاوت باعث تخلیه کمتر آب از لایه سطحی خاک که عمدتاً با ریشه تربیتکاله اشغال شده است، می شود. از این رو بوته های تربیتکاله در شرایط کشت مخلوط، تنش آبی کمتری را تجربه می کنند. بنابراین، انتقال مجدد مواد پرورده تربیتکاله در کشت مخلوط با نخود نسبت به کشت خالص آن، کاهش کمتری را به واسطه تنش آبی نشان می دهند. در همین راستا، بیژن زاده و همکاران (Bijanazadeh et al., 2019) در پژوهشی روی تربیتکاله نتیجه گرفتند که تنش آبی منجر به کاهش انتقال مجدد مواد پرورده شد. اما، پژوهشی که به طور مشخص روی اثر کشت مخلوط تربیتکاله و حبوبات بر انتقال مجدد مواد پرورده پرداخته باشد، یافت نشد.

در کشت مخلوط، به دلیل تفاوت در عمق قرارگیری ریشه های غلات و حبوبات، بهره وری مصرف آب بهبود پیدا می کند (Mazaheri, 1998) که به نظر می رسد این مزیت کشت مخلوط در آزمایش حاضر تأثیر مثبتی بر روی وزن خشک اندام های رویشی در مرحله رسیدگی تربیتکاله با توجه به محدودیت منبع آب به ویژه در مرحله پرشدن دانه داشته است. از دیگر مزایای کشت مخلوط غلات و حبوبات، می توان به افزایش تثبیت نیتروژن در خاک اشاره کرد که می تواند رشد رویشی گیاه همراه با حبوبات را نیز تحریک کند و سبب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه همراه در مرحله رسیدگی شود (Mazaheri, 1998).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام رویشی در مرحله رسیدگی معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک اندام رویشی در مرحله رسیدگی در سامانه کودی شیمیایی (۸۸۲۴ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که با تیمار کود تلفیقی (۸۷۶۵ کیلوگرم بر هکتار) تفاوت معنی داری نداشت و کمترین مقدار نیز در تیمار کود زیستی-آلی (۵۹۳۴ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد (جدول ۴). پژوهشگران بی-شماری از جمله بارکر (Barker, 2016) بیان داشته اند که رشد رویشی گیاهان از کاربرد نیتروژن تأثیر مثبت می پذیرد. در آزمایش حاضر نیز پاسخ مثبت به کاربرد نیتروژن از منابع مختلف روی رشد رویشی تربیتکاله و در نهایت، افزایش وزن خشک اندام های رویشی تربیتکاله در مرحله رسیدگی بر نتایج سایر محققان تأکید می کند. همچنین، هم روند با نتایج آزمایش حاضر، برتری تأثیر سامانه های تلفیقی نسبت به شیمیایی و زیستی بر رشد رویشی را سایر پژوهشگران از جمله نیازی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) گزارش کردند. آن ها در پژوهشی روی جو، بیشترین وزن خشک اندام های رویشی در مرحله رسیدگی را در تیمار کود تلفیقی (۵۰ درصد کود شیمیایی + تلقیح با باکتری / زوسپیریلوم + بقایا) مشاهده کردند.

انتقال مجدد مواد پرورده

انتقال مجدد ماده خشک و نیتروژن ذخیره شده توسط غلات تا مرحله گل دهی در آب و هوای با الگوی بارش مدیترانه ای از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا عملکرد دانه تا حد زیادی به انتقال مواد پرورده جذب شده قبل از گل دهی به سمت دانه بستگی دارد (Papakosta & Gagianas, 1991). در آزمایش حاضر، برهم کنش

جدول ۵- اثر برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت بر انتقال مجدد مواد پرورده، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از مرحله شیری در دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله

Table 5- Effects of the Ir × Cs interaction on dry matter remobilization, dry matter remobilization efficiency, contribution of pre-milking assimilate to grain, harvest index and grain yield of triticale

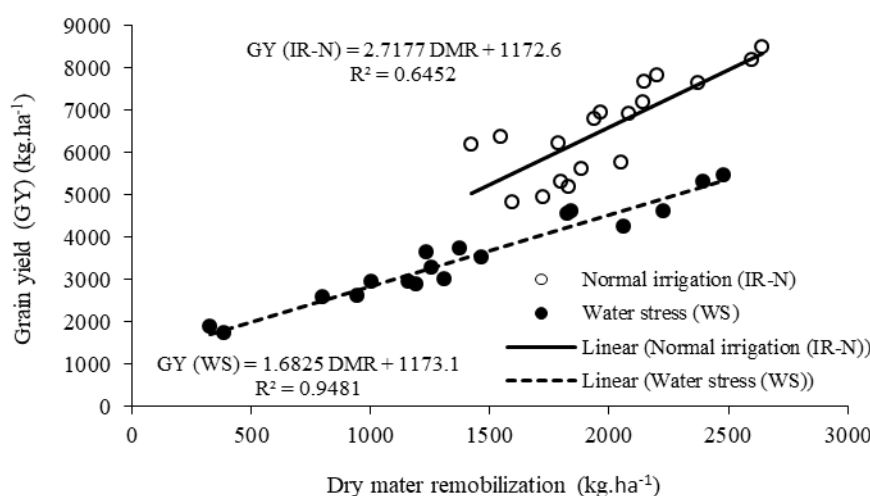
milking assimilate to grain, harvest index and grain yield of alfalfa						
Ir × Cs		عملکرد دانه	انتقال مجدد مواد	کارایی انتقال مجدد	مشارکت مواد پرورده قبل از	شاخص
		Grain yield	پرورده Dry matter remobilization	مواد پرورده Dry matter remobilization efficiency	مرحله شیری در دانه Contribution of pre- milking assimilate to grain	برداشت Harvest index
		(kg.ha ⁻¹)			(%)	
مطلوب Normal	کشت خالص Sole cropping	6092 ^b	*1782.6 ^b	18.81 ^a	29.54 ^c	43.18 ^a
	کشت مخلوط Inter cropping	7045 ^a	2188.4 ^a	20.20 ^a	31.36 ^c	44.62 ^a
کم آبیاری Deficit irrigation	کشت خالص Sole cropping	2723 ^d	983.1 ^c	13.35 ^b	34.51 ^b	29.57 ^c
	کشت مخلوط Inter cropping	4352 ^c	1826.9 ^b	19.33 ^a	41.30 ^a	36.04 ^b

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan multiple range test

روی تریتیکاله نشان داد که در شرایطی که از کود شیمیایی نیتروژن به مقدار بالا (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) استفاده شود، وقوع تنش آبی بعد از مرحله گل‌دهی، با کاهش شدید میزان مواد فتوسنتزی، انتقال مجدد مواد پرورده و در نتیجه، کاهش عملکرد دانه همراه خواهد بود. کاهش کمتر انتقال مجدد مواد پرورده در تیمارهای تلفیقی در مقایسه با تیمار شیمیایی به واسطه تنش آبی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب نیز توسط سایر پژوهشگران روی گیاه جو (Niazi Ardakani et al., 2021) گزارش شده است. برتری کود تلفیقی و زیستی-آلی در شرایط تنش آبی را می‌توان به اثرات تعدیل‌کنندگی تنش آبی در این تیمارها به واسطه حضور باکتری‌های تنظیم‌کننده رشد و مواد آلی اضافه‌شده به خاک از طریق کود حیوانی نسبت داد. سایر پژوهشگران نیز اثرات مثبت باکتری‌های تنظیم‌کننده رشد و مواد آلی در کاهش سطح تنش آبی را (Niazi Ardakani et al., 2021) گزارش کرده‌اند. عملکرد دانه در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی رابطه خطی مثبت و مستقیم (به ترتیب $R^2 = 0.65$ و $R^2 = 0.95$) با انتقال مجدد مواد پرورده نشان داد (شکل ۲). نیازی اردکانی و همکاران (Niazi et al., 2021) در پژوهشی دریافته‌اند که عملکرد دانه جو و انتقال مجدد مواد پرورده صرف نظر از تیمارهای کود نیتروژن، رابطه مستقیمی در شرایط تنش آبی نشان دادند.

برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر انتقال مجدد مواد پرورده معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط کاربرد کود تلفیقی و آبیاری مطلوب (۲۲۷۱/۹ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین مقدار در تیمار کود شیمیایی و در شرایط کم‌آبیاری (۸۵۵/۵ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. کم‌آبیاری به ترتیب در سامانه‌های کود شیمیایی، تلفیقی و زیستی-آلی منجر به کاهش ۵۴/۲، ۱۹/۱ و ۱۶/۰ درصدی شد (جدول ۶) که بیشترین درصد کاهش انتقال مجدد مواد پرورده در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد. کاربرد کود شیمیایی به صورت کامل، رشد اندام‌های رویشی تریتیکاله را نسبت به سایر سامانه‌های کودی افزایش بیشتری می‌دهد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). از آنجاکه افزایش رشد اندام‌های رویشی گیاه به‌ویژه برگ‌ها با میزان تبخیر آب از آن‌ها رابطه مستقیم دارد، در این شرایط افزایش تبخیر آب از سطح گسترش یافته برگ‌ها، رطوبت موجود در خاک را سریع‌تر تخلیه کرده و اثرات منفی تنش آبی روی گیاه بیشتر می‌شود (Barati & Ghadiri, 2016). هر چند تنش‌های ملایم آبی سبب افزایش میزان انتقال مجدد مواد پرورده در غلات می‌شود (Barati & Ghadiri, 2017)، اما محدودیت شدید آب کاهش انتقال مجدد مواد پرورده را به دنبال خواهد داشت (Bijanazadeh & Emam, 2012). در همین راستا، نتایج حاصل از پژوهش براتی و همکاران (Barati et al., 2021)



شکل ۲- رابطه بین عملکرد دانه و انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله

Fig. 2- Relationship between grain yield and dry matter remobilization of triticale

جدول ۶- اثر برهم کنش آبیاری × سامانه کودی بر انتقال مجدد مواد پرورده، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از گل دهی در دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله

Table 6- Effects of Ir × Fs interaction on dry matter remobilization, dry matter remobilization efficiency, contribution of pre-milking assimilate to grain, harvest index and grain yield of triticale

		انتقال مجدد مواد پرورده	کارایی انتقال مجدد مواد پرورده	عملکرد دانه	مشارکت مواد پرورده قبل از مرحله شیری در دانه	شاخص برداشت
		Dry matter remobilization	Dry matter remobilization efficiency	Grain yield	Contribution of pre-milking assimilate to grain	Harvest index
Ir × Fs		(kg.ha ⁻¹)		----- (%) -----		
مطلوب Normal	شیمیایی ^E Chemical	1870.50 ^b	16.81 ^b	6970 ^b	26.68 ^d	43.00 ^a
	تلفیقی ^{EE} Integrated	2271.90 ^a	18.98 ^{ab}	7449 ^a	30.40 ^c	43.48 ^a
	زیستی-آلی [¥] Bio-organic	1814.25 ^b	22.71 ^a	5287 ^c	34.28 ^b	45.23 ^a
کم آبیاری Deficit irrigation	شیمیایی ^E Chemical	855.50 ^d	8.85 ^c	2758 ^f	29.21 ^{cd}	24.23 ^d
	تلفیقی ^{EE} Integrated	1836.05 ^b	18.53 ^b	4190 ^d	43.21 ^a	34.38 ^c
	زیستی-آلی [¥] Bio-organic	1523.60 ^c	21.65 ^{ab}	3663 ^e	41.28 ^a	39.80 ^b

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

^E: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار)، ^{EE}: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و ۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های سودوموناس فلورسنتس و آزوسپیریلوم براسیلنس)، [¥]: کود زیستی-آلی (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار، تلقیح با باکتری‌های سودوموناس فلورسنتس و آزوسپیریلوم براسیلنس).

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan multiple range test.

^E: Chemical (50 kg P ha⁻¹ and 150 kg N ha⁻¹), ^{EE}: Integrated (25 kg P ha⁻¹, 75 kg N ha⁻¹ and 20 tons ha⁻¹ of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), [¥]: Bio-organic (40 tons sheep manure ha⁻¹ + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*).

کارایی انتقال مجدد مواد پرورده

برهم کنش آبیاری × الگوی کاشت در سطح احتمال پنج درصد بر

کارایی انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله معنی‌دار بود (جدول ۳). در

شرایط آبیاری مطلوب، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده در الگوی

کشت خالص (۱۸/۸۱ درصد) و کشت مخلوط (۲۰/۲۰ درصد) تفاوت

معنی‌داری نداشتند. اما در شرایط کم آبیاری، کارایی انتقال مجدد در

مشارکت مواد پرورده انتقال مجدديافته در دانه

برهم‌کنش آبیاری $\times$ الگوی کاشت در سطح احتمال پنج درصد بر مشارکت مواد پرورده تریتیکاله معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین میزان مشارکت مواد پرورده در کشت مخلوط (۳۱/۳۶ درصد) به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با کشت خالص (۲۹/۵۴ درصد) نداشت (جدول ۵). همچنین، در شرایط کم‌آبیاری، بیشترین مشارکت مواد پرورده در تیمار کشت مخلوط (۴۱/۳۰ درصد) به دست آمد که تفاوت معنی‌داری را با کشت خالص (۳۴/۵۱ درصد) نشان داد. بررسی برهم‌کنش از زاویه‌ای دیگر نشان داد که کم‌آبیاری سبب افزایش میزان مشارکت مواد پرورده در هر دو الگوی کشت خالص (۱۶/۸ درصد) و مخلوط (۳۱/۷ درصد) نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد (جدول ۵). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، برخی دیگر از پژوهشگران نیز نشان داده‌اند که الگوی کشت مخلوط سبب کاهش رقابت درون گونه‌ای شده و ملایم شدن سطح تنش آبی انتهای فصل را به دنبال دارد (Mazaheri, 1998). تنش آبی شدید به دلیل تأثیر منفی بر انتقال مواد پرورده در آوند آبکش، سبب کاهش مشارکت آن در دانه می‌شود. در پژوهشی مشابه (Mohavieh Asadi & Bijanzadeh, 2021)، بیشترین درصد مشارکت مواد پرورده جو در تیمار کشت مخلوط با نخود تحت تنش آبی به دست آمد. در این راستا براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2017) بر روی ارقام جو، افزایش مشارکت ماده پرورده در مرحله گل‌دهی را با کاهش شدت تنش آبی مشاهده کردند.

برهم‌کنش آبیاری $\times$ سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر مشارکت مواد پرورده تریتیکاله معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طور کلی، دسترسی بیشتر به نیتروژن که در آزمایش حاضر با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن وجود داشت سبب کاهش میزان مشارکت در هر دو شرایط رطوبتی شد (جدول ۶). در همین راستا، پژوهش‌های انجام‌شده روی گیاه جو در سامانه‌های کودی و سطوح آبیاری مختلف نشان داد که با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، مشارکت مواد پرورده نسبت به عدم استفاده از کود نیتروژن (تیمار زیستی) کاهش می‌یابد (Barati & Ghadiri, 2016). در شرایط کم‌آبیاری، بیشترین مشارکت مواد پرورده در تیمار کود تلفیقی (۴۳/۲۱ درصد) مشاهده شد که با تیمار زیستی-آلی (۴۱/۲۸ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقدار مشارکت مواد پرورده در تیمار زیستی-آلی (۳۴/۲۸)

الگوی کشت مخلوط (۱۹/۳۳ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از الگوی کشت خالص (۱۳/۳۵ درصد) بود (جدول ۵). بررسی بیشتر این برهم‌کنش نشان داد که کم‌آبیاری منجر به کاهش ۲۹/۰ و ۴/۳ درصدی کارایی انتقال مجدد به ترتیب در تیمار کشت خالص و کشت مخلوط شد (جدول ۵). در الگوی کشت مخلوط، به دلیل اینکه وزن خشک اندام‌های رویشی تریتیکاله در زمان شیرگی نسبت به کشت خالص بیشتر بود، کارایی انتقال مجدد نیز تحت شرایط کم‌آبیاری کاهش کمتری پیدا کرد. محابیه اسعدی و بیژن‌زاده (Mohavieh Asadi & Bijanzadeh, 2021) در پژوهشی بر روی کشت مخلوط جو/نخود، بیشترین درصد کارایی انتقال مجدد جو را در شرایط تنش آبی و تیمار کشت مخلوط به دست آوردند.

برهم‌کنش آبیاری $\times$ سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر کارایی انتقال مجدد مواد پرورده معنی‌دار بود (جدول ۳). در آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری، بیشترین کارایی انتقال مجدد مواد پرورده، با کاربرد کود زیستی-آلی (به ترتیب ۲۲/۷۱ و ۲۱/۶۵ درصد) به دست آمد (جدول ۶). در آزمایش حاضر، کم‌آبیاری موجب کاهش میزان کارایی انتقال مجدد در همه تیمارهای کودی شد، اما مقدار کاهش‌ها متفاوت بود. کم‌آبیاری منجر به کاهش ۴/۶، ۲/۳ و ۴۷/۳ درصدی کارایی انتقال مجدد به ترتیب در تیمارهای زیستی-آلی، تلفیقی و شیمیایی شد (جدول ۶). بیشترین درصد کاهش کارایی انتقال مجدد به‌واسطه کم‌آبیاری در تیمار کاربرد کود شیمیایی (۴۷/۳ درصد) مشاهده شد. کمترین کاهش مقدار انتقال مجدد به‌واسطه کم‌آبیاری در تیمار کود تلفیقی (۲/۳ درصد) به دست آمد. براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2017) در پژوهشی روی جو دو ردیفه و شش ردیفه نتیجه گرفتند که با کاربرد سطح بالای کود نیتروژن، کارایی انتقال مجدد مواد پرورده کاهش می‌یابد. همچنین، در راستای نتایج پژوهش حاضر، پژوهش دیگری (Barati et al., 2021) نشان داد که تنش آبی، کارایی انتقال مجدد ماده خشک را در تمام سطوح کاربرد کود نیتروژن کاهش می‌دهد. در این پژوهش نشان داده شد که بیشترین و کمترین کاهش به ترتیب در تیمارهای کود شیمیایی نیتروژن و کود تلفیقی (۵۰ درصد کود شیمیایی + تلقیح با باکتری آروسپیریلوم براسیلنس و سودوموناس فلورسنس + کود حیوانی) مشاهده شد.

اختلاف فاز در رشد دو گیاه سبب تولید سطح برگ بیشتر، استفاده کاراتر از نورخورشید و بنابراین فتوسنتز، زیست توده و در نهایت عملکرد دانه بیشتر تربیتکاله شده است.

همچنین در تأیید این بحث، برخی دیگر از پژوهشگران (Pelzer et al., 2014) نیز اثبات کرده اند که کاهش رقابت درون گونه ای غلات در شرایط کشت مخلوط با حبوبات، در کنار برتری رقابتی غلات نسبت به حبوبات (کمتر بودن رقابت بین گونه ای) سبب افزایش عملکرد غلات در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن شده است. براساس نتایج آزمایش حاضر، اعمال تنش آبی (کم آبیاری) عملکرد دانه تربیتکاله را کاهش داد، اما این کاهش در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط آن بیشتر بود (به ترتیب ۵۵ و ۳۸ درصد) (جدول ۵). این نتیجه به طور عمومی نشان می دهد که در شرایط تنش آبی به دلیل افزایش سطح رقابت در مزرعه بر سر یک محدودیت جدی (کمبود آب) نسبت به شرایط مطلوب، کاهش عملکرد دانه را خواهیم داشت، اما چون در کشت مخلوط تربیتکاله و نخود ریشه های تربیتکاله افشان و سطحی بوده و ریشه های نخود در عمق پروفایل خاک فرو رفته اند (Mazaheri, 1998)، عملاً به دلیل جذب آب از دو عمق متفاوت، سطح رقابت نسبت به کشت خالص کاهش خواهد یافت و این کاهش میزان رقابت سبب کاهش کمتر عملکرد دانه تربیتکاله به واسطه تنش آبی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است.

برهم کنش رژیم آبیاری $\times$ سامانه کودی بر عملکرد دانه تربیتکاله در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تربیتکاله به ترتیب در تیمار - کود تلفیقی (۷۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار) و شیمیایی (۶۹۷۰ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. اما در شرایط کم آبیاری، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تربیتکاله به ترتیب در تیمار کود تلفیقی (۴۱۹۰ کیلوگرم بر هکتار) و زیستی-آلی (۳۶۶۳ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد (جدول ۶). نیازی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) نیز در پژوهشی نتیجه گرفتند که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، بیشترین عملکرد جو در تیمار کود تلفیقی (تلفیح با باکتری *آزوسپیریوم* و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) مشاهده شد. بررسی این برهم کنش از منظر دیگر نشان داد که کم آبیاری منجر به کاهش ۴۳/۷، ۶۰/۴ و ۳۰/۷ درصدی عملکرد دانه تربیتکاله به ترتیب در تیمارهای شیمیایی، تلفیقی و زیستی-آلی نسبت به شرایط

درصد) مشاهده شد که به طور معنی داری بیشتر از تیمارهای تلفیقی و شیمیایی بود. کم آبیاری منجر به افزایش ۲۰/۴، ۴۲/۱ و ۹/۴ درصدی میزان مشارکت مواد پرورده به ترتیب در سامانه های کود زیستی-آلی، تلفیقی و شیمیایی شد (جدول ۶). نیازی اردکانی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) نیز در پژوهشی روی گیاه جو، بیشترین مشارکت مواد پرورده را در تیمار تنش آبی و عدم کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به دست آوردند. همچنین آن ها نتیجه گرفتند که کاربرد باکتری *آزوسپیریوم* به صورت تلفیقی با کود نیتروژن، در کاهش اثرات منفی تنش آبی موفق بوده و منجر به افزایش مشارکت مواد پرورده شده است. در آزمایش حاضر، کمترین میزان افزایش مشارکت مواد پرورده به واسطه تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی در سامانه کود شیمیایی (۹/۴ درصد) مشاهده شد. می توان گفت که کاربرد کود شیمیایی در شرایط تنش آبی منجر به افزایش شدت تنش آبی و در نتیجه، کاهش انتقال مجدد و مشارکت ماده پرورده می شود.

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، برهم کنش رژیم آبیاری $\times$ الگوی کاشت بر عملکرد دانه تربیتکاله در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. کم آبیاری سبب کاهش ۵۵/۳ و ۳۸/۲ درصدی عملکرد دانه تربیتکاله به ترتیب در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط شد (جدول ۵). در تیمار آبیاری مطلوب، عملکرد دانه تربیتکاله در کشت مخلوط (۷۰۴۵ کیلوگرم بر هکتار) به طور معنی دار و به میزان ۱۵/۶ درصد بیشتر از کشت آن به صورت خالص (۶۰۹۲ کیلوگرم بر هکتار) بود. در شرایط کم آبیاری نیز الگویی مشابه با شرایط آبیاری مطلوب برای تربیتکاله وجود داشت و بیشترین عملکرد دانه تربیتکاله در تیمار کشت مخلوط (۴۳۵۲ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که به طور معنی داری و به میزان ۵۹/۸ درصد بیشتر از کشت خالص تربیتکاله (۲۷۲۳ کیلوگرم بر هکتار) بود (جدول ۵).

