



عنوان مقالات

- ۳ بررسی امکان کشت پاییزه چندرقد (*Beta vulgaris* L.) در منطقه مرودشت
علی مجاب قصردشتی، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی
- ۱۷ بررسی عملکرد و شاخص های رشد لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) و سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) در سیستم کشت مخلوط جایگزینی
مهناسادات قطب شریف، قربانعلی اسدی و محمدجواد مصطفوی
- ۳۹ بررسی اثر گیاهان پوششی مختلف بر جمعیت علف های هرز، عملکرد و اجزاء عملکرد سویا (*Glycine max* L.)
علی جعفری، بهنام کامکار، آسیه سیاهمرگویی، جاوید قرخلو، ابراهیم زینلی و پرسا علیرزاده دهکردی
- ۶۳ بررسی اثرات زیست محیطی آفت کش های مورد استفاده در مزارع کلزا (*Brassica napus* L.)، چندرقد (*Beta vulgaris* L.) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شهرستان علی آباد کنول استان گلستان با استفاده از شاخص EIQ
ژهرا دیلم، حسین کاظمی، مارال نیازمردی، جاوید قرخلو
- ۹۳ اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر برخی صفات کمی و کیفی به رقم ذرت (*Zea mays* L.)
محمد اکبری، غلامرضا حیدری، شیوا خالص رو و محمد مجیدی
- ۱۱۱ ارزیابی مدل SSM-wheat در شبیه سازی رشد و نمو ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در تراکم های مختلف کاشت
علی راحمی کاریزکی، فرامرز سیدی، حبیب الله سوقی، ارازقلیچ معارفی، مجتبی صالحی شیخی و سعید باقری کیا
- ۱۲۵ بررسی اثرات به کارگیری منابع مختلف انرژی بر شاخص های محیط زیستی فرآیند تولید روغن خوراکی
یاسر رحمتی خورشیدی، همت الله پردشتی، علی متولی، سیدهاشم صمدی، بهنام خوشنویسان
- ۱۴۷ بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) در استان لرستان با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد
علی نظر نظری، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی و علیرضا نه پندانی
- ۱۶۷ تأثیر نیتروژن و گوگرد در حضور ترکیب سودوموناس آئروژینوزا - جلبک دریایی (*Pseudomonas aeruginosa*) بر صفات زراعی و عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.) در اراضی پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.)
سید محمد اخگر، ناصر محمدیان روشن، حمیدرضا دورودیان، مجید عاشوری و سید مصطفی صادقی

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

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

جلد ۱۷ شماره ۱ بهار ۱۴۰۴

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

- ۳ بررسی امکان کشت پاییزه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در منطقه مرودشت
علی مجاب قصرالدشتی، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی
- ۱۷ بررسی عملکرد و شاخص‌های رشد لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) و سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در سیستم کشت مخلوط
جایگزینی
مهناسادات قطب شریف، قربانعلی اسدی و محمدجواد مصطفوی
- ۳۹ بررسی اثر گیاهان پوششی مختلف بر جمعیت علف‌های هرز، عملکرد و اجزاء عملکرد سویا (*Glycine max* L.)
علی جعفری، بهنام کامکار، آسیه سیاهمرگویی، جاوید قرخلو، ابراهیم زینلی و پریسا علیزاده دهکردی
- ۶۳ بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع کلزا (*Brassica napus* L.)، چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شهرستان علی آباد کتول استان گلستان با استفاده از شاخص EIQ
زهره دیلم، حسین کاظمی، مارال نیازمرازی، جاوید قرخلو
- ۹۳ اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر برخی صفات کمی و کیفی سه رقم ذرت (*Zea mays* L.)
محمد اکبری، غلامرضا حیدری، شیوا خالص‌رو و محمد مجیدی
- ۱۱۱ ارزیابی مدل SSM-wheat در شبیه‌سازی رشد و نمو ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در تراکم‌های مختلف کاشت
علی راحمی کاریزکی، فرامرز سیدی، حبیب‌الله سوقی، ارازقلیچ معارفی، مجتبی صالحی شیخی و سعید باقری کیا
- ۱۲۵ بررسی اثرات به‌کارگیری منابع مختلف انرژی بر شاخص‌های محیط زیستی فرآیند تولید روغن خوراکی
یاسر رحمتی خورشیدی، همت‌الله پیردشتی، علی متولی، سیدهاشم صمدی، بنیامین خوشنویسان
- ۱۴۷ بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) در استان لرستان با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد
علی نظر نظری، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی و علیرضا نه‌بندانی
- ۱۶۷ تأثیر نیتروژن و گوگرد در حضور ترکیب سودوموناس آئروژینوزا - جلبک دریایی (*Pseudomonas aeruginosa*) بر صفات زراعی و عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.) در اراضی پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.)
سید محمد اخگر، ناصر محمدیان روشن، حمیدرضا دورودیان، مجید عاشوری و سید مصطفی صادقی