با توجه به اینکه در هر دو شرایط آبیاری (مطلوب و تنش)، عملکرد تربیتکاله در تیمار کشت مخلوط به طور معنی داری بیشتر از کشت خالص بوده است، به نظر می رسد که این امر به دلیل جوانه زنی سریع تر تربیتکاله نسبت به نخود بوده که سبب برتری رقابتی در مراحل ابتدایی زندگی تربیتکاله نسبت به نخود و غالبیت این گیاه در سایر مراحل زندگی آن ها شده است. در این شرایط، تربیتکاله در استفاده از آب و عناصر غذایی خاک، از نخود پیشی گرفته و این

مطلوب رطوبتی شد (جدول ۶). با توجه به کاهش کمتر عملکرد دانه به‌واسطه کم‌آبیاری در تیمار زیستی-آلی نسبت به آبیاری مطلوب (۳۰/۷ درصد)، می‌توان نتیجه گرفت که حضور باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد در تیمار زیستی-آلی سبب تحریک رشد ریشه‌ها و بنابراین، جذب بیشتر آب در شرایط تنش آبی و کاهش پيامدهای تنش آبی از جمله محدودیت عملکرد دانه شده است. از طرفی، وجود کود دامی در تیمار زیستی-آلی به‌واسطه ایجاد تخلخل بیشتر و در نتیجه، ایجاد شرایط هوازی برای فعالیت این باکتری‌ها و همچنین به‌عنوان منبع کربوهیدرات برای تغذیه آن‌ها سبب افزایش اثرات مثبت باکتری‌ها در رشد ریشه‌ها شده است. علاوه بر این، کود دامی به‌عنوان ماده آلی سبب افزایش پتانسیل ماتریک و بنابراین، افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک شده و اثرات تنش آبی را برای گیاه و باکتری‌ها کاهش داده است (Singh et al., 2011).

در مقابل، بیشترین کاهش عملکرد دانه به‌واسطه کم‌آبیاری، در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد (جدول ۶). کاهش بیشتر عملکرد دانه تحت تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب در تیمار کود شیمیایی را می‌توان به پدیده "Haying-off" نسبت داد (Van Herwaarden, 1996). چنین به نظر می‌رسد که در شرایطی که از کود شیمیایی به‌مقدار زیادی استفاده شود، به‌دلیل تولید بیشتر زیست‌توده و افزایش سطح برگ، میزان تعرق از سطح برگ افزایش یافته و نیم‌رخ خاک سریع‌تر از رطوبت تخلیه می‌شود، و گیاه در انتهای فصل با تنش آبی شدیدتری مواجه می‌شود. در نتیجه، فتوسنتز کاهش یافته و به‌دنبال آن عملکرد دانه نیز کاهش می‌یابد (Barati & Ghadiri, 2016). برخی دیگر از آزمایشات در مورد تربیتکاله (Barati & Bijanzadeh, 2020) و جو (Niazi Ardakani et al., 2020) نیز یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند.

شاخص برداشت

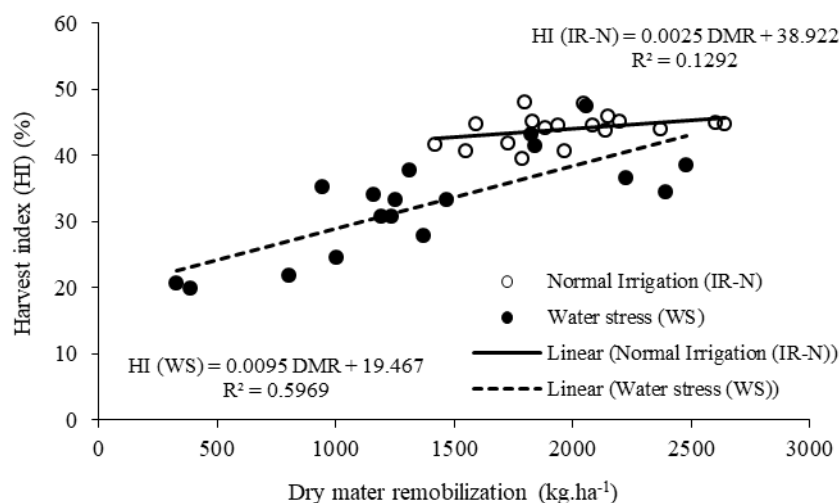
شاخص برداشت در شرایط مطلوب رطوبتی و کم‌آبیاری (تنش آبی) رابطه خطی مثبت و مستقیم (به‌ترتیب $R^2 = 0.13$ و $R^2 = 0.60$) با انتقال مجدد مواد پرورده نشان داد (شکل ۳). برهم‌کنش آبیاری $\times$ الگوی کاشت بر شاخص برداشت تربیتکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت تربیتکاله (۴۴/۶ درصد) در شرایط آبیاری مطلوب و کشت مخلوط به

دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کشت خالص تربیتکاله (۴۳/۱ درصد) نداشت. کمترین میزان شاخص برداشت نیز در تیمار کشت خالص تربیتکاله تحت شرایط کم‌آبیاری (۲۹/۵ درصد) به دست آمد (جدول ۵). کم‌آبیاری، شاخص برداشت تربیتکاله را در هر دو الگوی کاشت تغییر داد، اما این کاهش متفاوت بود. بیشترین شاخص برداشت در تیمار کشت خالص (۳۱/۵ درصد) و کمترین میزان کاهش در تیمار کشت مخلوط (۱۹/۲ درصد) مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی روی کشت مخلوط نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) با بقولات نشان داد که بیشترین شاخص برداشت نیشکر در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی و کمترین میزان شاخص برداشت آن، در کشت خالص نیشکر به دست آمد (Ehsani Pour et al., 2020).

برهم‌کنش آبیاری $\times$ سامانه کودی بر شاخص برداشت تربیتکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت تربیتکاله، تحت آبیاری مطلوب و تیمار کود زیستی به‌میزان ۴۵/۲ درصد به دست آمد. کمترین مقدار آن نیز در شرایط کم‌آبیاری و کاربرد کود شیمیایی به‌مقدار ۲۸/۱ درصد مشاهده شد (جدول ۶). برخی از پژوهشگران (Bahari Saravi & Pirdashti, 2013)، بیشترین شاخص برداشت را در مطالعه‌ای بر روی گندم و با کاربرد کود زیستی نیتروکسین و برخی دیگر از پژوهشگران (Nasiri et al., 2019) با کاربرد کود تلفیقی (شیمیایی + زیستی) در این گیاه به دست آوردند. کم‌آبیاری شاخص برداشت را در تیمارهای کودی زیستی-آلی، تلفیقی و شیمیایی به‌ترتیب به‌مقدار ۱۶/۳، ۲۰/۹ و ۳۴/۶ درصد نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2016) در شرایط تنش آبی و دسترسی بالا به کود نیتروژن، شاخص برداشت جو نسبت به آبیاری مطلوب کاهش بیشتری را نسبت به سایر مقادیر نیتروژن، نشان داد. نتایج پژوهشی روی گیاه جو زمستانه نشان داد که کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن، پنجه‌زنی جو را افزایش می‌دهد، اما این پنجه‌ها تعداد دانه کمتری نسبت به ساقه اصلی تولید می‌کنند که این موضوع در نهایت، باعث کاهش در شاخص برداشت جو می‌شود (Sieling et al., 1998). در این مورد، ون هرواردن (Van Herwaarden, 1996) استفاده از ارقامی که پنجه زنی کمتری دارند را پیشنهاد کرده است. دسترسی زیاد به نیتروژن منجر به رشد سریع و تولید زیاد زیست‌توده غلات می‌شود و در صورتی که غلات با تنش آبی پس از گل‌دهی مواجه شوند، در معرض خطر "Haying-off" قرار

شاخص برداشت خواهد شد (Van Herwaarden et al. 1998).

می‌گیرند که در این شرایط پرشدن دانه غلات به‌صورت ناقص در شرایط کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن و وقوع تنش آبی سبب افت



شکل ۳- رابطه بین شاخص برداشت و انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله
Fig. 3- Relationship between harvest index and dry matter remobilization of triticale

نتیجه‌گیری

درصد) و همچنین در مورد کارایی انتقال مجدد با کاربرد کود تلفیقی (۲/۳ درصد) به دست آمد. کم‌آبیاری باعث افزایش میزان مشارکت مواد پرورده تریتیکاله در همه تیمارها شد، که بیشترین افزایش در تیمار الگوی کشت مخلوط (۴۱/۳ درصد) و در بین سامانه‌های کودی، با کاربرد کود تلفیقی (۴۲/۱ درصد) به دست آمد. بنابراین، کاربرد سامانه‌های کود زیستی-آلی و تلفیقی در شرایط کم‌آبیاری انتهای فصل برای مناطق جنوبی ایران با آب و هوای گرم و خشک پیشنهاد می‌شود.

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که کم‌آبیاری (تنش آبی)، عملکرد دانه را در همه تیمارهای کودی کاهش داد، اما کمترین درصد کاهش عملکرد دانه تریتیکاله، با کاربرد کود زیستی-آلی (۳۰/۷ درصد) به دست آمد. کم‌آبیاری، انتقال مجدد مواد پرورده و کارایی انتقال مجدد تریتیکاله را نیز کاهش داد، که کمترین میزان کاهش به‌ترتیب (۱۶/۵ و ۴/۳ درصد) در الگوی کشت مخلوط مشاهده شد. همچنین کمترین میزان کاهش انتقال مجدد تریتیکاله در شرایط کم‌آبیاری نسبت به آبیاری مطلوب با کاربرد کود زیستی-آلی (۱۶/۰

References

- Ahmadi, A., Siosemardeh, A., & Zali, A.A. (2004). Comparison of storage capacity and transfer of photosynthetic materials and their contribution to yield in four wheat cultivars under optimal irrigation conditions and drought stress. *Agricultural Science of Iran*, 35(4), 921-931. (In Persian with English abstract).
- Arseniuk, E. (2015). Triticale abiotic stresses—An overview. *Triticale*, p. 69-81.
- Bahari Saravi, S.H., & Pirdashti, H.A. (2013). Evaluation of application of plant growth promoting bacteria (PGPR) and phosphate solvent (PSM) on yield and yield components of wheat (cultivar N80) at different levels of nitrogen and phosphorus in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(4), 681-689. (In Persian with English abstract).
- Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). Grain yield and its components of triticale as affected by silicon foliar application, nitrogen fertilizer and water stress in reproductive phase. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(4), 435-449. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2020.88386>

5. Barati, V., & Ghadiri, H. (2016). Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and grain protein content of two barley cultivars. *Journal of Crop Production and Process*, 6(20), 191-207. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.191>
6. Barati, V., & Ghadiri, H. (2017). Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and two-rowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(6), 841-855. <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1238075>
7. Barati, V., Bijanzadeh, E., & Zinati, Z. (2020). Nitrogen source and deficit irrigation influence on yield and nitrogen translocation of triticale in an arid mediterranean agroecosystem. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(5), 1295-1311. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2020.22.5.13.7>
8. Barker, A.V. (2021). *Science and Technology of Organic Farming*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
9. Bhattacharyya, P.N., & Jha, D.K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-011-0979-9#citeas>
10. Bijanzadeh, E., & Emam, Y. (2012). Evaluation of assimilate remobilization and yield of wheat cultivars under different irrigation regimes in an arid climate. *Archive of Agronomy and Soil Science*, 58(11), 1243-1259. <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.584215>
11. Bijanzadeh, E., Barati, V., Emam, Y., & Pessarakli, M. (2019). Sowing date effects on dry matter remobilization and yield of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) under late season drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 42(7), 681-695. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1568463>
12. Biswas, S., Jana, K., Khan, R., Agrawal, R.K., & Puste, A.M. (2019). Periodic dry matter accumulation and crop growth rate of oat and *Lathyrus* as influenced by integrated nutrient management in intercropping systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 8(8), 2675-2686. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.808.310>
13. Ehsani Pour, A., Abbasdokht, H., Gholipour, M., & Abdali Mashhadi, A. (2020). Effect of biofertilizers on crop yield in intercropping of sugarcane and legumes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), 85-99. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.283922.654619>
14. Figueiredo, M.V.B., Burity, H.A., Martinez, C.R., & Chanway, C.P. (2008). Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. *Applied Soil Ecology*, 40(1), 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.04.005>
15. Forsatian, S.A., Majnoun Hosseini, N., Hosseini, S.M.B., & Mohammadi, V.A. (2010). A study of the effect of sorghum intercropping with cowpea and soybean on yield of fodder sorghum. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 3(40), 143-150. (In Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1388.40.3.14.0>
16. Mazaheri, D. (1998). *Intercropping*. Tehran University Publications, Tehran, Iran.
17. Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., & Behpour, A. (2019). Evaluation of seed yield and competitive indices in relay intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under late season water stress. *Journal of Agroecology*, 11(3), 1169-1182. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.79532>
18. Mohavieh Assadi, N., & Bijanzadeh, E. (2021). Evaluation of biochemical traits and dry matter remobilization of barley (*hordeum vulgare* l.) in relay intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under deficit water stress conditions. *Journal of Crop Production and Process*, 11(2), 65-78. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.11.2.32412>
19. Movludi, A., Ebadi, A., & Davari, M. (2015). Effect of nitrogen application on dry matter and nitrogen remobilization of spring barley under water deficit conditions. *Journal of Crop Production*, 7(4), 123-142. (In Persian with English abstract).
20. Nasiri, Y., Musavi Zadeh, S.A., & Asadi, M. (2019). Effect of application of livestock, biological and chemical fertilizers on yield, yield components and some morphological characteristics of wheat. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(1), 313-328. (In Persian with English abstract).
21. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). The effect of application of nitrogen fixation bacteria and plant residues on dry matter remobilization and yield of barley under water stress after anthesis. *Environmental Stresses in Crop Science*, 14(1), 47-62. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2500.1656>

22. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2021). Uptake and nitrogen remobilization of barley under deficit irrigation in presence of plant residue and *Azospirillum* bacteria. *Journal of Plant Production Research*, 28(1), 45-64. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2020.17071.2566>
23. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2020). Effects of different nitrogen fertilizer sources and crop residues on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season water stress. *Journal of Agroecology*, 14(1), 41-62. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v12i1.79989>
24. Papakosta, D.K., & Gagianas, A.A. (1991). Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, 83(5), 864-870. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050018x>
25. Pelzer, E., Hombert, N., Jeuffroy, M.H., & Makowski, D. (2014). Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal-legume intercrop production. *Agronomy Journal*, 106(5), 1775-1786. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0590>
26. Rashidipour, I., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2023). Evaluation of competitive indices and grain yield of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) – chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping as affected by bio-organic fertilizer and water stress. *Journal of Agroecology*, 15(2), 403-425. <https://doi.org/10.22067/agry.2022.76290.1107>
27. Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S.C. (2021). Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 49-68. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-020-00342-7#citeas>
28. Risse, L.M., Cabrera, M.L., Franzluebbers, A.J., Gaskin, J.W., Gilley, J.E., Killorn, R., Radcliffe, D.E., Tollner, W.E., & Zhang, H. (2006). Land application of manure for beneficial reuse. *Biology Systems Engineering*, pp. 283-316. <https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/65>
29. Sieling, K., Schroder, H., Finck, M., & Hanus, H. (1998). Yield, N uptake and apparent N use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. *Journal of Agricultural Science*, 13, 375-387. <https://doi.org/10.1017/S0021859698005838>
30. Singh, J.S., Pandey, V.C., & Singh, D.P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 140(3-4), 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
31. Van Herwaarden, A.F. (1996). Haying-off in wheat, enduring myth or current problem. In Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference. CSIRO. ASA, Australia.
32. Van Herwaarden, A.F., Farquhar, G.D., Angus, J.F., Richards, R.A., & Howe, G.N. (1998). Haying-off, the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, 1067-1081. <https://doi.org/10.1071/A97039>
33. Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & SkZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiology Research*, 184, 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>
34. Zadoks, J.C., Chang, T.T., & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

The Effect of Chelated Iron and Humic Acid on Agronomic and physiological Traits of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars under Rainfed Conditions

Aydin Tobeh¹, Salim Farzaneh^{1*}, Ahmad Tobeh¹ and Saber Seifamiri²

1- Ph.D. Graduate, Associate Professor, Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, respectively.

2- Instructor, Agricultural Research Center of Ardabil, Ardabil, Iran

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

Received: 16-11-2024
Revised: 30-03-2025
Accepted: 05-04-2025
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:

Tobeh, A., Farzaneh, S., Tobeh, A., & Seifamiri, S. (2025). The effect of chelated iron and humic acid on agronomic and physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under rainfed conditions. *Journal of Agroecology*, 17(2), 323-339. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.90796.1219>

Introduction

Safflower, scientifically known as *Carthamus tinctorius* L., is an annual plant belonging to the Asteraceae family. Today, with the development of high-yield varieties that produce substantial quantities of high-quality oil, safflower is recognized as one of the world's important oilseed crops. Given its strong resistance to salinity and ability to grow under rain-fed conditions, it is considered a drought-tolerant plant—an attribute that significantly enhances its value. Additionally, humic acid, as an organic compound, poses minimal harm to the environment. Additionally, through its hormone-like activity, it has many positive effects on various traits, including performance characteristics. The presence of micronutrients, especially Fe, enhances the plant's resistance to various biotic and abiotic stresses.

Materials and Methods

This study was conducted at the Ardabil Agricultural Research Center to evaluate the effect of two types of fertilizers (iron fertilizer and humic acid) on the yield and phenological traits of two safflower cultivars. This experiment was conducted as a split-plot design based on a completely randomized block design with three replications. The main factor included two safflower varieties named "Chini" and "Goldasht," while the sub-factor consisted of nine fertilizer levels. These fertilizer levels included one control level, two levels of 95% humic acid (two milligrams per liter and four milligrams per liter), two levels of 12% EDTA chelated iron (one milligram per liter and two milligrams per liter), and four combined levels of iron and humic acid fertilizers.

Results and Discussion



©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.90796.1219>

The results revealed a significant difference in performance traits between the two varieties, Chini and Goldasht. Observations showed that the Goldasht variety produced a significantly higher seed yield of 1,462.5 kg per hectare, compared to 1,403.3 kg per hectare for the Chini variety. Additionally, the second level of iron + second level of humic acid treatment showed significantly the highest yield, resulting in a 49% increase in seed yield compared to the control. Overall, the combined use of these two fertilizers is recommended. The Goldasht variety requires a shorter time for flowering and maturity compared to the Chini variety and matures earlier while also having a higher yield, making it preferable in this regard. For the traits of plant height and antioxidant activity, there is no significant difference among the cultivars. However, among the fertilizer levels, the second level of humic acid resulted in a height of 68.3 cm, and for antioxidant activity, the combination of the second level of humic acid and the second level of iron exhibited the highest activity at 84.5%. Overall, among the cultivars, 'Goldasht' and among the fertilizer levels, the treatment combining the second levels of iron and humic acid had the highest biological yield, the highest harvest index, oilseed yield, and seed yield. Humic acid, due to its nitrogen-like effects and its richness in organic materials, leads to increased seed filling and higher thousand-grain weight. On the other hand, the application of iron helps to cleanse reactive oxygen species and improves the plant's sink performance, providing more seeds for filling.

Conclusion

The studies indicated that the Goldasht variety matures earlier and yields more than the Chini variety. Due to its longer growth period, the Chini variety is more susceptible to late-season challenges such as heat stress, pests, and bird damage, which can negatively affect yield. Therefore, the cultivation of the Goldasht variety is preferable in this context. In terms of physiological traits, the application of iron and humic acid fertilizers was found to enhance the stability and resilience of both varieties. The interaction between humic acid and iron proved beneficial for safflower health, promoting greater nutrient uptake, improved growth parameters, increased seed yield, and enhanced stress tolerance.

Keywords: Antioxidant activity, Chinese cultivar, Goldasht cultivar, Grain yield, Micronutrients, Oil yield

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۳۲۳-۳۳۹

تأثیر کلات آهن و اسید هیومیک بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط دیم

آیدین توبه^۱، سلیم فرزانه^{۱*}، احمد توبه^۱ و صابر سیف امیری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

چکیده

به منظور ارزیابی نحوه تأثیر دو نوع کود (آهن و اسید هیومیک) بر روی صفات عملکردی و فنولوژیک دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل انجام گرفت. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی ارقام گلرنگ (گلدشت و چینی (XYS)) بودند. عامل فرعی یعنی کود دارای نه سطح بود. سطوح کودی شامل سطح شاهد، دو میلی گرم در لیتر و چهار میلی گرم در لیتر اسید هیومیک ۹۵ درصد، دو سطح کود کلات آهن ۱۲ درصد EDTA (یک میلی گرم در لیتر و دو میلی گرم در لیتر) و چهار سطح متقابل کودهای آهن و اسید هیومیک بودند. نتایج حاصل از این پژوهش تفاوت معنی دار در صفات عملکردی را در دو رقم چینی و گلدشت نشان داد. براساس مشاهدات، رقم گلدشت با عملکرد دانه ۱۴۶۲/۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به رقم چینی به طور معنی داری برتری داشت. همچنین تیمار کودی تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک به طور معنی داری بیشترین عملکرد را ایجاد کرد که باعث افزایش ۴۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. بین ارقام از نظر ارتفاع بوته و فعالیت آنتی اکسیدانی اختلاف معنی داری وجود نداشت، اما در بین سطوح کودی، برای ارتفاع سطح دوم اسید هیومیک با ۶۸/۳ سانتی متر و برای فعالیت آنتی اکسیدانی تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۸۴/۵ درصد فعالیت بیشترین میزان را داشتند. در مجموع در بین ارقام، رقم گلدشت و در بین سطوح کودی تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + تیمار چهار میلی گرم در لیتر هیومیک، بیشترین عملکرد بیولوژیک، بیشترین شاخص برداشت، بیشترین عملکرد روغن دانه و بیشترین عملکرد دانه را داشتند.

واژه‌های کلیدی: رقم چینی، رقم گلدشت، ریز مغذی‌ها، عملکرد دانه، عملکرد روغن، فعالیت آنتی اکسیدانی

مقدمه

خواص دارویی و کاربردهای مختلف در صنایع غذایی و رنگرزی شهرت دارد و به عنوان "زعفران قلبی" نیز شناخته می‌شود. در گذشته، گلرنگ برای استخراج ماده قرمز رنگ کارتامین موجود در گلبرگ آن که در صنایع رنگرزی کاربرد داشته است، کشت می‌شد. امروزه با توجه به اصلاح ارقام پرمحصول دارای روغن با کیفیت و کمیت قابل توجه، این گیاه به عنوان یکی از گیاهان روغنی در جهان مطرح است (Fanaei et al., 2017). طبق آخرین داده‌های سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد سطح زیر کشت گلرنگ در ایران حدود ۶۰ هزار هکتار است (FAO, 2023). در شرایط دیم، میانگین عملکرد دانه گلرنگ معمولاً بین ۰/۵ تا ۱/۵ تن در هکتار متغیر است.

گیاه گلرنگ، با نام علمی *Carthamus tinctorius* L.، یک گیاه یک‌ساله و از خانواده کاسنیان^۳ است که بومی مناطق مشرق زمین می‌باشد (Emongor & Emongor, 2023). این گیاه به دلیل داشتن

۱- به ترتیب دانشجوی دکترا، دانشیار و استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی،

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، اردبیل، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: salimfarzaneh@yahoo.com)

<https://doi.org/0.22067/AGRY.90796.1219>

3- Asteraceae

این مقدار به‌شدت به میزان بارندگی و توزیع آن در طول فصل رشد بستگی دارد. در شرایط آبی، میانگین عملکرد دانه گلرنگ معمولاً بین یک تا سه تن در هکتار است (Koutroubas et al., 2019).

یکی از علل مهم محدودیت اراضی برای زراعت و کاهش سطح زیر کشت، شوری خاک و همچنین تنش خشکی می‌باشد. اما با توجه به اینکه گلرنگ دارای مقاومت خوبی در برابر شوری است و همچنین در شرایط دیم نیز می‌توان آن را کشت کرد و از گیاهان مقاوم در برابر کمبود رطوبت نیز محسوب می‌شود، از این لحاظ نیز دارای ارزش دوچندان است (Mousavifar & Behdani, 2018). کشور ایران به دلیل حضور در شرایط خاص اقلیمی از جمله کشرهایی است که در کمربند خشکی دنیا واقع شده است و اقلیم غالب آن مناطق خشک و نیمه‌خشک است. بنابراین، کشت گیاهان سازگار با این شرایط از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین با توجه به نیاز روزافزون کشور به روغن‌های خوراکی که در حال حاضر قسمت اعظم آن از خارج از کشور تأمین می‌گردد، کشت دانه‌های روغنی مانند گلرنگ اهمیت زیادی دارد (Naghavi et al., 2021). همچنین مطالعه آثار کودهای ریزمغذی مثل آهن از اهمیت زیادی برخوردار است. این کودها به‌میزان کمی مصرف می‌شوند، مقرون به‌صرفه هستند و آثار تخریبی کمتری روی محیط نسبت به کودهای شیمیایی مانند نیتروژن دارند. همچنین دارای آثار بسیار مطلوبی روی گیاه از نظر مقاومت در برابر تنش‌های محیطی هستند (Kamaraki & Galavi, 2012). آهن به‌عنوان یک عنصر کلیدی در سنتز کلروفیل عمل می‌کند. بدون وجود آهن کافی، گیاهان قادر به تولید کلروفیل نخواهند بود که این امر منجر به زرد شدن برگ‌ها (کلروز) و کاهش سبزیگی گیاه می‌شود

(Gassemi Golezani et al., 2022) در مطالعه‌ای تأثیر مثبت کود آهن بر روی پروتئین محلول برگ و پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ مشاهده شد (Heshmati et al., 2021). در پژوهشی، محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن گلرنگ شد (Zandi et al., 2021). اسید هیومیک به‌عنوان یک ترکیب آلی، کمترین آسیب را به محیط زیست وارد می‌کند. اسید هیومیک با عملکرد شبه‌هورمونی خود تأثیرهای مثبت و مفید زیادی را بر روی صفات مختلف از جمله صفات عملکردی گیاهان از جمله گیاهان روغنی مانند آفتابگردان (Helianthus annuus) و گلرنگ دارد (Veysi et al., 2016). وجود

عناصر ریزمغذی به‌ویژه آهن موجب افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی می‌گردد. جذب عناصر ریزمغذی به‌وسیله گیاهان ممکن است اصلاً انجام نگیرد و یا در صورت جذب به دلیل pH بالای شیره سلولی، به‌صورت مفید مورد استفاده بخش‌های مهم گیاه قرار نگیرد (Gui et al., 2022). همچنین آنزیم‌های دارای آهن در بیوسنتز جیبرلین‌ها، اتیلن و اسید جاسمونیک نقش دارند. سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند که فعالیت آن‌ها در صورت کمبود آهن با اختلال روبه‌رو می‌شوند (Bagheri et al., 2022). آهن به گیاهان کمک می‌کند تا در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و آلودگی مقاوم‌تر باشند (Mir et al., 2017). این موضوع می‌تواند در افزایش بقا گیاه در شرایط سخت بسیار مؤثر باشد (Pasban Eslam et al., 2021). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کودهای ریزمغذی و اسید هیومیک بر عملکرد و صفات کیفی و بیوشیمیایی دو رقم گلرنگ در منطقه اردبیل بود. همچنین در این پژوهش به مقایسه دو رقم برتر گلرنگ پرداخته شده است که کدام یک از نظر کیفی و کمی خصوصاً برای کشت در منطقه اردبیل مناسب‌تر خواهند بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌منظور بررسی اثرات اسید هیومیک و کود آهن بر خصوصیات فنولوژیکی، عملکرد و اجزای آن، درصد و عملکرد روغن و پروتئین دو رقم برتر گلرنگ در مزرعه ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل واقع در ۱۲ کیلومتری شرق اردبیل اجرا شد. این منطقه در شمال غربی کشور، بین مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی و همچنین ارتفاع حدود ۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه دارای شرایط آب‌وهوایی نیمه خشک و سرد می‌باشد. مجموع بارندگی سالانه در این منطقه در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد و بارندگی‌ها عمدتاً در فصول پاییز و بهار رخ می‌دهند. این پژوهش به‌صورت کشت دیم و کاملاً وابسته به بارندگی بود و میزان بارندگی منطقه در سال زراعی مربوطه ۲۳۸ میلی‌متر بود. کاشت در تاریخ ۲۸ آبان ماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. کلیه بذرها پیش از کاشت با قارچ‌کش بنومیل با نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت هر یک از ارقام در شش ردیف صورت گرفت. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس، ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفات و ۵۰

بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شده بود. محلول‌پاشی با کودهای آهن و اسیدهیومیک دو بار در مرحله رشد رویشی گیاه اعمال گردید. زمان محلول‌پاشی سطوح کود آهن به‌ترتیب ۱۸۳ و ۱۹۷ روز بعد از کاشت بود و زمان محلول‌پاشی کود اسید هیومیک ۱۸۵ و ۱۹۹ روز بعد از کاشت بود که در مرحله حداکثر رشد رویشی گیاه بودند. اطلاعات هواشناسی محل انجام پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

نحوه اندازه‌گیری صفات

زمان رسیدگی فیزیولوژیکی

برای مشخص کردن دقیق این مرحله از زمان سفت شدن دانه‌ها، با فواصل سه روزه اقدام به نمونه‌برداری از دانه‌ها و خشک کردن آن‌ها و اندازه‌گیری وزن آن‌ها تا زمانی که وزن خشک نمونه‌های تیماری ثابت شد به‌عنوان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی در نظر گرفته شد.

کیلوگرم کود اوره با خاک مخلوط گردید. پس از آن با لولر اقدام به تسطیح زمین گردید.

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل دو رقم گلرنگ به‌نام‌های چینی و گلدشت و عامل فرعی شامل سه سطح کودی بود. این سطوح کودی شامل یک سطح شاهد، دو سطح اسید هیومیک ۹۵ درصد (دو میلی‌گرم در لیتر و چهار میلی‌گرم در لیتر)، دو سطح کود کلات آهن ۱۲ درصد EDTA (یک میلی‌گرم در لیتر و دو میلی‌گرم در لیتر) و چهار سطح متقابل کودهای آهن و اسید هیومیک بود که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته خواهد شد. هر یک از کرت‌ها شامل شش ردیف کشت بود که در واقع، خطوط کناری به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کشت ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده بود. همچنین فاصله بین بوته‌ها در یک ردیف پنج سانتی‌متر بود. در مجموع، مساحت هر کرت ۵/۴ مترمربع (۳/۶ × ۱/۵) بود. فاصله بین کرت‌ها در داخل بلوک ۴۰ سانتی‌متر و فاصله

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل انجام پژوهش

Table 1- Meteorological information of the research site

ماه	بیشینه دما	کمینه دما	میزان بارندگی
Month	T Maximum (°C)	T Minimum (°C)	Precipitation (mm)
مهر October	18	5	28
آبان November	12	0	35
آذر December	6	-5	38
دی January	2	-10	32
بهمن February	3	-12	33
اسفند March	8	-7	25
فروردین April	13	-2	20
اردیبهشت May	18	3	15
خرداد June	23	7	7
تیر July	28	12	5
مرداد August	27	12	3
شهریور September	22	7	7

جدول ۲- بررسی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه

Table 2- Examination of the chemical properties of the farm soil

هدایت الکتریکی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	شن	سیلت	رس	بافت
EC	N	P	K	Fe	Sand	Silt	Clay	Texture
(dS.m ⁻¹)	(%)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	
1.0	0.08	14	350	4.2	32	29	39	لوم رسی Clay loam

شاخص سطح برگ

این صفت برای بررسی و مطالعه نسبت سطح سبز به‌منظور تولید محصولات فتوسنتزی مورد محاسبه قرار می‌گیرد. برای محاسبه این صفت در هر یک از کرت‌ها از دستگاه Leaf area meter دستی CI202 شرکت CID آمریکا استفاده شد. در هر کرت شش بوته به‌طور تصادفی انتخاب و از برگ‌های بالای بوته به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ استفاده شد. واحد اندازه‌گیری این صفت مترمربع برگ بر مترمربع زمین می‌باشد. اندازه‌گیری این صفت در زمان حداکثر رشد رویشی گیاه انجام شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH^۱)

به‌منظور تهیه عصاره برای بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ۰/۸ گرم از بافت گیاهی توسط ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به‌مدت سه ساعت در حمام آب داغ (بن‌ماری) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد عصاره‌گیری گردید. واکنش در یک میلی‌لیتر متانول حاوی ۲و۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل هیدرات (DPPH) (غلظت ۴۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) و ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی انجام گردید. حجم نهایی محلول توسط متانول خالص به چهار میلی‌لیتر رسید. محلول‌های حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. نمونه شاهد (BLANCK) دارای سه میلی‌لیتر متانول و یک میلی‌لیتر رادیکال DPPH متانولی بود. رادیکال DPPH به رنگ بنفش است و پس از واکنش با آنتی‌اکسیدان‌ها احیاء می‌شود و به رنگ زرد در می‌آید. فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با استفاده از معادله ۱ تعیین شد:

$$100 \times F = (A_{\text{CONTROL}} - A_{\text{SAMPLE}} / A_{\text{CONTROL}}) \quad (۱)$$

که در آن، A_{CONTROL} : میزان جذب شاهد و A_{SAMPLE} : میزان

جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر می‌باشد (celus et al., 2018).

عملکرد و اجزای آن

با تعیین و شمارش تعداد دانه‌ها در واحد سطح (دو ردیف میانی کرت) و تقسیم آن بر تعداد طبق‌ها در همان واحد سطح، میانگین تعداد دانه‌های هر طبق برای هر کرت به دست آمد. ردیف‌های میانی کرت یعنی ردیف‌های سوم و چهارم از بین شش ردیف کرت برای برآورد و بررسی عملکرد دانه انتخاب شدند. در واقع، مساحت ۱/۸ مترمربع از هر کرت به‌عنوان سطح معیار برای آن کرت در نظر گرفته شده و برداشت از آن سطح انجام گرفت. سطحی که این ردیف‌ها اشغال کرده بودند به هکتار تعمیم داده شد و میزان عملکرد کل دانه در هکتار برآورد شد. برای تعیین وزن هزاردانه، پس از برداشت محصول، نمونه‌هایی از هر کرت به‌طور تصادفی و با استفاده از دستگاه بذرشمار، شمارش و پس از آن وزن هزاردانه نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم تعیین گردید. عملکرد کل دانه کرت‌ها با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای پس از جدا کردن و تمیز کردن دانه‌ها توزین و عملکرد دانه‌ها برحسب کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

درصد و عملکرد روغن دانه

به این منظور، بعد از انتقال نمونه‌های هر کرت به آزمایشگاه با استفاده از حلال روغن (ان-هگزان^۲) و با کاربرد دستگاه سوکسله (ساخت شرکت electrothermal انگلستان) درصد روغن محاسبه شد. این دستگاه بر پایه استخراج از درون ماده جامد با مایع (حلال) استوار است. بعد از به‌دست آوردن درصد روغن دانه، عملکرد روغن از طریق معادله ۲ محاسبه شد.

2- N-hexane

1- Diphenyl-1- picrylhydrazyl

معادله (۲) درصد روغن دانه‌ها $\times$ عملکرد دانه در هکتار = عملکرد روغن در هکتار

عملکرد بیولوژیک

در انتهای مرحله رسیدگی، نمونه‌های بوته برداشت‌شده از کرت‌های آزمایشی به مدت ۴۸ ساعت داخل آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. پس از خشک شدن، وزن آن‌ها توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی ثبت و یادداشت شد. حاصل جمع وزن خشک تمامی اندام‌های هوایی گیاه با مقیاس کیلوگرم بر هکتار به عنوان شاخص عملکرد بیولوژیک ثبت شد.

شاخص برداشت

این شاخص به کمک معادله ۳ محاسبه گردید.

$$HI = (GY/BY) \times 100 \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، HI: به عنوان درصد شاخص برداشت، GY: به عنوان عملکرد دانه و BY: به عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته می‌شود.

برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزارهای SAS نسخه ۹/۴ و SPSS نسخه ۲۴ استفاده شد. همچنین برای رسم نمودارها و ثبت اطلاعات از نرم افزارهای Word و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

زمان رسیدگی فیزیولوژیکی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم و اثر اصلی سطوح کودی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را در صفت زمان رسیدگی فیزیولوژیک نشان دادند. همچنین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی نیز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را سبب شدند. براساس شکل ۲، طولانی‌ترین زمان رسیدگی مربوط به برهم‌کنش رقم چینی و تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۲۷۹/۱ روز بود. همچنین کوتاه‌ترین زمان رسیدگی از برهم‌کنش رقم گل‌دشت و شاهد با میزان ۲۵۹/۳ روز به دست آمد. سطوح کودی بر روی زمان رسیدگی رقم چینی اثر معنی‌داری نداشت، اما تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + تیمار چهار میلی گرم در لیتر هیومیک، زمان

رسیدگی رقم گل‌دشت را به طور معنی‌داری افزایش داد. این گونه می‌توان بیان کرد که رقم گل‌دشت به دلیل زودرس‌تر بودن، با استفاده از تیمارهای کودی شرایط رشدی بهتری پیدا کرده و طول زمان رشد خود را کمی افزایش می‌دهد و در واقع، هنوز می‌تواند از شرایط جوی مناسب و فصل زراعی باقی‌مانده استفاده کند. اما رقم چینی به دلیل دیررس بودن، تا آخر فصل زراعی رشد کرده و تیمارهای کودی نمی‌توانند مدت زمان رشد و رسیدگی گیاه را افزایش دهند و طولانی‌تر سازند، چون شرایط جوی مناسبی پس از آن وجود ندارد و گیاه پتانسیل بیشتری نیز برای ادامه رشد ندارد. در بسیاری از منابع اشاره شده است که ارقام دیررس کودپذیری بیشتری دارند، اما در پژوهش حاضر این گونه نبود. تیمارهای کودی به خصوص سطوح اسید هیومیک با تأمین مواد آلی و افزایش پتانسیل رشد گیاه باعث شده است که رقم گل‌دشت از ادامه فصل استفاده کرده و به پرکردن دانه و رشد خود ادامه دهد (Rose et al., 2014; Hajghani et al., 2017).

ارتفاع بوته

مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم اختلاف معنی‌داری در مورد صفت ارتفاع بوته نشان نداد، اما تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد کردند. بر این اساس طبق جدول ۴، بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۶۸/۳۳ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار یک میلی گرم در لیتر آهن با میزان ۶۰/۳ سانتی‌متر بود. همچنین برهم‌کنش ارقام و تیمارهای کودی نیز اختلاف معنی‌داری نداشت. این گونه بیان می‌شود که سطوح اسید هیومیک با توجه به تقویت مواد آلی گیاه و همچنین دارا بودن اثر شبه نیتروژنی موجب افزایش رشد طولی گیاه و ارتفاع بوته می‌شود (Daur & Bakhshwain, 2013). سطوح کود آهن اثر معنی‌داری بر صفت ارتفاع بوته نداشت.

شاخص سطح برگ

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم و اثر اصلی سطوح کودی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را در صفت شاخص سطح برگ نشان دادند. همچنین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی نیز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را

سبب شدند. براساس جدول مقایسه میانگین (شکل ۱)، بیشترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به برهم‌کنش رقم چینی با تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + تیمار چهار میلی گرم در لیتر هیومیک و تیمار یک میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۱/۶ و کمترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به برهم‌کنش رقم گلدشت با شاهد با میزان ۰/۸۵ بود. چنین استنباط می‌شود که رقم چینی به دلیل طول دوره رویشی و رشدی طولانی‌تر دارای شاخص سطح برگ بیشتری نسبت به رقم گلدشت است. براساس بررسی داده‌ها و تجزیه واریانس آن‌ها مشخص شد که کود اسید هیومیک اثر مثبت بیشتری بر افزایش شاخص سطح برگ نسبت به تیمار کودی آهن سبب می‌شود. همچنین مشاهده گردید که سطح دوم تیمار کودی اسید هیومیک نسبت به سطح اول آن اختلاف معنی‌داری داشت، اما سطح دوم کود آهن نسبت به سطح اول آن اختلاف معنی‌داری را سبب نشد. کاربرد کود آهن موجب کاهش زردی و کلروز برگ‌ها می‌شود و افزایش رشد برگ‌ها تا برطرف شدن کمبود سطح آهن گیاه رخ می‌دهد، اما پس از برطرف شدن کمبود آهن، دوز بیشتر این کود اثر رشدی دیگری را در برگ ندارد (Şahin & Isler, 2022). براساس یافته‌های پژوهش، کاربرد همزمان دو کود آهن و اسید هیومیک موجب اثر مثبت بیشتری بر این صفت شد. اسید هیومیک با داشتن منبع سرشاری از مواد آلی و نیتروژن طبیعی موجب افزایش و رشد بیشتر شاخص سطح برگ و پربرگی بیشتر گیاه شد (Karimi et al., 2016).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثر اصلی رقم اختلاف معنی‌داری در مورد صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان نداد، اما تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد کردند. طبق جدول ۴، مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۸۴/۵ درصد و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به شاهد با میزان ۴۲/۶ درصد بود. براساس بررسی‌های صورت گرفته، تیمار کودی آهن تأثیر بسزایی در افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه داشت (Babaei et al., 2017). همچنین سطوح دوم آهن نسبت به سطوح اول دارای تأثیر بیشتر و اختلاف معنی‌داری نسبت به هم بودند. اما کود اسید هیومیک

تأثیر چندانی بر میزان فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه نداشت. آهن می‌تواند از طریق تنظیم گونه‌های فعال اکسیژن موجب ارتقاء توان تحملی گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو شود و در گیاه نقشی حفاظتی را بازی می‌کند (Yaldiz et al., 2016). همچنین اثر متقابل عوامل تیمارهای کودی و ارقام نیز اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. تحقیقات نشان داده‌اند که کود آهن می‌تواند منجر به افزایش سطح ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در گیاهان شود. این ترکیبات به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی خود، در حذف رادیکال‌های آزاد و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو مؤثر هستند (Rout & Sahoo, 2015).

تعداد دانه در طبق

مطابق مشاهدات و تجزیه واریانس جدول ۳، برهم‌کنش دو عامل رقم و کود موجب اختلاف معنی‌داری شد. بر این اساس و طبق شکل ۳، بیشترین تعداد دانه مربوط به برهم‌کنش رقم چینی و تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۲۳/۳ دانه در طبق بود. البته سطوح هفتم (تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + دو میلی گرم در لیتر هیومیک) و نهم (تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک) برای هر دو رقم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مطابق شکل ۳، در تیمارهای کودی شاهد و سطوح اول کودها، رقم گلدشت دارای عملکرد دانه در طبق بیشتری است، اما با افزوده شدن مقدار بیشتری از کودها، رقم چینی به دلیل دیررس‌تر بودن فرصت بیشتری برای استفاده از کودها دارد که باعث برتری جزئی رقم چینی در تیمارهای کودی توأم می‌شود. اما در مجموع و به‌طور میانگین، در این صفت رقم گلدشت به‌طور معنی‌داری برتری دارد. اسید هیومیک با بهبود شرایط رشد گیاه موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Majidi et al., 2021). اسید هیومیک به‌عنوان یک محرک رشد عمل کرده و به تولید بیشتر انرژی و مواد غذایی در گیاه کمک می‌کند. کاربرد کود آهن به‌ویژه در شرایط کمبود این عنصر، سبب افزایش تعداد دانه در گیاهان می‌گردد. این افزایش تعداد دانه به دلیل نقش آهن در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه مانند تثبیت نیتروژن، فتوسنتز و تشکیل کلروفیل است (Davaran Hagh et al., 2016; Soleimani et al., 2017).

وزن هزاردانه

مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، برهم کنش عوامل کودی و رقم در صفت وزن هزاردانه اختلاف معنی داری ایجاد کرده است. بر این اساس طبق شکل ۴، بیشترین وزن هزاردانه مربوط به برهم کنش رقم گلدشت با تیمار یک میلی گرم در لیتر + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان $50/03$ گرم می باشد. رقم گلدشت در تمامی تیمارهای کودی به جز سطح دوم آهن عملکرد بهتری نشان داده است (البته این برتری معنی دار نیست). علت را می توان این گونه استنباط کرد که سطح دوم کود آهن با برآورده کردن نیازهای رقم چینی که رقمی دیررس تر است، می تواند سبزیبگی و سیستم فتوسنتزی این گیاه را در مدت طولانی تری حفظ کند. با کاربرد کود اسید هیومیک رقم گلدشت معمولاً برتری معنی داری نسبت به رقم چینی پیدا کرده است. در مقایسه و بررسی دو صفت وزن هزاردانه و تعداد دانه در بوته مشاهده می شود که محلول پاشی اسید هیومیک، وزن هزاردانه را نسبت به تعداد دانه بیشتر تقویت می کند. برعکس، محلول پاشی کود آهن برای افزایش تعداد دانه نسبت به افزایش وزن هزاردانه مفیدتر است. اسید هیومیک با توجه به اثر شبه نیتروژنی و غنی بودن از مواد آلی موجب پر شدن بیشتر دانه و افزایش وزن هزاردانه می شود. از طرفی، مصرف آهن موجب پاک سازی گونه های فعال اکسیژن شده و باعث بهبود عملکرد دانه مخزن^۱ در گیاه شده و تعداد دانه بیشتری برای پر شدن در اختیار گیاه قرار می دهد (Zareie et al., 2011). در مجموع، استفاده توأم هر دو نوع کود آهن و اسید هیومیک موجب افزایش تعداد دانه و وزن هزاردانه به مقدار قابل توجهی شده است. رقم زودرس گلدشت، قسمت عمده ای از اسید هیومیک که خاصیت شبه نیتروژنی دارد را برای تولید و افزایش وزن دانه اختصاص داده است. این رقم به علت زودرس بودن و تنفس نگهداری کمتر نسبت به رقم دیگر، فتوسنتز خالص بیشتر و زیست توده دانه بیشتری تولید می کند (Saydi et al., 2017). رقم گلدشت با وجود زودرس بودن، اما به دلیل شرایط ژنتیکی این رقم وزن هزاردانه بیشتری تولید کرده است.