Investigating the Feasibility of the Autumn Cultivation of Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Marvdasht

Ali Mojab Ghasroddashti¹, Alireza Koocheki¹, Mehdi Nasiri Mahallati²

1 and 2- PhD student and professor respectively, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 23-06-2021
Revised: 26-01-2022
Accepted: 26-01-2022
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:

Mojab Ghasroddashti, A., Koocheki, A. R., & Nasiri Mahallati, M. (2025). Investigating the feasibility of the autumn cultivation of Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Marvdasht. *Journal of Agroecology*, 17(1), 1-14. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2022.67871.1004>

Introduction

Drought, as well as water scarcity, are the main limiting factors in the arid and semi-arid regions of the world, such as Iran (Deihimfard & Rahimi Moghadam, 2015). Autumn cultivation can be a solution provided that the upcoming long and cold temperatures do not limit the sugar beet development. One of the limitations of autumn sugar beet cultivation is dealing with low temperatures in winter, which results in vernalization and flowering of sugar beet in the first year. The bolting will reduce economic yield by reducing root weight as well as reducing sugar content (Taleghani et al., 2015). Considering the long period from sugar beet sowing to harvest, this study aimed to: (i) detect the interactions between planting dates and cultivars for three harvest dates; and (ii) recommend the best sugar beet cultivar with the best performance for increasing the sugar yield in Marvdasht region.

Materials and Methods

A split-split-plot field experiment with the randomized complete block design (RCBD) in three replicates was conducted in two agronomic years (2016-17 and 2017-18) in Marvdasht. Three sowing dates (16 September, 7 October, and 27 October) were assigned to the main plots, and two varieties (Giada and Levante) consisted of the sub-plots. Three harvest dates (1 May, 26 May, and 20 June) were also assigned to the sub-sub-plots. Basic plot size was 15 m², with five rows, 6 m long, and row spacing of 0.5 m. The root yield (RY) was determined by measuring the weight of roots from three middle rows and recalculating it as ton/ha. Root samples were analyzed in the laboratory for sugar beet root quality testing at Sugar Beet Research Institute in Karaj. Sugar content (SC) was measured according to the polarimetric method. Sugar yield (SY) was calculated following the equation: $SY = RY \times SC$.

Results and Discussion

The statistical analysis showed that the two-factor interaction of sowing and harvest dates was significant on the root yield ($\alpha < 0.01$). The mean comparisons of the treatments showed that the lowest yield was obtained at the sowing date of 27th October and the harvest date of 1st May (32.95 ton/ha). On the other side, the highest



©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.2022.67871.1004>

yield (75.75 ton/ha) was acquired with the interaction of the 16th September sowing date and 20 June harvest date. Bolting did not occur with the second and third sowing dates while it happened with the first sowing date. Bolting percentage at the first sowing date was also affected by delays in harvesting dates. The interaction of sowing date $\times$ cultivar $\times$ harvesting date was significant on sugar content. The highest sugar content belonged to the sowing date of 7th October and harvesting date of 26th May in the Giada cultivar, and the lowest sugar content belonged to the Levante cultivar in the sowing date of 7th October and harvesting date of 1st May. In other words, sugar content is strongly affected by sowing and harvesting dates, so early planting and delaying harvesting until July will increase the sugar content significantly. Also, higher sugar content can be achieved by adjusting the planting and harvesting dates to minimize bolting (Taleghani et al., 2011).

Conclusion

Delayed sowing and early harvesting led to reductions in root yield, sugar content, and white sugar yield. The treatment with a sowing date of September 16 and a harvesting date of June 20 resulted in the highest root yield. Although this treatment also had a high bolting rate, the increased yield compensated for the reduction in sugar percentage, resulting in the highest overall sugar yield. However, considering both economic factors and final product outcomes, and given that sugar yield was not significantly different between the second and third harvesting dates, the sowing date of September 16, combined with a harvesting date of May 26, was identified as the most effective treatment for sugar production in Marvdasht.