عملکرد دانه

مطابق جدول ۳، اثر هر دو عامل رقم و کود بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی داری شد. طبق جدول ۴، بیشترین عملکرد مربوط به رقم گلدشت با $1462/5$ کیلوگرم در هکتار بود و

رقم چینی نیز عملکردی برابر با $1406/3$ کیلوگرم در هکتار ثبت کرد. در میان تیمارهای کودی نیز بیشترین عملکرد مربوط به تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک میزان $1694/1$ کیلوگرم در هکتار بود. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود، کاربرد سطوح مختلف کودی منجر به افزایش عملکرد هر دو رقم نسبت به شاهد شده است. کود کلات آهن با تحریک فرآیندهای فتوسنتز و گل دهی، موجب افزایش تولید دانه ها می شود. این امر به ویژه در گیاهانی که نیاز به آهن دارند، قابل مشاهده است. مشخص شده است که محلول پاشی آهن باعث افزایش مشخصه های رشد از جمله تعداد دانه تولید شده در هر بوته و عملکرد دانه می شود. در یک مطالعه گزارش شد که کاربرد کود آهن بر تعداد دانه در طبق تأثیر مثبت داشته و منجر به افزایش عملکرد کلی دانه در ژنوتیپ های گلرنگ می شود (Rakesh et al., 2021). در واقع، استفاده از کود آهن موجب بهبود فعالیت مخزن شده است. کاربرد آهن با افزایش محتوای کلروفیل مرتبط است که برای فتوسنتز بسیار مهم است. مطالعات نشان می دهد که آهن، فعالیت های آنزیمی مرتبط با جذب مواد مغذی و مقابله با تنش را افزایش می دهد (Esmaili & Tadayyon, 2019). بنابراین انعطاف پذیری و بهره وری گیاه را در شرایط مختلف از جمله خشکی بهبود می بخشد (Fathi Amirkhiz et al., 2015). آهن به دلیل نقش مهمی که در فتوسنتز گیاهان ایفا می کند، در افزایش عملکرد دانه و بهبود تسهیم دانه از مواد فتوسنتزی نقش دارد (Arazmjoo et al., 2019). همچنین اسید هیومیک به دلیل اینکه دارای پایه آلی است، مواد آلی مورد نیاز گیاه را بهتر تأمین کرده و موجب افزایش عملکرد دانه می شود (Jahan et al., 2022). تعامل بین اسید هیومیک و آهن برای سلامت گلرنگ مفید است و منجر به افزایش جذب مواد مغذی، بهبود معیارهای رشد، افزایش عملکرد دانه و تحمل بهتر تنش می شود. این یافته ها اهمیت ادغام مواد هیومیک و ریزمغذی هایی مانند آهن را در شیوه های کشت گلرنگ برای عملکرد و بهره وری بهینه گیاه نشان می دهد. همان طور که در مطالب بالا اشاره شد، در صفات وزن هزاردانه و تعداد دانه در بوته بین برهم کنش عوامل رقم و کود اختلاف معنی دار وجود داشت، اما بین آن ها از نظر صفت عملکرد دانه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. علت این امر را می توان خنثی سازی برهم کنش های معنی دار دو عامل در صفت عملکرد دانه دانست. به عبارتی دیگر، مطابق شکل ۱ در صفت وزن هزاردانه در سطوح کودی بالا رفته رفته رقم گلدشت

درصد و عملکرد روغن دانه

براساس مشاهدات صورت گرفته (جدول ۳)، ارقام در مورد صفت درصد روغن تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند. طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، سطوح کودی نیز سبب تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه‌ها نشدند. اگرچه تفاوت‌هایی در میزان درصد روغن ارقام وجود داشت، اما این تفاوت‌ها معنی‌دار نبود. مطابق جدول ۳، عملکرد روغن نیز متأثر از عملکرد دانه در بین ارقام و سطوح کودی دارای تفاوت معنی‌داری بود.

نسبت به رقم چینی پیشی گرفته و عملکرد بهتری ایجاد کرد. برعکس در صفت تعداد دانه در بوته، با افزایش کوددهی رقم چینی نسبت به رقم دیگر پیشی گرفته و عملکرد بهتری داشت. اما در عملکرد دانه این شرایط و برهم‌کنش‌ها با یکدیگر خنثی شده و می‌توان گفت که در مجموع، رقم گلدشت عملکرد بهتری ایجاد کرد. برهم‌کنش متقابل عوامل رقم و کود معنی‌دار نبود. رقم گلدشت به دلیل زودرسی، از گرمای آخر فصل فرار کرده و تا رسیدن به حداکثر تنش محیطی رسیدگی خود را تکمیل کرده و به این دلیل عملکرد بیشتری ثبت کرد. همچنین حمله آفات و پرندگان نیز در آخر فصل زراعی افزایش یافته و این امر به ضرر رقم دیررس چینی است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares									
		زمان رسیدگی Ripening time	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	فعالیت آنتی‌اکسیدان Antioxidant activity	تعداد دانه در طبق Seed per head	وزن هزارانه Thousand seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد روغن Seed oil yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication (r)	2	1.51	2.42	0.017	4.12	0.23	0.13	1149	80.77	240.33	0.25
ارقام Cultivars (C)	1	3596.6**	0.031 ^{ns}	0.18**	0.018 ^{ns}	0.93**	16.88**	42616.4**	3817.13**	2.15 ^{ns}	9.45**
خطای کرت اصلی Main plot error	2	0.9	0.35	0.00003	4.79	0.25	0.03	952.2	28.65	5.62	0.21
(rep. × C) نیمر کودی Fertilizer (F)	8	68.22**	69.86**	0.28**	1872.7**	17.1**	29.99**	182842**	116737.4**	1030182.3**	11.51**
C × F خطای کرت فرعی Subplot error	8	17.1**	0.004 ^{ns}	0.007**	0.26 ^{ns}	0.35**	1.17**	593.1 ^{ns}	25.84 ^{ns}	19.99 ^{ns}	0.17 ^{ns}
(Rep. × F)	32	0.13	0.04	0.0003	5.27	0.11	0.15	385.96	50.33	94.28	0.1
ضریب تغییرات CV (%)	-	0.135	0.32	1.4	3.6	1.6	0.85	1.36	1.75	0.14	1.5

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

ns, * and **: non-significant, significant at the probability level of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی ارقام و تیمارهای کودی بر روی گلرنگ
Table 4- Mean comparison of the main effects of cultivars and fertilizer treatments on safflower

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	فعالیت آنتی اکسیدان Antioxidant activity (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percentage (%)	عملکرد روغن Seed oil yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
گلدشت Goldasht	64.71 a	63.81 a	1462.56 a	28.24 a	413.08 a	6560.3 a	22.3 a
چینی Chinese	64.66 a	63.77 a	1406.37 b	28.17 a	396.26 b	6518.2 a	21.37 b
c	60.45 c	42.66 c	1132.33 f	28.3 a	320.48 f	5825.8 h	19.43 g
F1	60.33 c	63.66 b	1301 e	28.33 a	368.61 e	6106.6 g	21.3 e
F2	60.46 c	84.16 a	1395.33 d	28.1 a	392.11 d	6242 f	22.34 d
H1	65.31 b	43.66 c	1312.67 e	28.06 a	368.35 e	6400.8 e	20.5 f
H2	68.33 a	44.5 c	1408.83 d	26.08 a	395.61 d	6711.5 d	20.99 e
F1H1	65.51 b	63.5 b	1490.5 c	28.3 a	421.78 c	6718 d	22.18 d
F2H1	65.61 b	84.5 a	1596.17 b	28.3 a	451.74 b	6826.1 c	23.37 b
F1H2	68.13 a	63 b	1579.17 b	28.23 a	445.85 b	6912.1 b	22.84 c
F2H2	68.05 a	84.5 a	1694.17 a	28.18 a	477.5 a	7117.5 a	23.79 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using duncan

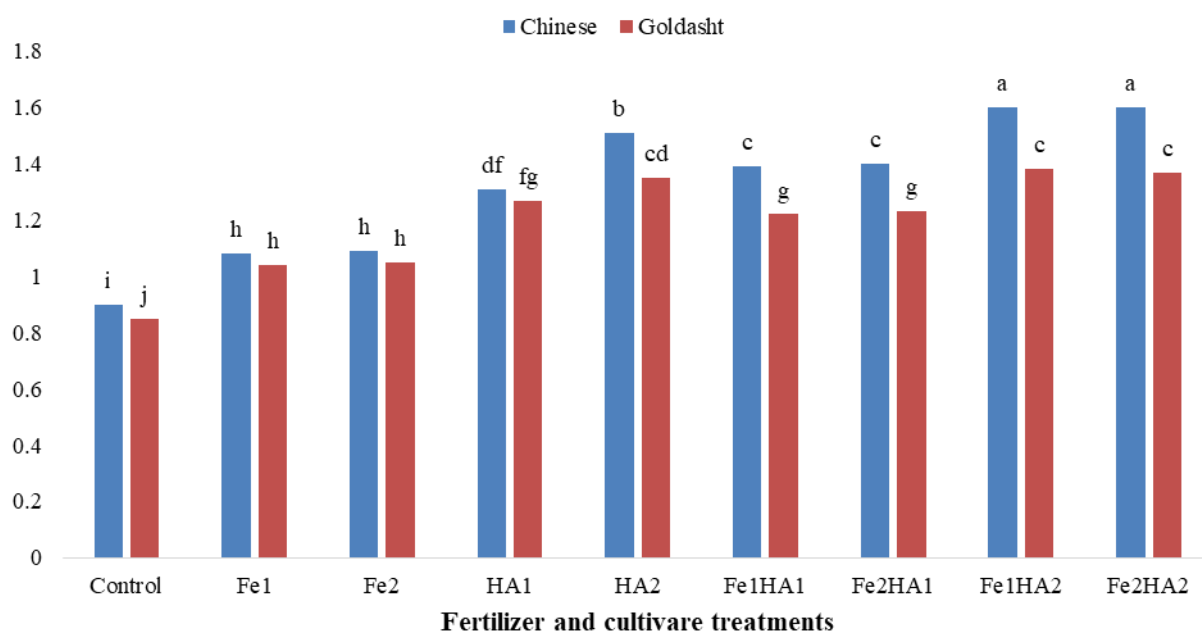
گردید. همچنین از نظر عامل تیمارهای کودی، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ثبت گردید. بر این اساس، بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۷۱۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک ثبت شده مربوط به تیمار کودی شاهد با میزان ۵۸۲۵/۸۳ کیلوگرم در هکتار بود. براساس تجزیه واریانس صورت گرفته، مشخص گردید که اثر سطوح کودی اسید هیومیک بر این صفت به مراتب بیشتر از اثر سطوح تیمارهای کود آهن بوده است. همچنین مشخص گردید که اثر متقابل عوامل تیمارهای کودی و ارقام اختلافات معنی‌داری را سبب نشدند. اسید هیومیک با توجه به دارا بودن اثر شبه‌نیتروزنی و آلی باعث تأمین مواد آلی گیاه شده و رشد هرچه بیشتر گیاه را سبب می‌شود (Garcia et al., 2014). اسید هیومیک به افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی کمک کرده و در نتیجه، انتقال مواد مغذی و رشد بیولوژیک گیاه بهتر صورت می‌گیرد (Safaei et al., 2017). آهن به‌عنوان یک کوآنزیم در تشکیل کلروفیل عمل می‌کند و کمبود آن موجب کلروز برگ‌ها و کاهش رشد رویشی می‌شود. محلول‌پاشی یا استفاده از کلات آهن Fe-EDTA یا Fe-EDDHA باعث افزایش سطح برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک

طبق جدول ۳ و مقایسه‌های میانگین انجام گرفته، عملکرد روغن رقم گلدشت و رقم چینی به‌ترتیب ۴۱۳/۰۸ و ۳۹۶/۲۶ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین در بین سطوح کودی (طبق جدول ۳)، بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار دو میلی گرم در لیتر آهن + چهار میلی گرم در لیتر هیومیک با میزان ۴۷۷/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان مربوط به شاهد با میزان ۳۲۰/۴۸ کیلوگرم در هکتار بود. هیچ کدام از عوامل و تیمارها بر درصد روغن دانه تأثیر معنی‌داری نداشت. می‌توان این‌گونه گفت که افزایش عملکرد روغن دانه به‌دلیل افزایش عملکرد دانه بوده است و اثر درصد روغن دانه معنی‌دار نبود.

عملکرد بیولوژیک

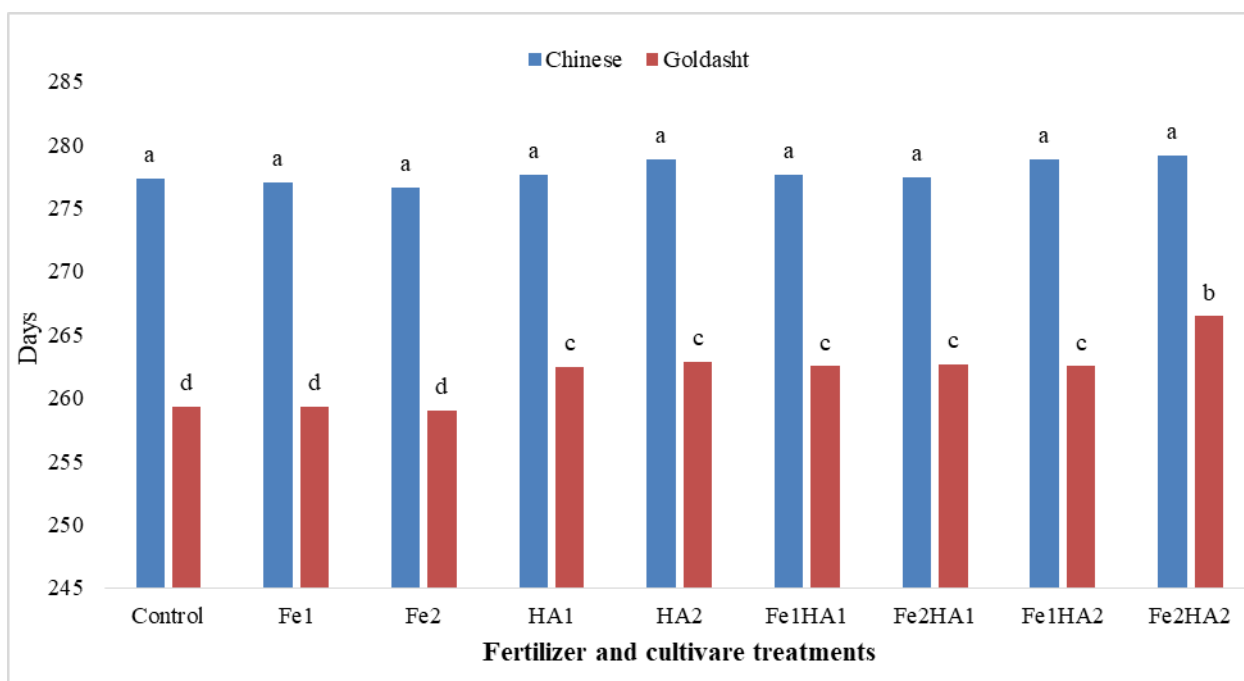
براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های این صفت (جدول ۳)، مشخص شد که ارقام از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری نسبت به هم ندارند. رقم چینی علی‌رغم عملکرد دانه کمتر به‌دلیل وجود شاخص سطح برگ بیشتر و طبق‌های بزرگ‌تر، عملکرد بیولوژیک تقریباً یکسانی با رقم گلدشت دارد. بر این اساس و طبق جدول ۳، عملکرد بیولوژیک ثبت شده برای رقم گلدشت ۶۵۶۰/۳۶ کیلوگرم در هکتار و برای رقم چینی ۶۵۱۸/۲۳ کیلوگرم در هکتار ثبت

شاخساره و ریشه می‌شود (El-Desouky et al., 2021).



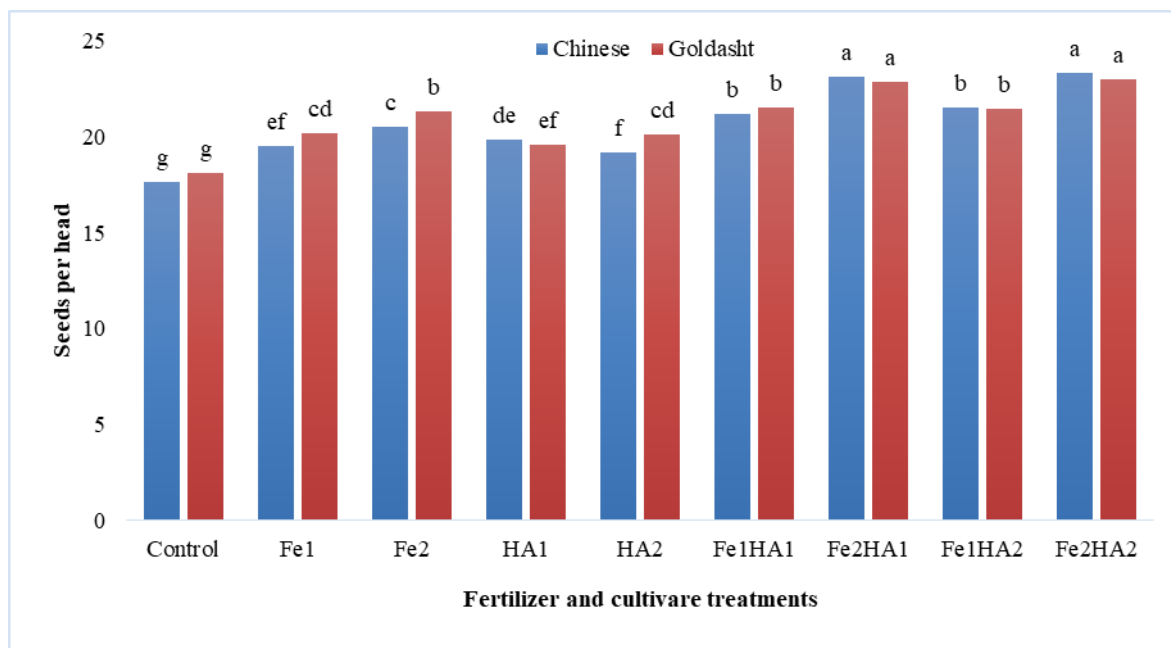
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح تیمار کودی در صفت شاخص سطح برگ گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد

Fig. 1- Mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower leaf area index trait at a 5% significance level

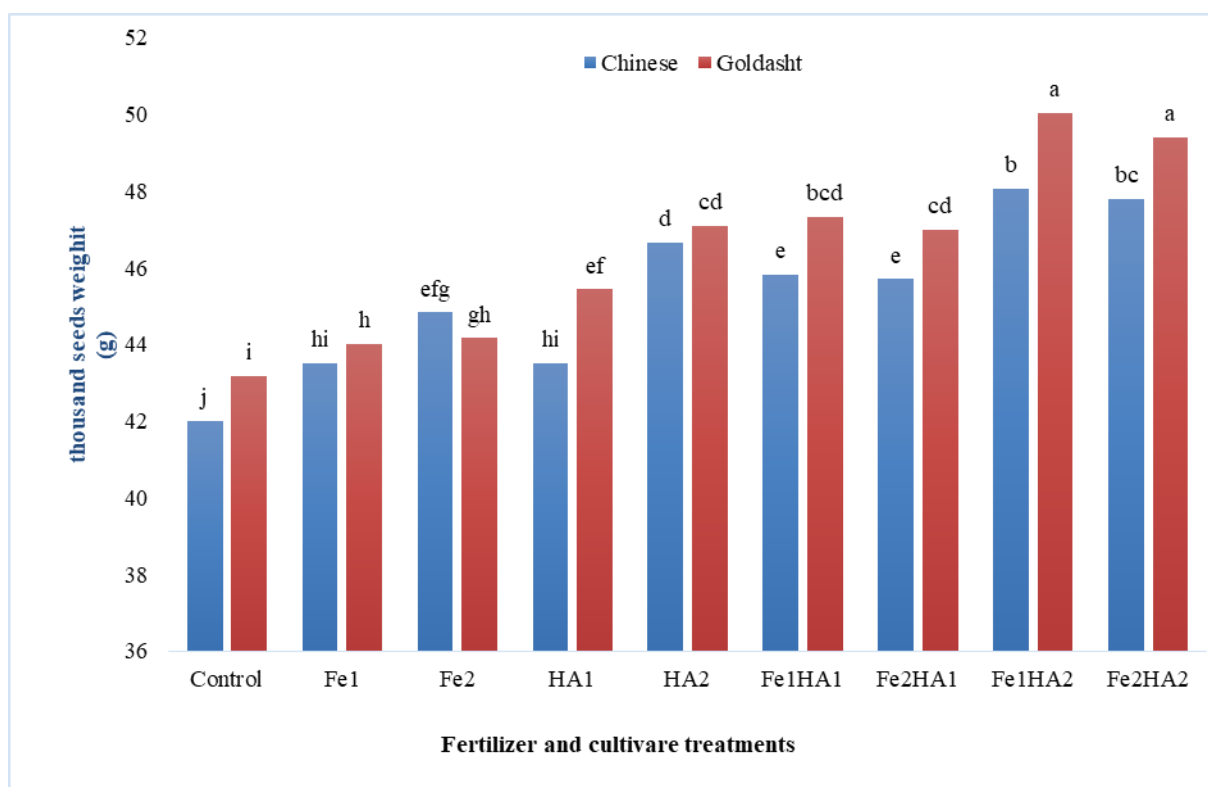


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح تیمار کودی در صفت زمان رسیدگی گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد

Fig. 2- Mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower ripening time at a 5% significance level



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی برای صفت تعداد دانه در طبق گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد
Fig. 3- Mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower seed per head at a 5% significance level.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل ارقام و سطوح کودی برای وزن هزاردانه در طبق گلرنگ در سطح احتمال پنج درصد
Fig. 4- mean comparison of interaction effects of cultivars and fertilizer treatment levels on the safflower thousand-seed weight at a 5% significance level

شاخص برداشت

براساس تجزیه واریانس (جدول ۳) صورت‌گرفته مشاهده شد که ارقام از نظر صفت شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری نسبت به هم در سطح احتمال یک درصد دارند. بر این اساس (جدول ۴)، به‌طور میانگین شاخص برداشت رقم چینی ۲۱/۳۵ درصد و شاخص برداشت رقم گلدشت ۲۲/۳ درصد ثبت گردید. همچنین براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص گردید که عامل تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. بر این اساس، بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار دو میلی‌گرم در لیتر آهن + چهار میلی‌گرم در لیتر هیومیک با میزان ۲۳/۷۹ درصد و کمترین شاخص برداشت متعلق به تیمار کودی شاهد با میزان ۱۹/۴۳ درصد بود. طبق تجزیه واریانس داده‌ها مشاهده گردید که تیمارهای کودی اثر بسزایی را در افزایش میزان شاخص برداشت دارند. ثابت شد که کاربرد توأم دو کود آهن و اسید هیومیک موجب بهبود بیشتر شاخص برداشت می‌گردد. همچنین براساس جدول تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر متقابل تیمارهای کودی و ارقام اختلاف معنی‌داری را سبب نمی‌شوند. تیمارهای کودی با توجه به تأثیر مثبت معنی‌دار بر عملکرد دانه، باعث افزایش شاخص برداشت و بهبود آن شدند.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که رقم گلدشت زودرس‌تر از رقم چینی است و میزان عملکرد بیشتری نیز دارد. رقم چینی به‌دلیل اینکه طول دوره رشد بیشتری دارد، ممکن است در اواخر دوران رشد با گرمی هوا و تهاجم آفات و پرندگان روبه‌رو شده و باعث کاهش عملکرد آن شود، بنابراین کشت رقم گلدشت از این لحاظ ارجح است. در مقایسه صفات فیزیولوژیکی مشاهده شد که استفاده از کودهای

آهن و اسید هیومیک موجب پایداری و مقاومت بیشتر ارقام شد. تعامل بین اسید هیومیک و آهن برای سلامت گل‌رنگ مفید است و منجر به افزایش جذب مواد مغذی، بهبود معیارهای رشد، افزایش عملکرد دانه و تحمل بهتر تنش می‌شود. این یافته‌ها اهمیت ادغام مواد هیومیک و ریزمغذی‌هایی مانند آهن را در شیوه‌های کشت گل‌رنگ برای عملکرد و بهره‌وری بهینه گیاه نشان می‌دهد. بنابراین، کاربرد توأم سطوح دوم آهن و هیومیک توصیه می‌شود. کاربرد اسید هیومیک و آهن موجب افزایش شاخص سطح برگ و بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود. کاربرد هر دو کود آهن و اسید هیومیک موجب بهبود و افزایش شاخص برداشت شده و تمرکز گیاه بر روی پر شدن قسمت اقتصادی گیاه یعنی دانه افزایش پیدا می‌کند. در مورد صفات عملکردی نیز کاربرد توأم سطوح دوم کود آهن و اسید هیومیک توصیه می‌شود، چرا که هر دو باعث بهبود شرایط گیاه شدند. اسید هیومیک با توجه به اثر شبه نیتروژنی و غنی بودن از مواد آلی موجب پر شدن بیشتر دانه و افزایش وزن هزاردانه می‌شود. از طرفی، مصرف آهن موجب پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن و بهبود عملکرد مخزن در گیاه شده و تعداد دانه بیشتری برای پر شدن در اختیار گیاه قرار می‌دهد. در مجموع، استفاده توأم هر دو نوع کود آهن و اسید هیومیک موجب افزایش تعداد دانه و وزن هزاردانه به‌مقدار قابل توجهی شده است. رقم گلدشت دارای درصد و عملکرد بالاتر روغن بود و از این لحاظ نیز نسبت به رقم چینی ارجحیت دارد. در مجموع، می‌توان گفت که با قیمت کم و در دسترس بودن، کودهای آهن و اسید هیومیک آثار قابل ملاحظه و زیادی بر روی اکثر صفات داشتند و موجب بهبود گیاه از نظر فیزیولوژیکی و عملکردی شدند.

References

1. Arazmjoo, E., Behdani, M.A., Mahmoodi, S., & Sadeghzadeh, B. (2019). Biofortification of new and old bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars through foliar application of zinc and iron different forms. *Journal of Agroecology*, 11(2), 453-466. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.67935>
2. Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A., & Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 381-389. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798>
3. Bagheri, H., Moghadam, L., Danai, E., & Abdossi, V. (2022). The effect of foliar spraying of nanochelates of iron,

- potassium, calcium and manganese on the amount of elements and enzyme activity of peppermint plant (*Mentha piperita*). *Iranian Plant and Biotechnology*, 17(1), 11-23. (In Persian with English abstract).
4. Celus, M., Salvia-Trujillo, L., Kyomugasho, C., Maes, I., Van Loey, A.M., Grauwet, T., & Hendrickx, M.E. (2018). Structurally modified pectin for targeted lipid antioxidant capacity in linseed/sunflower oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 241, 86-96. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.056>
5. Daur, I., & Bakhshwain, A.A. (2013). Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany*, 45(S1), 21-25.
6. Davaran Hagh, E., Mirshekari, B., Ardakani, M.R., Farahvash, F., & Rejali, F. (2016). Evaluating maize yield and the quality of response to vermicompost, in *Thiobacillus* and foliar application of Fe and Zn. *Journal of Agroecology*, 8(3), 359-372. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i3.35545>
7. El-Desouky, H.S., Islam, K.R., Bergefurd, B., Gao, G., Harker, T., Abd-El-Dayem, H., Fakhry, H., El-Zeiny, H., & Zewail, R.M. (2021). Nano iron fertilization significantly increases tomato yield by increasing plants' vegetable growth and photosynthetic efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 44(11), 1649-1663. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1871749>
8. Emongor, V.E., & Emongor, R.A. (2023). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In *Neglected and Underutilized Crops*. pp. 683-731. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90537-4.00024-7>
9. Esmaili, A., & Tadayon, M.R. (2019). Influence of drought stress and humic acid on growth, yield and sugar production of sugar beet. *Journal of Agroecology*, 11(1), 185-198. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.62811>
10. Fanaei, H.R., Azmal, A., & Piri, I. (2017). Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 8(4), 551-566. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.46602>
11. FAO. (2023). FAOSTAT Crops Database: Safflower.
12. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Heshmati, S. (2015). Investigating the effect of iron chelate on chlorophyll content, quantum efficiency of photosystem II and some biochemical traits in safflower under low water conditions. *Iranian Plant Sciences*, 46(1), 137-145. (In Persian with English abstract).
13. García, A.C., Izquierdo, F.G., & Berbara, R.L.L. (2014). Effects of humic materials on plant metabolism and agricultural productivity. In *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* Academic Press. pp. 449-466. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800876-8.00018-7>
14. Ghassemi Golezani, K., Ardalan, N., Raei, Y., & Dalil, B. (2022). Improving some physiological and yield parameters of safflower by foliar sprays of Fe and Zn under drought stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 12(1), 15-27. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/jppb.2022.14657>
15. Gui, J.Y., Rao, S., Huang, X., Liu, X., Cheng, S., & Xu, F. (2022). Interaction between selenium and essential micronutrient elements in plants: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 853, 158673. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158673>
16. Hajghani, M., Ghalavand, A., & Modarres Sanavy, S.A.M. (2017). Evaluation of yield, yield components and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in conventional and organic farming systems. *Journal of Agroecology*, 9(1), 15-30. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.31520>
17. Heshmati, S., Akbari, G., Soltani, E., Amini Dehaghi, M., Fathi Amirkhiz, K., & Maleki, K. (2021). Study the antioxidant enzymes activity and biochemical responses of safflower as affected by foliar application of melatonin under drought condition. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 906-883. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.315815.2490>
18. Jahan, M., Amiri, M.B., Saleh Ababdi, M., Naseri, N., & Abbasi, S. (2022). Application of multivariate statistical techniques for determining of affecting factors in water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) under conditions of simultaneous application of nitrogen and ecofriendly inputs. *Journal of Agroecology*, 14(3), 509-529. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/agry.2021.67224.0>
19. Kamaraki, H., & Galavi, M. (2012). Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 4(3), 201-206. (In Persian with English abstract).
20. Karimi, E., Tadayon, A., & Tadayon, M.R. (2016). The effect of humic acid on some yield characteristics and

- leaf proline content of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, 18(3), 609-623. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56624>
21. Koutroubas, S. D., Antoniadis, V., Fotiadis, S., & Damalas, C.A. (2019). Yield and adaptation of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under rainfed and irrigated conditions. *Industrial Crops and Products*, 132, 378-385.
22. Majidi, A., Khalilzadeh, G., & Rejali, F. (2021). The effect of humic acid and glycine betaine on grain yield and some agricultural traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in dry conditions. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 31(4), 235-253. (In Persian with English abstract).
23. Mir, Z., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Piri, J. (2017). Determine the optimal levels of bio-fertilizers and foliar application of iron on yield and quality indices of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, 9(4), 1194-1207. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.56478>
24. Mousavifar, B.E., & Behdani, M.A. (2018). Effect of deficit irrigation and plant density on growth and seed yield and some morphological traits of autumn safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 10(1), 107-119. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.5349>
25. Naghavi, M.R., Piri, I., Khalili, M., & Tavassoli, A. (2021). Comparison of some drought tolerance indices in Iranian and foreign safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Journal of Arid Biome*, 10(2), 175-191. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2021.16254.1840>
26. Pasban Eslam, B., Sadeghi Bakhtevvari, A.R., Jabbari, H., & Bybordi, A. (2021). Physiological and agronomic response of promise safflower genotypes to late season water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(1), 123-130. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.293812.654667>
27. Rakesh, M., Singh, R., & Singh, E. (2021). Influence of nitrogen and foliar spray of iron on yield and economics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 10(10), 495-497.
28. Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., & Cavagnaro, T.R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy*, 124, 37-89. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>
29. Rout, G.R., & Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1-24. <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>
30. Safaee, M., Rahimi, A., Torabi, B., & Khoram, A. (2017). Effect of vermi-compost fertilizer application and foliar spraying of compost tea and acid humic on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 9(3), 805-820. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.51879>
31. Şahin, C.B., & İşler, N., (2022). Effects of foliar fertilizer applications on leaf area, chlorophyll and nutritional content at different growth stages of soybean Soyanın Farklı Gelişim Dönemlerinde Uygulanan Yaprak Gübresinin Yaprak Alanı, Klorofil ve Besin İçeriklerine Etkisi. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 19(4), 712-723. <https://doi.org/10.33462/jotaf.963971>
32. Saydi, Z., Fateh, E., & Ayneband, A. (2017). Effect of different sources of nitrogen and organic fertilizers on yield and yield components of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). *Journal of Agroecology*, 9(1), 115-128. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.49334>
33. Soleimani, R., Noorgholipour, F., & Moshiri, F. (2017). The effect of foliar spraying of zinc, iron and manganese on the yield and nutrient content of safflower seed (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 19(1), 1-12. (In Persian with English abstract).
34. Veysi, H., Heidari, G., & Sohrabi, Y. (2016). The effect of mycorrhizal fungi and humic acid on yield and yield components of sunflower. *Journal of Agroecology*, 8(4), 567-582. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.47568>
35. Yaldiz, G., Yildirim, A.B., Arici, Y.K., & Camlica, M. (2016). Rendimiento, características del rendimiento, composición fitoquímica, actividad antioxidante y antibacteriana del Abutilon indicum cultivado con diferentes formas de aplicación de fertilizantes. *Cienciae Investigación Agraria*, 43(3), 464-475. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202016000300012>
36. Zandi, N., Khalesro, S., Badakhshan, H., & Heidari, G. (2021). Effect of humic acid foliar application on the yield and morphological traits of some safflower cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4), 35-48. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.44512.2636>

37. Zareie, S., Golkar, P., & Mohammadi-Nejad, G. (2011). Effect of nitrogen and iron fertilizers on seed yield and yield components of safflower genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, 6(16), 3924-3929.
<https://doi.org/10.5879/AJAR11.683>



Investigating the Effect of Mulch on Weed Control and Product Quality in Intercropping of Stevia (*Stevia rebaudiana*) and Iranian Borage (*Echium amoenum*)

Mohammad Raiszadeh¹, Alireza Abdali Mashhadi^{2*}, Mohammad Hosein Gharineh³, Gholamreza Godarzi⁴, and Amin Lotfi Jalalabadi⁵

1- Ph.D. Student, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran

2- Professor, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran

3- Professor, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran

4- Associate Professor, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Markazi Province, Arak, Iran

5- Associate Professor, Department of Production and Plant Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran

(*- Corresponding author's Email: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir)

How to cite this article:

Raiszadeh, M., Abdali Mashhadi, A., Gharineh, M., Godarzi, G., & Lotfi Jalalabadi, A. (2025). Investigating the effect of mulch on weed control and product quality in intercropping of stevia (*Stevia rebaudiana*) and Iranian borage (*Echium amoenum*). *Journal of Agroecology*, 17(2), 341-359. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/agry.2025.91101.1224>

Received: 05-12-2024

Revised: 15-04-2025

Accepted: 29-04-2025

Available Online: 27-07-2025

Introduction

Intercropping is one of the most economical and accessible methods for increasing crop production. Intercropping increases the quantity and quality of yield by reducing intraspecific competition and supporting plants mutually. Research on organic mulches relates to plant residues such as straw, leaves, and various types of manure. In sustainable agriculture, mulches can improve conditions for growth and environmental stress tolerance. The use of mulch and mixed cropping can affect environmental factors (such as temperature, humidity, water and soil salinity, and light intensity and quality) and biological factors (such as fauna and flora inside and outside the soil surface, pest, disease, and weed populations, and reduced intra- and inter-specific competition) at the microclimate scale, improving quantitative and qualitative Yield. Iranian borage (*Echium amoenum*) is a herbaceous, perennial, long-day plant, and stevia (*Stevia rebaudiana*) is a bushy, perennial plant sensitive to cold. In this regard, intercropping stevia and Iranian borage in new regions can create opportunities for employment and profitability.

Materials and Methods



©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.2025.91101.1224>

The experiment was conducted as a two-year factorial with two factors based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research and Education Center of Arak during the 2020-2021 and 2021-2022 growing seasons. Treatments included wheat straw mulch at three levels (no mulch - zero, furrow mulch coverage - 3 tons per hectare, and complete furrow and ridge mulch coverage - six tons per hectare) and intercropping ratios of stevia and Iranian borage using replacement method (100% Iranian borage, 75% Iranian borage - 25% stevia, 50% Iranian borage - 50% stevia, 25% Iranian borage - 75% stevia, and 100% stevia).

Results and Discussion

The lowest weed biomass (60 g/m^2) and highest volumetric moisture content in the first year (12.07) and second year (12.7) were observed in pure Iranian borage cultivation with complete furrow and ridge mulch coverage. The highest weed biomass (296 g/m^2) and lowest volumetric moisture content in the first year (2.5) and second year (2.03) were found in pure stevia cultivation without mulch. The highest canopy temperature in winter (3.86°C) was obtained with furrow and ridge mulch coverage, while the lowest summer canopy temperature (32°C) was observed in intercropping ratios of 50% stevia-50% borage, 75% borage-25% stevia, and pure Iranian borage cultivation with complete furrow and ridge mulch coverage. The highest stevioside content in stevia (3.74) was achieved with a 75% stevia-25% Iranian borage ratio and furrow mulch application. Analysis of Iranian borage fatty acids showed the highest gamma-linolenic acid percentage with furrow and ridge mulch coverage, differing by 1.2% from the lowest percentage observed without mulch. The highest unsaturated fatty acids, oleic acid (21.8%) and linoleic acid (24.7%), were obtained in the planting ratio (25% stevia and 75% Iranian borage and pure Iranian borage cultivation) with furrow and ridge mulch, while the lowest oleic acid (17.9%) and linoleic acid (18.8%) were found in the ratio (25% stevia and 75% Iranian borage without mulch). The highest saturated fatty acid, palmitic acid (10.5%), was found in the intercropping ratio (25% stevia and 75% borage) without mulch, and the highest stearic acid (4.95%) was obtained in the ratio (75% stevia and 25% Iranian borage and pure cultivation) without mulch. The lowest saturated fatty acid palmitic (9.92%), and the lowest stearic acid (4.05%) were obtained in the treatment (75% stevia and 25% Iranian borage with furrow and ridge mulch). The highest dry flower weight of Iranian borage (837 kg/ha) was obtained with the use of mulch in rows and ridges and an intercropping ratio of 50% stevia and 50% Iranian borage. The highest stevia plant height was observed in the 100% stevia and complete furrow and ridge mulch coverage. Results showed that applying mulch in furrow and ridge and intercropping with a higher percentage of stevia leads to better quality in Iranian borage oil.

Conclusion

The furrow and ridge mulch coverage treatment resulted in the highest levels of measured traits in this study, including soil volumetric moisture content, unsaturated fatty acid linoleic acid content, the highest gamma-linolenic acid content, as well as maximum winter canopy temperature and lowest weed biomass. The planting ratio (75% stevia - 25% borage) with furrow mulch application achieved the highest stevioside content.

Keywords: Canopy Temperature, Fatty Acid, Glycoside, Soil Volumetric Moisture

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۳۴۱-۳۵۹

بررسی اثر مالچ آلی بر مهار علف‌های هرز و کیفیت محصول در کشت مخلوط استویا (*Stevia rebaudiana*) و گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*)

محمد رئیس زاده^۱، علیرضا ابدالی مشهدی^{۲*}، محمدحسین قرینه^۳، غلامرضا گودرزی^۴ و امین لطفی جلال آبادی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

چکیده

استویا (*Stevia rebaudiana* Bertonii) یک شیرین کننده طبیعی کم کالری و گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey.) یک گیاه دارویی پرمصرف است. از راه‌های صحیح برای مدیریت تولید محصولات گیاهی که منجر به بهبود کارایی مصرف می‌شود، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط می‌باشد، که به عنوان یکی از جلوه‌های کشاورزی پایدار شناخته می‌شود. آزمایش به صورت دوساله (۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰) و به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در شهرستان اراک انجام شد. عامل اول کاربرد مالچ کاه و کلش گندم (*Triticum aestivum* L.) شامل عدم کاربرد مالچ (شاهد)، پوشش مالچ روی جوی‌ها (سه تن در هکتار)، پوشش مالچ روی جوی‌ها و پشته‌ها (شش تن در هکتار) و عامل دوم شامل کشت مخلوط به روش جایگزینی (کشت خالص استویا، ۷۵ درصد استویا + ۲۵ درصد گل گاوزبان، ۵۰ درصد استویا + ۵۰ درصد گل گاوزبان، ۲۵ درصد استویا + ۷۵ درصد گل گاوزبان، کشت خالص گل گاوزبان) بودند. اثر متقابل مالچ و کشت مخلوط بر زیست توده علف‌های هرز، رطوبت حجمی خاک، گلیکوزیدهای استویا و اسیدهای چرب گل گاوزبان و دمای کانوپی (تاج پوشش) در تابستان معنی دار شد. مالچ اثر معنی دار بر دمای تاج پوشش در زمستان داشت، پوشش مالچ مانند یک عایق حرارتی باعث افزایش دما در زیر کاه و کلش گندم شد. بیشترین زیست توده علف هرز (۲۶۰ گرم بر مترمربع) در کشت خالص استویا و عدم مصرف مالچ و کمترین زیست توده علف هرز (۶۰ گرم بر مترمربع) در کشت خالص گل گاوزبان و پوشش کامل جوی و پشته توسط مالچ مشاهده شد. بالاترین میزان استویوزید (۳/۷۴ درصد) در نسبت کشت ۷۵ درصد استویا + ۲۵ درصد گل گاوزبان و مالچ در داخل جوی به دست آمد. بیشترین مقدار رطوبت حجمی (۱۲/۷ درصد) در کشت خالص گل گاوزبان و پوشش جوی و پشته به وسیله مالچ حاصل شد. بیشترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک (۲۱/۸ درصد) و لینولئیک (۲۴/۷ درصد) در کشت خالص گل گاوزبان و پوشش جوی و پشته به وسیله مالچ به دست آمد. به طور کلی، با کاربرد مالچ در جوی و پشته (شش تن در هکتار) بهترین نتایج کیفی حاصل شد. بالاترین وزن گل خشک گاوزبان ایرانی (۸۳۷ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد مالچ در جوی و پشته و نسبت کشت ۵۰ درصد استویا و ۵۰ درصد گل گاوزبان به دست آمد. همچنین با توجه به عدم تولید گل گاوزبان در سال اول و تولید استویا در تیمارهای کشت مخلوط و نتایج به دست آمده از تولید محصول هر دو گیاه در سال دوم، مشخص گردید که تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد گل گاوزبان و ۵۰ درصد استویا در درجه اول و سپس تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد استویا و ۲۵ درصد گل گاوزبان مناسبترین نسبت‌های کشت مخلوط می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اسید چرب، دمای تاج پوشش، رطوبت حجمی خاک، گلیکوزید

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملائانی، ایران

۲-۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملائانی، ایران

۴- دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی-اراک، ایران

۵- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملائانی، ایران

(Email: alirezaabdali@asnrukh.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/agry.2025.91101.1224>

مقدمه

براساس گزارش‌ها حدود ۸۰ درصد مردم دنیا به‌صورت سنتی از گیاهان دارویی استفاده می‌کنند (Davis & Choisy, 2024). از سوی دیگر، تمایل به کشت‌های مخلوط چندگونه‌ای رو به افزایش است. این مخلوط‌ها زیست‌توده بیشتری تولید می‌کنند، علف‌های هرز بیشتری را سرکوب نموده، نیتروژن بیشتری را جمع‌آوری کرده، آب را در خاک بیشتر حفظ می‌کنند، بیولوژی خاک را بیشتر تحریک می‌نماید، بازده محصولات بعدی را افزایش می‌دهند و پایداری تولید بالاتری نسبت به همتایان تک‌کشتی خود دارند (Florence & McGuire, 2020). کشت مخلوط یک تکنیک کشاورزی است که در آن بسیاری از محصولات با هم در یک مزرعه کشت می‌شوند و به‌دلیل توانایی آن در بهبود بهره‌وری در تولید غذا و علوفه به‌طور گسترده‌تر مورد تأیید قرار گرفته است. این روش کشاورزی امکان ادغام استراتژیک یک محصول سودآور با محصولات پوششی یا غیرسودآور را برای دستیابی به منافع متقابل فراهم می‌کند. طرح‌های کشت مخلوط برای دستیابی به محصول بیشتر، کاهش استفاده از مواد شیمیایی و کودها، و افزایش کارایی مصرف آب، به‌ویژه در شرایط سخت کشورهای خشک و نیمه‌خشک متفاوت است (Toker et al., 2024). نکته منفی کشاورزی مدرن مبتنی بر تک‌کشتی، از بین رفتن تنوع زیستی زمین‌های کشاورزی و اثرات منفی بر محیط زیست و عملکرد بوم‌نظام است که امنیت غذایی و پایداری کشاورزی را تهدید می‌کند. کشت مخلوط راهی برای تقویت تولید کشاورزی پایدار از طریق افزایش گونه‌های زراعی درون مزرعه و تنوع ژنتیکی است. بنابراین، کشت مخلوط در حال تبدیل شدن به یک موضوع داغ برای بوم‌شناسان و کشاورزان به‌عنوان راهی برای طراحی مجدد سیستم‌های کشت نوآورانه و کارآمد برای رسیدگی به چالش‌های فوری است (Yu et al., 2025). نظام کشت مخلوط، میزان اسید پالمیتیک روغن بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) را در مقایسه با کشت خالص آن کاهش داد و نشان داد که نظام کشت مخلوط می‌تواند میزان اسید چرب اشباع‌شده پالمیتیک را کاهش و کیفیت روغن بادام زمینی را بهبود بخشد (Rezapour Kavishahi et al., 2021). بیشترین درصد روغن دانه به سیستم کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fisch. & C.A. Mey.) + ۱۰۰ درصد خرفه (*Portulaca*)

(*oleracea* L.) تعلق داشت (Basereh et al., 2015). همچنین گزارش شده که مقادیر اسیدهای چرب غیراشباع در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) – سویا (*Glycine max* L. Merrill) بیشتر از کشت خالص بود (Yang et al., 2017). مالچ‌های قابل تجزیه زیستی مانند کاه و برگ دارای مزیت‌هایی مانند حفظ رطوبت خاک، کاهش فرسایش خاک، جلوگیری از رشد علف‌های هرز و بیماری‌ها هستند (Feldman et al., 2000). بیشتر تحقیقات انجام‌شده در زمینه مالچ‌های آلی، مربوط به بقایای گیاهی نظیر کاه و کلش، برگ‌ها، چوب، خاک اره و خرده چوب و انواع کودهای دامی می‌باشد. در پژوهشی، استفاده از بقایای گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌خصوص کاربرد هشت تن کاه و کلش از طریق مواد آللوپاتیک موجود در آن مانند اسیدهای فنولیک، مواد فنولی و تریپنئوئید باعث کاهش تراکم علف‌های هرز و افزایش قدرت رقابت لوبیا با علف‌های هرز گردید. همچنین نقش مؤثر کاه و کلش گندم در بهبود شرایط فیزیکی خاک از نظر جذب نسبی رطوبت، تعدیل دمای خاک، فراهمی نسبی مواد آلی خاک، بهبود ساختار خاک‌دانه‌ها و کاهش تشکیل سله در خاک و نیز کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک داشته و می‌تواند باعث افزایش صفاتی همچون عملکرد بیولوژیک و دانه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) شود (Shahbyki et al., 2017).

استویا با نام علمی *Stevia rebaudidna* Bertonی گیاهی بوته‌ای، پایا و چندساله است که به خانواده آفتابگردان تعلق دارد. این گیاه حساس به سرما است و دارای برگ‌های کوچکی است که به‌صورت متناوب روی ساقه قرار دارند. گل‌های آن کوچک، سفید و در قسمت میانی به‌رنگ بنفش کم‌رنگ هستند و به‌صورت خوشه‌ای روی ساقه ظاهر می‌شوند (Ali et al., 2010). بهترین شرایط محیطی استویا، هوای مرطوب همراه با دمای ۱۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس است. علاوه بر شرایط ذکرشده، گیاه استویا در روزهای کمتر از ۱۳ ساعت به گل رفته و گل‌دهی سبب کاهش چشمگیر در میزان محصول برگ و کم شدن کمی و کیفی گلیکوزیدها خواهد شد (Ramesh et al., 2006). محتوای بالای دی‌ترین‌ها در برگ‌های خشک‌شده استویا (حدود ۲۰/۴ درصد) عامل مزه شیرین این گیاه هستند (Cacciola et al., 2011). گلیکوزیدهای استویول در گیاه استویا به‌عنوان جایگزینی برای ساکاروز برای درمان چاقی، دیابت، فشار خون و پیشگیری از پوسیدگی‌های دندانی استفاده می‌شوند

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت دوساله و به صورت فاکتوریل دو عاملی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی شهرستان اراک (منطقه سردسیر با آب‌وهوای خشک و نیمه خشک، ارتفاع از سطح دریا ۱۷۰۸ متر و مشخصات عرض ۳۴ و طول ۴۹:۴۰ درجه جغرافیایی) در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. با توجه به اینکه گیاه گاوزبان در سال اول دارای رشد رزت بوده و عملکرد نداشته، صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش برای هر دو گیاه در سال دوم اندازه‌گیری شدند. عامل اول آزمایش، کاربرد مالچ کاه و کلش گندم در سه سطح شامل عدم کاربرد مالچ (شاهد)، کاربرد سه تن در هکتار مالچ کاه و کلش گندم برای پوشش جوی‌ها و نیز کاربرد شش تن در هکتار مالچ کاه و کلش گندم برای پوشش جوی‌ها و پشته‌ها بود. مالچ از مزرعه‌ای دیگر تهیه و به مکان آزمایش منتقل و توسط دست بر روی سطح خاک پخش گردید. دومین عامل آزمایش شامل نسبت‌های کاشت مخلوط استویا و گل‌گاوزبان ایرانی به روش جایگزینی (۱۰۰ درصد استویا، ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گاوزبان، ۵۰ درصد استویا - ۵۰ درصد گل‌گاوزبان، ۷۵ درصد استویا - ۲۵ درصد گل‌گاوزبان و ۱۰۰ درصد گل‌گاوزبان ایرانی) بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

(Goyal et al., 2010). گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) (Fisch. & C.A. Mey. گیاهی علفی، چندساله، روز بلند، و متعلق به خانواده گاوزبان (Boraginaceae) می‌باشد (Akbarnia et al., 2009). بذر گونه‌های مختلف گل‌گاوزبان درصد بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع امگا-۳ و امگا-۶ را دارا می‌باشند (Baker et al., 2016). حضور اسیدهای چرب ضروری غیراشباع دارای ارزش تغذیه‌ای در گل‌گاوزبان ایرانی نشان‌دهنده این است که روغن دانه گل‌گاوزبان ایرانی دارای استعداد بالقوه جهت استفاده به عنوان منبع اسیدهای چرب برای صنایع دارویی، غذایی و آرایشی می‌باشد (Hosseinpour et al., 2012). هدف از اجرای این آزمایش، به طور ویژه، بررسی اثر پوشش خاک با مالچ کاه و کلش گندم بر تحمل گیاه گرمسیری استویا به دمای پایین زمستان شهرستان در اراک بود. همچنین با توجه به فنوتیپ و مراحل رشد و نمو استویا و گل‌گاوزبان ایرانی، در کشت مخلوط این دو گیاه، امکان حمایت دو گیاه از یکدیگر در مقابل تنش‌های محیطی، بهره‌وری بهتر از منابع و نیز کاهش رقابت درون گونه‌ای وجود داشت. گل‌گاوزبان ایرانی در سال اول محصول ندارد، ولی دارای محصول قابل برداشت است، بنابراین، در کشت مخلوط دو گیاه، برداشت محصول استویا در سال اول به لحاظ اقتصادی می‌تواند برای کشاورز درآمد ایجاد کند. در این راستا، ارزیابی اختلاط و تلفیق دو عامل کاربرد مالچ و کشت مخلوط بر برخی شرایط محیطی و ویژگی‌های کمی و کیفی دو گیاه، موضوع جذابی بود که در این پژوهش به آن پرداخته شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical properties of the experimental farm soil

عمق نمونه برداری Sampling depth (cm)	هدایت الکتریکی پی‌اچ EC (mmhos.cm ⁻¹)	مواد آلی Organic materials (%)	عناصر غذایی Nutrient elements (mg.kg ⁻¹)			بافت Texture
			نیتروژن (کل) N	فسفر P	پتاس K	
30	0.9	0.4	4	9	286	لومی رسی Clay loam

متر و دارای شش خط به طول سه متر بود. فاصله بین کرت‌ها ۵/۰ متر در نظر گرفته شد. فاصله خطوط کاشت و نیز فاصله بوته‌ها روی خط کاشت برای هر دو گیاه استویا و گل‌گاوزبان ایرانی ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت گیاه استویا و گل‌گاوزبان ایرانی از طریق

عملیات خاک‌ورزی شامل شخم عمیق و سپس دیسک عمود بر آن برای خرد کردن کلوخه‌ها و عملیات کوددهی و دیسک عمود بر دیسک اول جهت مخلوط کردن کود فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) با خاک و سپس عملیات تسطیح بود. هر کرت به عرض سه

نشاکاری به وسیله دست و با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه در اواخر اردیبهشت ماه و در یک روز انجام شد. نشاهای استویا و گاوزبان ایرانی از شرکت زرین گیاه ارومیه و در مرحله ۵-۶ برگ‌ی تهیه گردیدند. کود نیتروژن به صورت سرک در دو مرحله به گیاهان داده شد. به همین خاطر، ۵۰ درصد کود نیتروژن به فاصله ۲۰ روز بعد از کشت نشاها به گیاهان داده شد و ۵۰ درصد مابقی نیز به مدت ۴۰ روز بعد از کشت نشاها به مزرعه داده شد. به این منظور، برای تأمین کود نیتروژن مورد نیاز از کود اوره استفاده گردید (۱۵۰ کیلو گرم نیتروژن خالص در هکتار).

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار تا آخر فصل رشد به صورت قطره‌ای (نوار تیپ) انجام شد. پس از گذشت سه هفته و مستقر شدن گیاهان اقدام به اعمال تیمار کاه‌وکش گندم گردید. برای اندازه‌گیری دما در زیر و بالای سطح مالچ در فواصل زمانی مشخص در فصول مختلف سال از دماسنج استفاده شد، در فواصل زمانی مشخص در فصول مختلف (تابستان و زمستان) با استفاده از دماسنج، میزان دما در زیر سطح پوشش مالچ و بالای سطح خاک و نیز بالای سطح مالچ و در زیر تاج‌پوشش گیاه اندازه‌گیری شد. فلور علف‌های هرز مزرعه شامل یولاف وحشی (*Avena fatua* L.)، پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.)، خاکشیر (*Descurainia sophia* L.)، پنیرک (*Malva sylvestris* L.)، بومادران (*Achillea santolina* L.)، گل گندم (*Centaurea depressa* M. Bieberstein) و کاهو وحشی (*Lactuca serriola* L.) بود. در سال اول اجرای آزمایش، برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته استویا، در هر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و با متر اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۵ سانتی‌متری، توسط رینگ استوانه‌ای با حجم ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب از هر کرت انتخاب و بلافاصله وزن گردید و سپس در دستگاه آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت جهت تعیین وزن خشک دوباره توزین گردید. درصد رطوبت حجمی خاک هر تیمار آزمایش توسط معادله ۱ محاسبه شد (Jahantigh et al., 2021):

$$Q_t = V_m / V_t \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، Q_t : درصد رطوبت حجمی، V_m : تفاوت وزن مرطوب و وزن خشک (حجم آب خاک) و V_t : حجم کل نمونه خاک ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب است.

زیست‌توده علف‌های هرز مزرعه با استفاده از کادر ۰/۵ در ۰/۵ متر در سال دوم و همزمان با مرحله رشد کامل رویشی مشخص گردید. برای اندازه‌گیری اسیدهای چرب گل گاوزبان، چهار میلی‌گرم از ماده نمونه خشک بذر (در سال دوم) در داخل ویال دو میلی‌لیتر ریخته شد و به آن ۳۰۰ میکرولیتر از محلول اسید سولفوریک دو درصد در متانول اضافه شد، سپس درب ویال‌ها با پارافیلیم به دقت پوشانده گردید تا از تبخیر متانول جلوگیری شود. سپس ویال‌ها به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. در ادامه به مدت دو ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و ۷۵۰ دور بر دقیقه داخل ترمو میکسر قرار گرفت. سپس ویال‌ها به مدت پنج دقیقه در دمای اتاق سرد شدند. در مرحله بعد، ۳۰۰ میکرولیتر سدیم کلرید ۰/۹ درصد و ۳۰۰ میکرولیتر از هگزان به آن اضافه گردید و به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شد، در ادامه به مدت پنج دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد با دور ۳۰۰۰ سانتریفیوژ گردید تا دو فاز تشکیل شد، سپس از فاز روی مقدار یک میکرولیتر هگزان برداشت شد. در مرحله بعد، متیل استر اسیدهای چرب به دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC) تزریق شد (Ghanbari Moheb Seraj et al., 2022).

ویژگی‌های دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC):

ستون سیلیس ذوب‌شده (100 m, 0.25 mm I.D, film thickness 0.25 μm)، دمای تزریق مواد (300 °C)، نسبت تقسیم (1:20)، گاز نیتروژن (1 mL.min⁻¹)، دمای آون (130 °C, 4min, 5)، دمای آشکارساز (280 °C)، دمای آشکارساز شامل (Hydrogen: 40 mL.min⁻¹; Air 400 mL.min⁻¹; Nitrogen make-up gas: 30 mL.min⁻¹) و آشکارساز یونیزاسیون شعله (FID) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری درصد گلیکوزیدهای استویا، نمونه برگ‌ها از سه محل برگ‌های پایینی، میانی و بالایی گیاه از هر کرت جمع‌آوری و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توسط آسیاب، پودر گردید. جهت آماده کردن نمونه برای هر کرت، ۰/۵ گرم پودر نمونه در ۵۰ سی‌سی اتانول ۷۰ درصد حل گردید، سپس از طریق دستگاه HPLC بعد از کالیبراسیون دستگاه اقدام به اندازه‌گیری درصد گلیکوزیدهای برگ استویا شد (Allam et al., 2001).

مشخصات دستگاه HPLC:

ستون: C_{18} , 4 mm, 5 μ m, دکتور: UV (طول موج ۲۱۰ نانومتر)، سرعت جریان فاز متحرک Flow rate = 1 ml/min و دمای ستون 40°C و Run time = 25 min

گل‌گاوزبان در سال اول دارای رشد رویشی بود و گل‌دهی اصلی گل‌گاوزبان در سال دوم و در ماه اردیبهشت صورت گرفت. برای محاسبه عملکرد گل خشک گل‌گاوزبان، ردیف‌های کناری و نیز بوته‌های واقع در ابتدا و انتهای کرت‌ها حذف شد. سپس چهار بوته از ردیف‌های وسط کرت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. گل‌ها در دمای محیط و در سایه خشک شد. سپس با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم، وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. محاسبات آماری و تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و با استفاده از نرم‌افزار EXCEL و روش مقایسه میانگین آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) بود.

نتایج و بحث**زیست‌توده علف هرز**

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل سطوح مالچ کاه و کلش گندم و کشت مخلوط بر صفت اندازه‌گیری زیست‌توده علف هرز معنی‌دار شد. مقایسات میانگین‌ها نشان داد که بیشترین زیست‌توده علف هرز (۲۶۰ گرم بر مترمربع) مربوط به تیمار کشت خالص استویا و عدم مصرف مالچ بود. کمترین زیست‌توده علف هرز (۶۰ گرم بر مترمربع) در تیمار کشت خالص گل‌گاوزبان و پوشش کامل جوی و پشته توسط مالچ به دست آمد. احتمال دارد که کاهش علف‌های هرز به دلیل رشد انبوه و غلبه بوته‌های گل‌گاوزبان در رقابت با علف‌های هرز و همچنین پوشش کامل سطح خاک در جوی و پشته‌ها با استفاده از کاه و کلش گندم باشد. در تیمارهای کشت خالص استویا و عدم مصرف مالچ کاه و کلش گندم، فضای کافی و مناسب‌تری برای علف‌های هرز به منظور استفاده از منابع وجود داشت، به همین دلیل ممکن است که در ترکیب تیماری مذکور، رشد علف‌های هرز زیاده‌تر شده باشد. در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) کاربرد بقایای گندم به میزان هشت تن در هکتار، بعد از تیمار وجین دستی کم‌ترین تراکم علف‌های هرز را داشت که به لحاظ

آماری معادل با کاربرد تیمار علف‌کش تری فلورالین بود (Shahbyki et al., 2017). در کشت مخلوط گندم – عدس (*Lens culinaris Medik.*) (Carr et al., 1995) و در کشت مخلوط یولاف (*Avena sativa* L.) – شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) (Holland et al., 1999) نیز کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در سیستم‌های کشت مخلوط، عامل اصلی افزایش کارایی و عملکرد در کشت مخلوط گزارش شده است. همچنین در کشت مخلوط با نسبت ۵۰ درصد گل‌گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و ۵۰ درصد سویا (*Glycine max* L.)، زیست‌توده و تراکم علف هرز نسبت به کشت خالص گل‌گاوزبان اروپایی کاهش معنی‌دار داشت (Bagheri Shirvan et al., 2014).

اندازه‌گیری دمای زیر پوشش مالچ در تابستان

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل سطوح مالچ کاه و کلش گندم و کشت مخلوط معنی‌دار شد. کم‌ترین دما در زیر مالچ (۳۲ درجه سانتی‌گراد) مربوط به تیمار کشت مخلوط با نسبت‌های ۵۰ درصد استویا – ۵۰ درصد گل‌گاوزبان، ۷۵ درصد گل‌گاوزبان – ۲۵ درصد استویا، و کشت خالص گل‌گاوزبان و پوشش کامل جوی و پشته توسط مالچ به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که پوشش کامل جوی و پشته توسط مالچ موجب کاهش دما در فصل گرم تابستان گردید که نتایج آن با تیمار کشت مخلوط که درصد گل‌گاوزبان بالای ۵۰ درصد بود مشابهت داشت. کاهش دما در محیط تاج‌پوشش گیاهان در فصل تابستان می‌تواند ضمن حفظ رطوبت مورد نیاز گیاه، به رشد بهتر آن‌ها کمک کند. مالچ با تغییر دمای خاک، منجر به تغییر رژیم‌های حرارتی خاک می‌گردد (Arora et al., 2011). در پژوهشی در شمال غرب چین مشخص شد که استفاده از مالچ گندم منجر به نگهداشت ۷/۴ درصد رطوبت خاک و کاهش سه درصد دمای خاک در مزارع سویا گردید (Akhtar et al., 2019). مالچ به صورت بقایای سطحی می‌تواند با ایجاد عایق‌بندی سطح خاک، بر دمای خاک اثر بگذارد (Acharya et al., 2005).

جدول ۲- تجزیه واریانس (مجموع مربعات) رطوبت حجمی خاک، دمای زیر مالچ و زیست توده علف های هرز تحت نسبت های کشت مخلوط و سطوح مالچ

Table 2- Analysis of variance (sum of squares) of volumetric soil moisture, the temperature under the mulch and weed biomass under intercropping ratios and mulch levels

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	مجموع مربعات Sum of squares				زیست توده علف هرز Weed biomass
		رطوبت حجمی Volumetric soil moisture		دمای زیر مالچ The temperature under the mulch		
		سال اول First year	سال دوم Second year	تابستان Summer	زمستان Winter	
تکرار Replication	2	0.012 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.533 ^{ns}	0.577 ^{ns}	71.2 ^{ns}
نسبت کاشت Planting ratio	4	43.1 ^{**}	76.5 ^{**}	5.46 [*]	0.800 ^{ns}	103 ^{**}
مالچ Mulch	2	366 ^{**}	368 ^{**}	261 [*]	61.9 ^{**}	615 ^{**}
نسبت کاشت × مالچ Planting ratio × mulch	8	10.1 ^{**}	11.1 ^{**}	5.06 [*]	0.533 ^{ns}	293 ^{**}
خطا Error	28	0.277	0.365	4.80	2.75	122
ضریب تغییرات (%) CV (%)		1.14	1.26	1.96	13.1	1.32

^{ns}, ^{**} و ^{*}: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال یک درصد و معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

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

اندازه گیری دمای زیر پوشش مالچ در زمستان

اثر مالچ بر دمای زیر سطح مالچ در فصل زمستان معنی دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین ها نشان داد که بیشترین دما در زیر مالچ (۳/۸۶) درجه سانتی گراد) با پوشش کامل جوی و پشته توسط مالچ به دست آمد (جدول ۴). گیاه استویا متعلق به اقلیم گرم و مرطوب می باشد و در شرایط تنش سرما و خشکی دچار آسیب دیدگی می گردد. در فصل زمستان به دلیل اینکه در سطح مزرعه بوته های استویا در پایان فصل رشد برداشت گردید، تنها پوشش مالچ کاه و کلش گندم توانست موجب تغییرات دما گردد. پوشش مالچ مانند یک عایق حرارتی باعث افزایش دما در زیر کاه و کلش گندم شد. در آزمایشی، کم ترین دمای سطح خاک در ظهر به ترتیب در زیر مالچ گندم و یونجه در مقدار هشت تن در هکتار مشاهده شد. همچنین بیشترین دمای سطح خاک در شب به ترتیب در زیر مالچ گندم (۲۱/۹) درجه سانتی گراد) و یونجه (*Medicago sativa* L.) (۲۰/۲) درجه سانتی گراد) هشت تن در هکتار به دست آمد (Basereh et al., 2015). مالچ ها به علت گرم نگهداشتن خاک باعث بهبود کیفیت

میوه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، افزایش عملکرد و برداشت زود هنگام شدند (Moreno et al., 2008).

رطوبت حجمی خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مالچ کاه و کلش گندم و کشت مخلوط بر صفت رطوبت حجمی هر دو سال همزمان با رشد کامل هر دو گیاه مورد کشت معنی دار گردید (جدول ۲). مقایسات میانگین ها (جدول ۳) نشان داد که بیشترین میزان رطوبت حجمی در سال اول (۱۲/۰۷ درصد) مربوط به تیمار کشت خالص گاو زبان و مصرف کامل جوی و پشته مالچ بود و کمترین میزان رطوبت حجمی (۲/۵ درصد) مربوط به تیمار کشت خالص استویا و عدم مصرف مالچ به دست آمد، همچنین بیشترین میزان رطوبت حجمی در سال دوم نیز مربوط به کشت خالص گاو زبان (۱۲/۷ درصد) و مصرف کامل جوی و پشته مالچ بود و کمترین میزان رطوبت حجمی (۲/۰۳ درصد) در تیمار کشت خالص استویا و عدم مصرف مالچ به دست آمد.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های زیست‌توده علف‌های هرز، دمای زیر مالچ در تابستان و رطوبت حجمی تحت نسبت‌های کشت مخلوط و سطوح مالچ

Table 3- Mean comparisons on weed biomass, temperature under mulch in summer and volumetric humidity under intercropping ratios and mulch levels

نسبت کاشت Planting ratio	مالچ Mulch	زیست‌توده علف هرز Weed biomass (g.m ⁻²)	دمای زیر مالچ در تابستان Temperature under mulch in summer (°C)	رطوبت حجمی Volumetric soil moisture (%)	
				سال اول First year	سال دوم Second year
۱۰۰٪ استویا 100% Stevia	عدم کاربرد No application	260	38.0	2.50	2.03
	مالچ در جوی Mulch on furrow	197	33.3	9.32	9.18
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	179	33.6	10.9	10.6
۷۵٪ استویا و ۲۵٪ گل‌گاوزبان 75% Stevia + 25% Iranian Borage	عدم کاربرد No application	234	38.0	3.21	3.11
	مالچ در جوی Mulch on furrow	177	33.3	8.78	8.92
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	162	33.6	10.3	10.6
۵۰٪ استویا و ۵۰٪ گل‌گاوزبان 50% Stevia + 50% Iranian Borage	عدم کاربرد No application	204	38.0	5.46	5.70
	مالچ در جوی Mulch on furrow	155	33.3	10.2	11.0
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	133	32.3	11.1	11.3
۲۵٪ استویا و ۷۵٪ گل‌گاوزبان 25% Stevia + 75% Iranian Borage	عدم کاربرد No application	170	38.0	6.03	6.72
	مالچ در جوی Mulch on furrow	97	32.6	11.0	11.7
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	81	32.0	11.4	11.8
۱۰۰٪ گل‌گاوزبان 100% Iranian Borage	عدم کاربرد No application	140	38.0	6.15	7.00
	مالچ در جوی Mulch on furrow	77	32.6	11.3	12.0
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	60	32.0	12.0	12.7
حداقل تفاوت معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)		3.4931	0.6925	0.1665	0.1911

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها بالاتر از حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) باشد دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

Means that differ more than the least significant difference (LSD) are significant at the 5% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین دمای زیر مالچ در زمستان سال ۱۴۰۰ تحت سطوح مالچ

Table 4- Means comparison temperature under the mulch in winter (2022) under mulch levels

مالچ Mulch	دمای زیر مالچ در زمستان Temperature under mulch in winter (°C)
عدم کاربرد No application	1.00
مالچ در جوی Mulch on furrow	2.26
مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	3.86
حداقل تفاوت معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)	0.524

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها بالاتر از حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) باشد دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.
Means that differ more than the least significant difference (LSD) are significant at the 5% probability level.

عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در مقایسه با شیوه‌های مرسوم (بدون مالچ) گردید (Chen et al., 2015).

گلیکوزیدهای استویا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مالچ و کشت مخلوط بر صفت گلیکوزیدهای استویا معنی‌دار گردید (جدول ۵-).

مقایسه میانگین‌ها مشخص کرد که بیشترین میزان استویوزید (۳/۷۴ درصد) در نسبت کشت ۷۵ درصد استویا - ۲۵ درصد گاوزبان و مصرف مالچ در جوی به دست آمد. همچنین بالاترین میزان ریودیوزید A (۳/۷۱ درصد) در نسبت کشت ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گاوزبان و بدون کاربرد مالچ و بیشترین ریودیوزید C (۰/۵۵۹ درصد) در نسبت کشت ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گاوزبان و پوشش مالچ در جوی و پشته حاصل گردید. شیرینی برگ‌های استویا به دلیل حضور مخلوط پیچیده‌ای از گلیکوزیدها است. گلیکوزیدهای عمده برگ استویا شامل استویوزید (۹/۱ درصد)، ریادیوزید A (۳/۸ درصد)، ریادیوزید C (۰/۶ درصد) و دولکوزید (۰/۳ درصد) است (Abdullateef et al., 2011). هدف از تولید گیاه استویا، تولید شیرین کننده بدون کالری طبیعی و جایگزین کردن آن به جای شیرین کننده‌های غیر طبیعی مضر است.

نتایج آزمایش نشان داد که گیاه گاوزبان به دلیل رشد انبوه و گسترده می‌تواند با پوشش حداکثر سطح زمین، موجب کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش رطوبت حجمی گردد، همان گونه که در کشت خالص استویا و عدم کاربرد مالچ باعث شده است که سطح خاک در بین فواصل گیاهان بدون پوشش و موجب افزایش تبخیر و کاهش رطوبت حجمی در خاک شود. همچنین تیمارهای با پوشش جوی و پشته توسط مالچ و در کنار رشد گسترده بوته‌های گاوزبان باعث سایه‌اندازی در سطح خاک گردیده و موجب حفظ رطوبت خاک شده است. در آزمایشی که روی گیاهان مقاوم به خشکی و گیاهان بومی مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند انواع کاکتوس و نیز برخی از گونه‌های علفی و بوته‌ای انجام شد، استفاده از مالچ و کاه بر روی خاک بدون پوشش نشان داد که میزان تبخیر از سطح خاک از ۱۱ تا ۸۴ درصد برای یک دوره کوتاه‌مدت و نصف این میزان را در دراز مدت کاهش داد (Burt et al., 2002). در پژوهشی، کاربرد مالچ کاه و کلس گندم در سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار به ترتیب باعث افزایش ۱/۱، ۱/۲۵ و ۱/۲۵ برابری مقدار آب قابل دسترس خاک شد (Jordan et al., 2010). در تحقیقی، اثرات مالچ پلاستیکی همراه با مالچ کاه و کلس بر مقدار رطوبت خاک، درجه حرارت، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم زمستانی به مدت سه سال در چین مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که کاربرد مالچ پلاستیکی به همراه مالچ کاه و کلس، به ترتیب موجب افزایش ۳۵ و ۲۵ درصدی

جدول ۵- تجزیه واریانس (مجموع مربعات) ریبودیوزید A، استویوزید، ریبودیوزید C و ارتفاع بوته استویا تحت نسبت‌های کشت مخلوط و سطوح مالچ

Table 5- Analysis of variance (sum of squares) of ribodioside A, steviozide, ribodioside C and height of stevia plant under intercropping ratios and mulch levels

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	مجموع مربعات Sum of squares			
		ریبودیوزید A Ribodioside A	استویوزید Steviozide	ریبودیوزید C Ribodioside C	ارتفاع بوته استویا Height of stevia plant
تکرار Replication	2	0.007 ^{ns}	0.00028 ^{ns}	0.00024 ^{ns}	25.3
نسبت کاشت Planting ratio	4	21.7 ^{**}	2.85 ^{**}	0.315 ^{**}	3726 ^{**}
مالچ Mulch	2	11.6 ^{**}	9.51 ^{**}	0.048 ^{**}	750 ^{**}
نسبت کاشت × مالچ Planting ratio × mulch	8	6.39 ^{**}	5.07 ^{**}	0.286 ^{**}	49.1 [*]
خطا Error	28	0.183	0.031	0.011	71.2
ضریب تغییرات (%) CV (%)		6.74	1.37	6.30	3.51

^{ns}, ^{**} و ^{*}: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

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

(al., 2017). در پژوهش دیگری گزارش شد که عدم مبارزه با علف‌های هرز می‌تواند عملکرد اسانس در بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L. را تا ۹۰ درصد کاهش دهد (Forouzin et al., 2011).

ارتفاع بوته استویا

اثر متقابل مالچ و نسبت کاشت در صفت ارتفاع بوته استویا معنی‌دار شد (جدول ۵). بالاترین ارتفاع بوته استویا در تیمار کشت خالص استویا و پوشش کامل جوی و پشته توسط مالچ مشاهده شد که نسبت به کم‌ترین ارتفاع بوته در نسبت کشت ۲۵ درصد استویا و ۷۵ درصد گاوزبان و عدم مصرف مالچ، ۱۲۱ درصد اختلاف داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد که با توجه با نیاز بالای استویا به رطوبت قابل دسترس جهت رشد، مالچ کاه‌وکلش گندم می‌تواند با حفظ رطوبت، شرایط را برای رشد بهتر استویا نسبت به تیمارهای با مقدار متوسط مالچ و فاقد مالچ فراهم نماید. در آزمایشی بالاترین ارتفاع بوته بامیه، با کاربرد مالچ‌های برگ انبه و پلی‌اتیلن و کم‌ترین ارتفاع بوته در شاهد مشاهده شد (Manasar et al., 2022).

در همین راستا راهکارهایی که موجب بهبود عملکرد و تولید گیاه گردد، مورد توجه می‌باشد. به نظر می‌رسد که وجود گیاه گاوزبان و کاربرد مالچ در سطح خاک، از طریق حفظ رطوبت در سطح خاک و خنک‌تر نگهداشتن خاک در فصل گرم، باعث تحریک رشد گیاه استویا شده و رشد بیشتر گیاه موجب استفاده مطلوب‌تر از عناصر غذایی و شرایط محیطی مناسب و در نتیجه، افزایش درصد گلیکوزیدهای استویا شده است. تحقیقات نشان داده است که در شرایط کاربرد مالچ کاه‌وکلش (نه تن در هکتار)، بیشترین عملکرد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) (۳/۱۷ درصد) به دست آمد و در شرایط عدم کاربرد مالچ، عملکرد اسانس (۲/۹۳ درصد) دچار کاهش گردید (Sharifi et al., 2022). همچنین با ۷۵ درصد سهم گاوزبان در کشت مخلوط و استفاده از مالچ کاه‌وکلش، کاهش رشد علف‌های هرز مشاهده گردید. احتمال دارد که افزایش درصد گلیکوزیدها در استویا با بهره‌وری بالاتر از منابع قابل دسترس و شرایط رشد مناسب‌تر مربوط باشد. در پژوهش روی گیاه دارویی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.)، رشد و گسترش علف‌های هرز باعث کاهش میزان رشد در گیاه گردید و علف‌های هرز با تخلیه عناصر غذایی از خاک در نهایت، باعث کاهش میزان اسانس شدند (Gity et

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های ریبودیوزید A، استویوزید، ریبودیوزید C و ارتفاع بوته استویا تحت نسبت‌های کشت مخلوط و سطوح مالچ
Table 6- Mean comparisons on ribodioside A, steviozide, Ribodioside C and height of stevia plant under intercropping ratios and mulch levels

نسبت کاشت Planting ratio	مالچ Mulch	ریبودیوزید A Ribodioside A (%)	استویوزید Steviozide (%)	ریبودیوزید C Ribodioside C (%)	ارتفاع بوته استویا Height of stevia plant (cm)
۱۰۰٪ استویا 100% Stevia	عدم کاربرد No application	0.749	1.84	0.162	54.0
	مالچ در جوی Mulch on furrow	0.495	2.25	0.281	63.3
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	1.19	3.06	0.296	68.6
۷۵٪ استویا و ۲۵٪ گل‌گاوزبان 75% Stevia + 25% Iranian Borage	عدم کاربرد No application	2.72	1.87	0.343	49.0
	مالچ در جوی Mulch on furrow	0.365	3.74	0.424	56.6
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	1.22	2.29	0.353	60.3
۵۰٪ استویا و ۵۰٪ گل‌گاوزبان 50% Stevia + 50% Iranian Borage	عدم کاربرد No application	1.30	1.73	0.321	47.0
	مالچ در جوی Mulch on furrow	0.428	3.44	0.506	53.6
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	0.002	3.35	0.091	58.3
۲۵٪ استویا و ۷۵٪ گل‌گاوزبان 25% Stevia + 75% Iranian Borage	عدم کاربرد No application	3.71	2.68	0.517	31.0
	مالچ در جوی Mulch on furrow	1.79	3.35	0.418	34.6
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	2.24	3.42	0.559	38.0
حداقل تفاوت معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)		0.1547	0.0641	0.038	3.04

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها بالاتر از حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) باشد دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

Means that differ more than the least significant difference (LSD) are significant at the 5% probability level.

نسبت به ارتفاع بوته گندم در کشت مخلوط گندم با نخود (*Cicer arietinum* L.)، کلزا (*Brassica campestris* L.) و کتان (*Linum usitatissimum* L.) بالاتر بود (Singh et al., 2024).

اسیدهای چرب گل‌گاوزبان

اثر متقابل مالچ و نسبت کاشت بر اسیدهای چرب پالمیتیک اسید، اولئیک اسید، استئاریدونیک اسید، لینولئیک اسید، استئاریک اسید و گامالینولئیک اسید معنی‌دار گردید (جدول ۷). نتایج مقایسه

همچنین با کاهش نسبت استویا در کشت مخلوط، ارتفاع گیاه استویا نیز کاهش یافت، به‌طوری‌که بالاترین ارتفاع در کشت خالص و کم‌ترین ارتفاع در نسبت کشت ۲۵ درصد استویا و ۷۵ درصد گل‌گاوزبان مشاهده شد. در کشت خالص استویا، همه گیاهان هم‌شکل و هم ارتفاع بودند و تاج‌پوشش شکل یکنواختی داشت، بنابراین شاید در کشت خالص استویا، رقابت برای دریافت نور میان بوته‌ها نسبت کشت‌های ناخالص بالاتر بوده و گیاهان برای دریافت نور رشد طولی بیشتری نمودند. در آزمایشی، ارتفاع بوته گندم در کشت خالص گندم

میانگین‌ها (جدول ۸) نشان داد که بیشترین درصد پالمیتیک اسید در نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گل‌گاوزبان و کشت خالص و بدون کاربرد مالچ به دست آمد که با کم‌ترین درصد پالمیتیک اسید که در نسبت کاشت ۷۵ درصد استویا - ۲۵ درصد گل‌گاوزبان و مالچ در جوی و پشته مشاهده شد، یک درصد تفاوت داشت. همچنین بیشترین و کم‌ترین درصد استتاریک اسید به ترتیب در شرایط بدون کاربرد مالچ و نسبت کاشت کشت ۷۵ درصد استویا - ۲۵ درصد گل‌گاوزبان و کشت خالص و مالچ در جوی و پشته و نسبت کاشت ۷۵ درصد استویا - ۲۵ درصد گل‌گاوزبان به دست آمد که تفاوت ۰/۹ درصدی داشتند.

هدف از تولید گاوزبان ایرانی به دلیل خواص دارویی و اسیدهای چرب موجود در آن می‌باشد، در همین راستا راهکارهایی که موجب بهبود عملکرد و تولید گیاه گردد، مورد توجه می‌باشد. هرچه میزان اسیدهای چرب پالمیتیک اسید و استتاریک اسید کمتر باشد، کیفیت روغن بالاتر است، نتایج نشان داد که کاربرد مالچ در جوی و پشته و همچنین کشت مخلوط با درصد بیشتر نسبت استویا در کشت مخلوط موجب کیفیت بهتر در روغن گل‌گاوزبان می‌گردد. در تحقیقی مشخص شد که بیشترین میزان پالمیتیک اسید (۱۰/۵۸ درصد) در کشت خالص بادام زمینی و کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم فسفر

به صورت سوپرفسفات تریپل توأم با ۲۰۰ گرم فسفات بارور ۲ به دست آمد و کم‌ترین میزان پالمیتیک اسید (۷/۳۸ درصد) در کشت مخلوط بادام زمینی - ذرت و تحت شرایط مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر به صورت سوپرفسفات تریپل مشاهده شد. نظام کشت مخلوط، میزان اسید پالمیتیک روغن بادام زمینی را در مقایسه با کشت خالص آن کاهش داد و نشان داد که نظام کشت مخلوط می‌تواند میزان اسید چرب اشباع شده پالمیتیک را کاهش و کیفیت روغن بادام زمینی را بهبود بخشد. (Rezapour Kavishahi et al., 2021).

بیشترین میزان استتاریدونیک اسید (۷/۳۶ درصد) در نسبت‌های کشت خالص گاوزبان، ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گاوزبان، ۷۵ درصد استویا - ۲۵ درصد گل‌گاوزبان و بدون کاربرد مالچ حاصل گردید. در استتاریدونیک اسید تفاوتی بین کشت خالص و نسبت‌های مخلوط دیده نشد و تیمار بدون مالچ بالاترین میزان را به خود اختصاص داد، به نظر می‌رسد که عدم کاربرد مالچ موجب شده است تا گیاه گاوزبان برای مقابله با تنش سرما در طول فصل سرد سال با تولید استتاریدونیک اسید باعث سازگاری بیشتر این گیاه با شرایط محیطی گردد.

جدول ۷- تجزیه واریانس (مجموع مربعات) اسیدهای چرب و عملکرد گل خشک در گل‌گاوزبان تحت نسبت‌های کشت مخلوط و سطوح مالچ
Table 7- Analysis of variance (sum of squares) of Echium amoenum fatty acids and dried flower yield under intercropping ratios and mulch levels

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	مجموع مربعات Sum of squares							عملکرد گل خشک Dried flower yield
		پالماتیک اسید Palmitic acid	استتاریک اسید Stearic acid	اولئیک اسید Oleic acid	لینولئیک اسید Linoleic acid	گاما لینولئیک اسید Gammalinoleic acid	آلفا لینولئیک اسید Alphalinoleic acid	استتاریدونیک اسید Stearidonic acid	
تکرار Replication	2	0.0005 ^{ns}	0.120 ^{ns}	0.065 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.003 ^{ns}	64.0 ^{ns}	0.046 ^{ns}	38.8 ^{ns}
نسبت کاشت Planting ratio	3	0.654 ^{**}	0.284 [*]	2.77 ^{**}	4.11 ^{**}	0.101 ^{ns}	104 ^{ns}	0.099 [*]	85770 ^{**}
مالچ Mulch	2	1.19 ^{**}	0.865 [*]	74.8 ^{**}	175 ^{**}	9.24 ^{**}	45.3 ^{ns}	89.8 ^{**}	217434 ^{**}
نسبت کاشت × مالچ Planting ratio × mulch	6	0.193 [*]	0.970 ^{**}	1.19 [*]	5.25 ^{**}	0.022 ^{ns}	192 ^{ns}	0.097 [*]	35330 ^{**}
خطا Error	22	0.224	0.536	0.810	0.149	0.275	180	0.069	1834
ضریب تغییرات (%) CV (%)		0.99	3.30	0.99	0.375	3.75	16.4	1.11	1.26

^{ns}, ^{**} و ^{*}: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

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

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های پالماتیک اسید، استئاریک اسید، اولئیک اسید، لینولئیک اسید، استئاریدونیک اسید و عملکرد گل خشک در گیاه گل‌گاوزبان تحت نسبت‌های کشت مخلوط و سطوح مالچ

Table 8- Mean comparisons on palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, stearidonic acid and dried flower yield under intercropping ratios and mulch levels

نسبت کاشت Planting ratio	مالچ Mulch	پالماتیک اسید Palmitic acid (%)	استئاریک اسید Stearic acid (%)	اولئیک اسید Oleic acid (%)	لینولئیک اسید Linoleic acid (%)	استئاریدونیک اسید Stearidonic acid (%)	عملکرد گل خشک Dried flower yield (kg.ha ⁻¹)
۷۵٪ استویا و ۲۵٪ گل‌گاوزبان	عدم کاربرد No application	10.4	4.94	18.2	19.1	7.28	556
75% Stevia + 25% Iranian Borage	مالچ در جوی Mulch on furrow	10.0	4.95	18.0	21.5	4.11	727
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	9.92	4.05	20.9	24.4	3.65	630
۵۰٪ استویا و ۵۰٪ گل‌گاوزبان	عدم کاربرد No application	10.0	4.80	18.4	19.0	7.08	588
50% Stevia + 50% Iranian Borage	مالچ در جوی Mulch on furrow	9.97	4.77	18.0	22.0	4.21	816
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	9.96	4.45	21.1	24.3	3.66	837
۲۵٪ استویا و ۷۵٪ گل‌گاوزبان	عدم کاربرد No application	10.5	4.70	17.9	18.8	7.33	632
25% Stevia + 75% Iranian Borage	مالچ در جوی Mulch on furrow	10.3	4.70	18.3	23.0	4.26	805
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	10.1	4.64	21.6	24.0	3.66	815
۱۰۰٪ گل‌گاوزبان	عدم کاربرد No application	10.0	4.91	18.6	19.2	7.36	674
100% Iranian Borage	مالچ در جوی Mulch on furrow	9.85	4.85	18.8	23.6	4.25	776
	مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	9.95	4.85	21.8	24.7	3.73	811
حداقل تفاوت معنی‌دار (%) LSD (5%)		0.1711	0.2644	0.325	0.1398	0.0954	15.4

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها بالاتر از حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) باشد دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

Means that differ more than the least significant difference (LSD) are significant at the 5% probability level.

استویا - ۷۵ درصد گل‌گاوزبان و کشت خالص گاوزبان و کاربرد مالچ در جوی و پشته به‌دست آمد که با کم‌ترین درصد اولئیک اسید که در نسبت کاشت ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گاوزبان و بدون کاربرد مالچ مشاهده شد، چهار درصد تفاوت دارد. همچنین بیشترین و

تحقیقات نشان داده است که میزان اسیدهای چرب غیراشباع دانه‌های روغنی گل‌گاوزبان در مناطق سرد بیشتر از مناطق گرم می‌باشد (Lajara et al., 1990).
بیشترین درصد اولئیک اسید در نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصد

کم‌ترین درصد لینولئیک اسید به‌ترتیب از کاربرد مالچ در جوی و پشته و نسبت کاشت ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گاوزبان و کشت خالص گاوزبان و بدون کاربرد مالچ و نسبت کاشت ۲۵ درصد استویا - ۷۵ درصد گاوزبان به‌دست آمد که تفاوت شش درصدی داشتند.

بالا بودن میزان اسیدهای چرب غیراشباع موجب کیفیت بیشتر روغن می‌گردد. نتایج نشان داد که استفاده از پوشش جوی و پشته مالچ در مقابل عدم کاربرد مالچ می‌تواند باعث افزایش اسیدهای چرب غیراشباع گردد. در مطالعه‌ای گزارش شده است که بالاترین میزان اسید چرب غیراشباع اولئیک اسید در روغن بادام زمینی در نظام کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی با نسبت ردیف کاشت ۱:۲ حاصل شد و کیفیت روغن بادام زمینی افزایش پیدا کرد (Seyed Noori et al., 2017). در آزمایشی، بیشترین مقادیر اسیدهای چرب لینولئیک، لینولئیک و اولئیک در سیستم کشت مخلوط افزایش ۲۰ درصد بالنگوی شهری (Lallemantia iberica Fisch. & C.A. Mey.) مشاهده شد. در ۱۰۰+ درصد خرفه (Portulaca oleracea L.) مشاهده شد. در مقابل، حداقل مقادیر اسیدهای چرب لینولئیک، لینولئیک و اولئیک در

کشت خالص بالنگوی شهری مشاهده گردید. همچنین دانه بالنگوی شهری در تمامی سیستم‌های کشت مخلوط، درصد روغن بیشتری نسبت به کشت خالص داشت. بیشترین درصد روغن دانه به سیستم کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد بالنگوی شهری + ۱۰۰ درصد خرفه تعلق داشت (Basereh et al., 2015). همچنین گزارش شده است که مقادیر اسیدهای چرب غیراشباع در کشت مخلوط ذرت- سویا بیشتر از کشت خالص بود (Yang et al., 2017).

گامالینولئیک اسید تحت اثر مالچ معنی‌دار گردید. بالاترین درصد گامالینولئیک اسید با کاربرد مالچ پوشش جوی و پشته به دست آمد که با کم‌ترین درصد گامالینولئیک اسید که بدون کاربرد مالچ مشاهده شد، ۱/۲ درصد تفاوت داشت (جدول ۹). نتایج نشان داد که استفاده از مالچ به‌صورت پوشش جوی و پشته شاید از طریق فراهم نمودن شرایط محیطی مناسب شامل حفظ رطوبت کافی، جلوگیری از رشد علف‌های هرز و تعدیل دمای محیط کنوپی گیاه، موجب رشد بهتر و در نتیجه، افزایش درصد اسید چرب غیراشباع گردیده باشد.

جدول ۹- مقایسه میانگین گامالینولئیک اسید در گل گاوزبان تحت سطوح مالچ
Table 9-- Means comparison gammalinolenic acid in Iranian Borage Under mulch levels

مالچ Mulch	گامالینولئیک اسید Gammalinoleic acid (%)
عدم کاربرد No application	2.57
مالچ در جوی Mulch on furrow	3.02
مالچ در جوی و پشته Mulch on furrow and ridge	3.80
حداقل تفاوت معنی‌دار (۵٪) LSD (5%)	0.1897

میانگین‌هایی که اختلاف آن‌ها بالاتر از حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) باشد دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

Means that differ more than the least significant difference (LSD) are significant at the 5% probability level.

هم‌زمانی تشکیل بذر با کاهش دما می‌تواند در افزایش میزان گامالینولئیک اسید مؤثر باشد و حضور اسید گامالینولئیک را می‌توان به دمای نسبتاً سرد در زمان تکامل بذرها نسبت داد، همان‌طور که پژوهش انجام‌شده روی گل مغربی (Oenothera biennis L.) نشان داد که درجه غیراشباعی ترکیب اسیدهای چرب (گامالینولئیک اسید) در سایر محصولات روغنی از جمله گل مغربی، ارتباط معکوس با دمای غالب در طول بلوغ بذر دارد و دمای بالا در اوایل گل‌دهی،

ترکیب اسیدهای چرب را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sekeroglu et al., 2006).

حدود ۹۰ درصد اسیدهای چرب موجود در گاوزبان ایرانی را اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل می‌دهند، انواع اسیدها از اسید لینولئیک ساخته می‌شوند که شامل مرحله غیراشباع‌سازی اسید لینولئیک به‌وسیله آنزیم دلتا ۶ و تبدیل به گاما لینولئیک اسید می‌باشد، همچنین غیراشباع‌سازی لینولئیک اسید توسط آنزیم دلتا ۱۵ و

خشک در نسبت کشت ۵۰ درصد استویا و ۵۰ درصد گاوزبان و نه در تیمار کشت خالص گل‌گاوزبان مشاهده گردید، شاید به‌علت کاهش رقابت درون‌گونه‌ای در گل‌گاوزبان و نفوذ بهتر نور در تاج‌پوشش در نسبت کشت ۵۰ درصد استویا و ۵۰ درصد گاوزبان باشد. در آزمایشی، اثر سه سطح تراکم ۳، ۵ و ۱۰ بوته بر مترمربع گل‌گاوزبان ایرانی و کاربرد انواع کودها (شاهد، ورمی‌کمپوست، کود گاوی و کود شیمیایی) بر عملکرد گل خشک گل‌گاوزبان ایرانی مورد بررسی قرار گرفت و در تراکم سه بوته در مترمربع، استفاده از کود گاوی منجر به افزایش عملکرد گل خشک بیشتر از سایر تیمارها شد (Amiri et al., 2022).

نتیجه‌گیری

مناسب‌ترین صفات اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش در تیمار پوشش جوی و پشته به‌وسیله مالچ به دست آمد، به‌طوری‌که کمترین زیست‌توده علف هرز (۶۰ گرم بر مترمربع)، بالاترین مقدار رطوبت حجمی خاک (۱۲/۷ درصد)، بیشترین میزان اسید چرب غیراشباع لینولئیک اسید (۲۴/۷ درصد) و در کشت خالص گاوزبان حاصل شد. بین نسبت‌های کشت (۷۵ درصد گاوزبان - ۲۵ درصد استویا و کشت خالص گاوزبان) برای صفات اسید چرب غیراشباع اولئیک اسید (۲۱/۸ درصد) و میزان حداقل دمای تاج‌پوشش در تابستان (۳۲ درجه سانتی‌گراد) با پوشش جوی و پشته تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین مقدار گامالینولئیک اسید (۳/۸۰ درصد) و همچنین حداکثر دمای کنوپی در زمستان (۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد) فقط تحت تاثیر اثر مالچ به‌صورت پوشش جوی و پشته قرار گرفت. مالچ داخل جوی و نسبت کشت (۷۵ درصد استویا - ۲۵ درصد گاوزبان) بالاترین میزان استویوزید (۳/۷۴ درصد) را باعث گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان با مصرف خاک‌پوش جوی و پشته (شش تن در هکتار) ضمن رعایت اصول اکولوژیک، موجب تولید بهینه محصول شد. با توجه به عدم تولید گل‌گاوزبان در سال اول، و تولید استویا در تیمارهای کشت مخلوط و نتایج به‌دست‌آمده از تولید محصول هر دو گیاه در سال دوم، مشخص گردید که تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد گاوزبان و ۵۰ درصد استویا در درجه اول و سپس تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد استویا و ۲۵ درصد گل‌گاوزبان مناسب‌ترین نسبت‌های کشت مخلوط می‌باشند.

تبدیل به آلفالینولئیک اسید و در نهایت، تبدیل به استتاریدونیک اسید به‌وسیله آنزیم دلتا ۶ می‌باشد (Guil-Guerrero et al., 2001). اختلاف در میزان اسیدهای چرب در مناطق مختلف می‌تواند در اثر اختلاف در میزان فعالیت آنزیم‌های مؤثر در فرآیندهای تشکیل اسیدهای چرب باشد (Peiretti et al., 2004). گیاه گل‌گاوزبان ایرانی از محدود گیاهان خانواده گاوزبان می‌باشد که بیشترین مقدار آلفا-لینولئیک را در محتوی روغن دانه خود نسبت به سایر گونه‌های جنس *Echium* دارد و این در صورتی است که در حال حاضر، کشورمان به‌عنوان واردکننده مکمل‌ها و داروهای حاوی اسیدهای چرب ضروری آلفا-لینولئیک (امگا-۳) و گاما-لینولئیک (امگا-۶) برای بیماران دارای مشکلات عصبی همچون MS می‌باشد (Hosseinpour et al., 2012) انجام‌شده و مقایسه دو اکوتیپ مختلف در ایران مشخص شده است که بالاترین میزان اسید چرب غیراشباع مربوط به آلفا-لینولئیک (۴۸-۴۶ درصد)، برای اسید چرب اشباع اولئیک (۱۱ درصد) در روغن دانه برآورد شد. گاما-لینولئیک اسید ازجمله اسیدهای چرب نادر و مورد توجه در گیاهان می‌باشد که دارای میزان متوسط (۳۷-۴۸) درصد و همچنین اسید چرب اشباع استتاریک نسبت به سایر اسیدهای چرب اشباع در کم‌ترین مقدار (۳۷-۳۵) درصد در دو اکوتیپ مختلف بود که دارای تفاوت معنی‌داری در بین اسیدهای چرب روغن دانه در هر دو اکوتیپ بود. مقایسه دو اکوتیپ مشخص نمود که در اکوتیپ کرمانشاه، اسیدهای چرب غیراشباع گاما-لینولئیک، آلفا-لینولئیک و استتاریدونیک در بالاترین میزان نسبت به اسیدهای چرب مشابه خود در اکوتیپ نکا بود، در صورتی‌که اسید چرب غیراشباع لینولئیک به‌طور معنی‌داری در اکوتیپ نکا بیشترین مقدار را داشت (Hosseinpour et al., 2012).

عملکرد گل خشک گل‌گاوزبان

اثر متقابل نسبت کشت و مالچ بر صفت عملکرد گل خشک در گل‌گاوزبان معنی‌دار گردید (جدول ۷). بالاترین وزن گل خشک گاوزبان (۸۳۷ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد مالچ کلش گندم در جوی و پشته و نسبت کشت ۵۰ درصد استویا و ۵۰ درصد گاوزبان مشاهده شد که نسبت به کم‌ترین عملکرد گل خشک در ترکیب تیماری عدم کاربرد مالچ و نسبت کشت درصد ۷۰ استویا و ۲۵ درصد گاوزبان به‌میزان ۵۰ درصد بالاتر بود (جدول ۸). اینکه بالاترین عملکرد گل

مراحل مختلف انجام این آزمایش همکاری و مساعدت فرمودند، کمال

تشکر و قدردانی را دارند.

نویسندگان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و

همچنین مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی استان مرکزی که در

References

1. Abdullateef, R.A., & Osman, M. (2011). Studies on effects of pruning on vegetative traits in *Stevia rebaudiana* Bertoni (Compositae). *International Journal of Biology*, 4(1), 146-153. <https://doi.org/10.5539/ijb.v4n1p146>
2. Acharya, C.L., Hati, K.M., & Bandopadhyay, K. (2005). Mulches In: Hillel D. *Encyclopedia of Soils: in the Environment*: Elsevier Publication, 4, 521-532. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00250-2>
3. Akbarnia, A., Chahrchchian, M.M., Baghdadi, H., & Pilehfarosh, M. (2009). *Cultivation of Medicinal Plants* (3rd Volume, Borage Flower) Sayeh Gostar Publications, Tehran, Iran. 60 pp. (In Persian)
4. Akhtar, K., Wang, W., Khan, A., Ren, G., Afridi, M.Z., & Feng, Y. (2019). Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. *Agricultural Water Management*, 211(1), 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.031>
5. Allam, A., Nassar, A., & Besheit, S. (2001). Nitrogen fertilizer requirements of *Stevia rebaudiana* Bertoni under Egyptian condition. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 79(3), 1005-1018. <https://doi.org/10.21608/EJAR.2001.320014>
6. Ali, A., Gull, I., Nas, S., & Afghan, S. (2010). Biochemical investigation during different stages of *in vitro* propagation of *Stevia rebaudiana*. *Pakistan Journal of Botany*, 42(4), 2827-2837.
7. Amiri, M.B., Jahan, M., & Moghaddam, P.R. (2022). An exploratory method to determine the plant characteristics affecting the final yield of *Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey. under fertilizers application and plant densities. *Scientific Reports*, 12(1), 1881. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05724-8>
8. Arora, V.K., Singh, C.B., Sidhu, A.S., & Thind, S.S. (2011). Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. *Agricultural Water Management*, 98, 563-568. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.10.004>
9. Bagheri Shirvan, M., Zaefarian, F., Bicharanlou, B., & Asadi, G. (2014). Evaluation of replacement intercropping of soybean (*Glycine max* L.) with sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) and borage (*Borago officinalis* L.) under weed infestation. *Journal of Agroecology*, 6(1), 70-83. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v6i1.35675>
10. Baker, E.J., Miles, E.A., Burdge, G.C., Yaqoob, P., & Calder, P.C. (2016). Metabolism and functional effects of plant-derived omega-3 fatty acids in humans. *Progress in Lipid Research*, 64, 30-56. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.07.002>
11. Basereh, A., Eslami, S.V., & Aghajani, M. (2015). Evaluating the impact of type and amount of plant stubble mulch on temperature fluctuations of the soil surface. 6th Weed Science Conference, Birjand, Iran. (In Persian with English abstract). <https://civilica.com/doc/736433>
12. Burt, C.M., Mutziger, A., Howes, D.J., & Solomon, K.H. (2002). The effect of stubble and mulch on soil evaporation. Irrigation training and research center BioResource and Agricultral engineering Department of California Polytechnicstat University San Luis Obis. CA 93407-805-756-2433.
13. Cacciola, F., Delmonte, P., Jaworska, K., Dugo, P., Mondello, L., & Rader, J.I. (2011). Employing ultra high pressure liquid chromatography as the second dimension in a comprehensive two-dimensional system for analysis of *Stevia rebaudiana* extracts. *Journal of Chromatography. A*, 1218(15), 2012-2018. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.08.081>
14. Carr, M.P., Gardner, C.J., Schatz, G.B.W.S., Zwinger, W.S., & Guldán, J.S. (1995). Grain yield and weed biomass of a wheat-lentil intercrop. *Agronomy Journal*, 87, 574-579. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030030x>
15. Chen, Y., Liu, T., Tian, X., Wang, X., & Li, M. (2015). Effects of plastic film combined with straw mulch on grain yield and water use efficiency of winter wheat in Loess Plateau. *Filed Crops Research*, 175, 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.11.016>
16. Davis, C.C., & Choisy, P. (2024). Medicinal plants meet modern biodiversity science. *Current Biology*, 34(4),

- 158-173. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.12.038>
17. Feldman, R.S., Holmes, C.E., & Blomgren, T.A. (2000). Use of fabric and compost mulches for vegetable production in a low tillage, permanent bed system: Effects on crop yield and labor. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15(4), 146–153. <https://doi.org/10.1017/S0889189300008705>
18. Florence, A.M., & McGuire, A.M. (2020). Do diverse cover crop mixtures perform better than monocultures? A systematic review. *Agronomy Journal*, 112(5). <https://doi.org/10.1002/agj2.20340>
19. Forouzin, F., & Nour-Abadi, A. (2011). Evaluating the integrated weed management methods in reduction of environmental effects of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). National Symposium of Climate Change and its Effect on Agriculture and Environment. Orumiyeh, Iran. (In Persian with English abstract)
20. Ghanbari Moheb Seraj, R., Ahmadikhah, A., Shariati, V., & Dezhsetan, S. (2022). Comparison of fatty acids and hydrocarbons of milk thistle in different levels of water stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(3), 592-605. (In Persian with English abstract)
21. Gity, S., & Raoofy, M. (2017). Yield, essential oil and some morphological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) influenced by hand weeding and plant density. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1), 13-23. [20.1001.1.24764310.1396.27.1.2.2](https://doi.org/10.1001.1.24764310.1396.27.1.2.2)
22. Goyal, S.K., Samsher, & Goyal, R.K. (2010). Stevia (*Stevia rebaudiana*) a bio-sweetener: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(1), 1–10. <https://doi.org/10.3109/09637480903193049>
23. Guil-Guerrero, J.L., García-Maroto, F., & Giménez, A. (2001). Fatty acid profiles from forty-nine plant species that are potential new sources of γ -linolenic acid. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78, 677-684. <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0325-9>.
24. Holland, J.B., & Brummer, E.C. (1999). Cultivar effects on oat–berseem clover intercrops. *Agronomy Journal*, 91, 321-329. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100020023x>
25. Hosseinpour Azad, N., Nematzadeh, G., Azadbakht, M., Kazemitabar, S., & Shokri, E. (2012). Investigation on fatty acids profile in two ecotypes of Iranian *Echium amoenum* Fisch & Mey. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(4), 587-595. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4508>
26. Jahantigh, M., Dahmardeh, M., Galavi, M., Khammari, I., & Piri, H. (2021). Evaluation of wind sand and domestic manure levels on growth indices and Allicene content in garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Arid Biome*, 11(1), 93-104.
27. Jordan, A., Zavala, L., & Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in Southern Spain. *Catena*, 81, 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.007>
28. Lajara, J.R.U., Diaz, U., & Quidiello, R.D. (1990). Definite influence of location and climatic conditions on the fatty acid conditions of sunflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 67, 618-623. <https://doi.org/10.1007/BF02540410>
29. Manasar, A.L., Sutharsan, S., Rifnas, L.M.S.L., & Iqbal, L.M. (2022). Effects of mulching on growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) CV. Haritha. *International Journal of Advance and Innovative Research*, 9(3), 119-125.
30. Moreno, M.M., & Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae*, 116, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.01.007>
31. Peiretti, P.G., Palmegiano, G.B., & Salamano, G. (2004). Quality and fatty acid content of borage (*Borago officinalis* L.) during the growth cycle. *Italian Journal of Food Science*, 16, 177-185. <https://sid.ir/paper/543125/en>
32. Ramesh, K.V., Singh, N.W., & Megeji, K. (2006). Cultivation of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni]: A comprehensive review. *Advances in Agronomy*, 89, 137-177. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)89003-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)89003-0)
33. Rezapour Kavishahi, T., Mostafavirad, M., Saifzadeh, S., Valadabady, A.R., & Hadidimasouleh, E. (2021). Response of qualitative yield and fatty acids combination in groundnut oil to intercropped system with corn and combined application of chemical phosphorus and bio-fertilizers. *Journal of Crop Production*, 14(1), 69-86. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18533.2371>
34. Sekeroglu, N., & Ozgiiven, M. (2006). Effects of different nitrogen doses and row spacing applications on yield and quality of *Oenothera biennis* L. grown in irrigated lowland and unirrigated dryland conditions. *Turkish*

- Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 125-135.
35. Seyed Noori, O., Mostafavi Rad, M., & Ansari, M.H. (2017). Evaluation of grain yield, land equivalent ratio and fatty acids combination of peanut oil in intercropping with corn as affected by different levels of nitrogen. *Journal of Crops Improvement*, 18(4), 805-820. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.56653>
36. Shahbyki, M., Makarian, H., & Abbasdokht, H. (2017). Allelopathic effect of wheat and barley residues on yield and yield components of cowpea (*Vigna sinensis* L.) and weeds control. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(4), 838-850. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v15i4.55364>
37. Sharifi, Z., Zare, A., Elahifard, E., & Abdali, A. (2022). Quantitative and qualitative yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) affected by application of wheat straw mulch and herbicide. *Journal of Crops Improvement*, 25(4), 855-871. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.342600.2703>
38. Singh, A.C., Singh, P.K., & Vishwakarma, S.P. (2024). Comparative performance of wheat (*Triticum aestivum* L.) based inter cropping systems with different row ratios under irrigated condition. *International Journal of Research in Agronomy*, 7(11), 403-436. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i11f.2014>
39. Toker, P., Canci, H., Turhan, I., Isci, A., Scherzinger, M., Kordrostami, M., & Yol, E. (2024). The advantages of intercropping to improve productivity in food and forage production – A review. *Plant Production Science*, 27(3), 155–169. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2372878>
40. Yang, C., Iqbal, N., Hu, B., Zhang, Q., Wu, H., Liu, X., Zhang, J., Liu, W., Yang, W., & Liu, J. (2017). Targeted metabonomics analysis of fatty acid in soybean seed by GC-MS reveal the metabolic manipulation of shading in intercropping system. *Analytical Methods*, 3(1), 1-27. <https://doi.org/10.1039/C7AY00011A>
41. Yu, R.P., Dresboll, D.B., Finckh, M.R., Justes, E., Werf, W., Fletcher, A., Carlsson, G., & Li, L. (2025). Intercropping: ecosystem functioning and sustainable agriculture. *Plant Soil*, 506(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-07111-w>

Contents

Effect of Planting Date and Plant Density on Growth Characteristics and Yield Components of Guar (<i>Cyamopsis tetragoloba</i> L.) in Birjand Region	181
Abbas Nakhaei and Reza Baradaran	
Effect of Replacement Intercropping Combinations on the Yield of Three Medicinal Plants of Black Cumin (<i>Nigella sativa</i> L.), Borage (<i>Borago officinalis</i> L.) and Marigold (<i>Calendula officinalis</i> L.)	201
Pegah Naghipour, Alireza Koocheki , Mehdi Nassiri Mahallati and Soroor Khorramdel	
Yield, Yield Components and Gas Exchange in Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) Cultivars Affected by the Applications of Different Sources of Fertilizer under Dryland Farming	219
Rahim Naseri	
Evaluation of Environmental Effects of Applied Pesticides on Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) and Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) Fields in Fazel Abad Region, Ali Abad Katool County	239
Zahra Deilam, Hossein Kazemi, Maral Neiazmoradi and Javid Gherekhloo	
Evaluation of Sowing Date, Row Spacing, and Seed Density Effects on Yield and Some Agronomic and Phenological Traits of <i>Vicia panonica</i> under Rainfed Conditions	265
Akbar Shabani and Abouzar Asadi	
The Effect of Biofertilizer Application on the Improvement of Pigments, Physiological Traits and Yield of Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>)	281
Reza Sabaghian, Mehdi Bradaran Firouzabadi, Mostafa Haydari, Farzane Bahadori and Safiye Arab	
Assimilate Accumulation and Translocation of Triticale (X <i>Triticosecale</i> Wittmack) in Intercropped Triticale-Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Deficit Irrigation	303
Ida Rashidipour, Vahid Barati and Mahdi Najafi-Ghiri	
The Effect of Chelated Iron and Humic Acid on Agronomic and physiological Traits of Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) Cultivars under Rainfed Conditions	323
Aydin Tobeh, Salim Farzaneh, Ahmad Tobeh and Saber Seifamiri	
Investigating the Effect of Mulch on Weed Control and Product Quality in Intercropping of Stevia (<i>Stevia rebaudiana</i>) and Iranian Borage (<i>Echium amoenum</i>)	341
Mohammad Raiszadeh, Alireza Abdali Mashhadi, Mohammad Hosein Gharineh, Gholamreza Godarzi and Amin Lotfi Jalalabadi	

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 17

No. 2

2025

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Behnam Kamkar

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel

Editorial Board:

Dr. Amir Bezaad Bazrgar, Post Doctorate Fellow, University of Guelph, Canada

Prof. Morteza Barmaki, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili

Prof. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

Prof. Hemmatolla Pirdashti, Genetic & Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan

Dr. Amir Hajjarpoor, Research scientist, Julius Kühn-Institut, Germany

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Prof. Mehdi Rastgoo, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Ahmad Zare Feizabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, New Mexico State University, USA

Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Dr. Omid Abdi, Department of Forest Sciences, University of Helsinki Finland

Prof. Farshid Ghaderifar, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Prof. Mansour Ghorbanpour, Faculty of Agriculture, University of Arak

Prof. Behnam Kamkar, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Reza Moradi Telavat, Agricultural Sciences & Natural Resources University of Khuzestan

Dr. Ahmad Mosaddegh Manschadi, Associate Professor, Institute of Agronomy, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press

Address: Journal of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,

P.O. Box: 91775-1163, Mashhad, Iran

Tel: +98-51- 38804654

Fax: +98-51-38787430

Email: agroecology@um.ac.ir

Web site: <http://agry.um.ac.ir>

Contents

Effect of Planting Date and Plant Density on Growth Characteristics and Yield Components of Guar (<i>Cyamopsis tetragoloba</i> L.) in Birjand Region	181
Abbas Nakhaei and Reza Baradaran	
Effect of Replacement Intercropping Combinations on the Yield of Three Medicinal Plants of Black Cumin (<i>Nigella sativa</i> L.), Borage (<i>Borago officinalis</i> L.) and Marigold (<i>Calendula officinalis</i> L.)	201
Pegah Naghipour, Alireza Koocheki, Mehdi Nassiri Mahallati and Soroosh Khorramdel	
Yield, Yield Components and Gas Exchange in Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) Cultivars Affected by the Applications of Different Sources of Fertilizer under Dryland Farming	219
Rahim Naseri	
Evaluation of Environmental Effects of Applied Pesticides on Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) and Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) Fields in Fazel Abad Region, Ali Abad Katool County	239
Zahra Deilam, Hossein Kazemi, Maral Neiazmoradi and Javid Gharekhloo	
Evaluation of Sowing Date, Row Spacing, and Seed Density Effects on Yield and Some Agronomic and Phenological Traits of <i>Vicia panonica</i> under Rainfed Conditions	265
Akbar Shabani and Abouzar Asadi	
The Effect of Biofertilizer Application on the Improvement of Pigments, Physiological Traits and Yield of Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>)	281
Reza Sabaghian, Mehdi Bradaran Firouzabadi, Mostafa Haydari, Farzane Bahadori and Safiye Arab	
Assimilate Accumulation and Translocation of Triticale (X <i>Triticosecale</i> Wittmack) in Intercropped Triticale-Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Deficit Irrigation	303
Ida Rashidipour, Vahid Barati and Mahdi Najafi-Ghiri	
The Effect of Chelated Iron and Humic Acid on Agronomic and physiological Traits of Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) Cultivars under Rainfed Conditions	303
Aydin Tobeh, Salim Farzaneh, Ahmad Tobeh and Saber Seifamiri	
Investigating the Effect of Mulch on Weed Control and Product Quality in Intercropping of Stevia (<i>Stevia rebaudiana</i>) and Iranian Borage (<i>Echium amoenum</i>)	341
Mohammad Raiszadeh, Alireza Abdali Mashhadi, Mohammad Hosein Gharineh, Gholamreza Godarzi and Amin Lotfi Jalalabadi	