Keywords: Autumn cultivation, Bolting, Harvest date, Sowing date, Sugar beet cultivar

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۴-۱

بررسی امکان کشت پاییزه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در منطقه مرودشت

علی مجاب قصرالدشتی^۱، علیرضا کوچکی^{۲*} و مهدی نصیری محلاتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید چغندر قند در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران است. توسعه کشت پاییزه در مناطق مستعد یکی از راهکارهای مورد توجه برای رفع این مشکل می‌باشد. به همین منظور، این تحقیق با هدف بررسی امکان کشت پاییزه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در مناطق معتدله استان فارس به صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرده شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در منطقه مرودشت اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سه تاریخ کاشت، ۲۶ شهریور، ۱۵ مهر و ۵ آبان در کرت اصلی، دو رقم چغندر قند مونوزرم گیادا و لوانته در کرت فرعی و سه زمان برداشت ۱۰ اردیبهشت، ۵ و ۳۰ خرداد در کرت‌های فرعی قرار داشت. یافته‌ها نشان داد که برهم‌کنش دوگانه تاریخ کاشت و تاریخ برداشت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد ریشه معنی‌دار شد. کمترین میزان عملکرد ریشه در تاریخ کاشت ۵ آبان و تاریخ برداشت ۱۰ اردیبهشت (۳۲/۹۵ تن در هکتار) و بیشترین میزان عملکرد در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و تاریخ برداشت ۳۰ خرداد (۷۵/۷۵ تن در هکتار) به دست آمد. هیچ یک از تاریخ‌های کشت دوم و سوم، ساقه‌روی نشان ندادند، ولی در تاریخ کاشت اول هر دو رقم به ساقه رفتند و با تأخیر در برداشت، درصد آن افزایش داشت، به طوری که بیشترین درصد ساقه‌روی در تاریخ برداشت سوم و در سال دوم مشاهده شد (۲۵/۸۲ درصد). نتایج همچنین نشان داد که برهم‌کنش سه‌طرفه هم بر عیار قند و عملکرد قند قابل استحصال معنی‌دار شد. به طور کلی، یافته‌های این آزمایش حاکی از آن است که امکان کشت پاییزه چغندر قند در منطقه مرودشت وجود دارد. تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۵ خرداد قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارقام، تاریخ برداشت، تاریخ کاشت، چغندر قند پاییزه، ساقه‌روی، مرودشت

مقدمه

است، اما با توجه به آمار، در دهه ۷۰ با شروع خشکسالی‌ها و کاهش بارش، سطح زیر کشت چغندر قند رو به کاهش گذاشت (FAO, 2017).

کشت پاییزه چغندر قند علاوه بر استفاده بهینه از نزولات آسمانی در طول دوره رشد، دارای مزایای دیگری از جمله کاهش میزان تنفس گیاه، افزایش کارایی مصرف آب، تعداد دفعات آبیاری کمتر، افزایش عملکرد، کاهش مصرف علف‌کش (به دلیل پایین بودن جمعیت علف‌های هرز در پاییز) و افزایش دوره بهره‌برداری کارخانه‌های قند می‌باشد (Sharifi et al., 2000). تاکنون مطالعات زیادی روی جنبه‌های مختلف زراعی، کمی و کیفی چغندر پاییزه انجام گرفته است. با معرفی ارقام مقاوم به ساقه‌روی می‌توان به توسعه کشت

خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران است (Deihimfard & Rahimi Moghadam, 2015). جایگزینی کشت پاییزه چغندر قند با کشت بهاره آن یکی از راهکارهای سازش با شرایط خشکی است. بین سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۷۱، سطح زیر کشت چغندر قند در ایران از ۴۹ هزار تا ۲۰۴ هزار هکتار متغیر بوده

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(*)- نویسنده مسئول:
(Email: akooch@um.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/agry.2022.67871.1004>

چغندر قند پاییزه در مناطق معتدله مانند مناطق جنوبی استان خراسان، شمال فارس، گلستان و دشت مغان نیز امیدوار بود (Sharifi et al., 2000).

یکی از محدودیت‌های کشت چغندر قند پاییزه، مصادف شدن دوره رشد آن با دمای پایین و طولانی در فصل زمستان می‌باشد، به‌طوری که به مدت طولانی در معرض دمای بهاره شدن (۸-۶ درجه سانتی‌گراد) یا کمتر از آن قرار گرفته که در نتیجه، منجر به پدیده بهاره شدن و بروز ساقه‌روی در سال اول خواهد شد. ساقه‌روی باعث کاهش عملکرد اقتصادی از طریق کاهش وزن ریشه و همچنین کاهش عیار قند خواهد شد (Taleghani et al., 2015). به‌طور کلی، تنها راه مقابله با ساقه‌رفتن و اثرات مخرب آن، استفاده از ارقام مقاوم می‌باشد. هر چند در مناطق یا سال‌هایی که دوره سرما خیلی طولانی باشد، ممکن است ارقام مقاوم نیز دچار ساقه‌روی شوند (Fathullah, 2015).

هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن زمان کاشت رقم یا گروهی از ارقام مشابه یک گیاه است، به‌طوری که مجموعه عوامل محیطی حادث در آن زمان، برای سبز شدن، استقرار و بقا گیاهچه مناسب باشد و حتی امکان گیاه با شرایط نامساعد محیطی برخورد نکند. مقایسه سه تاریخ کاشت (اکتبر=مهر، نوامبر=آبان و دسامبر=آذر)، دو تراکم ۸۰ و ۱۰۰ هزار بوته در هکتار و سه رقم (مونوتا^۱، موناتونو^۲، و کاوین تربولی^۳) در کشت پاییزه در منطقه جنوب اسپانیا نشان داد که رشد فعال چغندر قند بعد از ۱۶۰ روز از زمان کاشت و با شاخص سطح برگ ۳/۹ تا ۵ به دست آمد (Garcia, 1986). در آزمایشی دیگر که در شهرستان فسا انجام شد، تأثیر تاریخ کاشت (۵ مهر، ۲۵ مهر ۱۵ آبان) و تاریخ برداشت (۱۰ اردیبهشت، ۵ خرداد و ۳۰ خرداد) روی دو رقم چغندر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که تیمارهای تاریخ کاشت، درصد ساقه‌روی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند، به‌طوری که تاریخ کاشت ۵ مهر بیشترین و ۱۵ آبان، کمترین درصد ساقه‌روی را به ترتیب معادل ۱۸/۴۰۹ و ۲/۸۷۰ نشان دادند. ارقام BRI و رسول که در این آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفتند، از لحاظ درصد ساقه‌روی، عملکرد ریشه، درصد قند خالص و عملکرد شکر سفید تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. بیشترین

عملکرد ریشه نیز مربوط به تاریخ کاشت ۵ مهر و تاریخ برداشت ۳۰ خرداد بود (Ashraf Mansouri et al., 2013). نتایج مقایسه چهار رقم چغندر قند (Suprema و Spartak، Giada، Azaba) در دو تاریخ کاشت ۱۶ مهر و ۲۲ آبان در منطقه زرقان استان فارس نشان داد که تاریخ کاشت دوم (در هر چهار رقم) فاقد ساقه‌روی بود. بیشترین درصد ساقه‌روی در رقم اسپارتاک در تاریخ کاشت اول مشاهده شد. تغییر تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ریشه چغندر قند داشت، به‌طوری که با تأخیر در کاشت (تاخیر ۳۶ روزه)، عملکرد ریشه از ۳۲۵۷۹ کیلوگرم در هکتار به ۲۷۳۲۱ کیلوگرم در هکتار رسید (Adibifard et al., 2017). علاوه بر این، نتایج آن‌ها نشان داد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر میزان قند داشت، ارقام مورد مطالعه نیز تأثیر معنی‌داری بر درصد قند ناخالص داشتند و رقم Suprema حداکثر درصد قند ناخالص (۱۷/۶۳ درصد) را در تاریخ کاشت اول تولید کرد. همچنین گزارش شده است که به تعویق انداختن تاریخ کاشت چغندر قند، از مهر به آبان، باعث کاهش عملکرد ریشه از ۶۷/۲ به ۴۸/۴ تن در هکتار و افزایش درصد قند ناخالص از ۱۰/۹ به ۱۳ درصد شده است (Stibbe & Marlander, 2002).

نتایج تحقیقات دیگر نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف چغندر قند (Pamella، H poly 1 و Top poly) وجود داشت و برداشت دیر هنگام (۲۱۰ روز پس از تاریخ کاشت) منجر به بیشترین عملکرد ریشه و درصد قند نسبت به برداشت‌های دیگر شد (Al-Sayed, 2012). در آزمایشی دیگر در آلمان، بالاترین عملکرد قند ناخالص حدود ۲۳ تن در هکتار ثبت شده است. اگرچه در شهربور و مهر، میزان تابش کم بوده، ولی میانگین بالای دمای روزانه و افزایش^۴ GDD باعث افزایش عملکرد شده است (Hoffmann, 2019). برخی محققان، تأخیر در زمان بستن شدن تاج‌پوشش را عامل عملکرد نهایی پایین‌تر در بعضی سال‌ها ذکر کردند (Hoffmann, 2019).

در حال حاضر، کشت پاییزه چغندر قند در استان فارس منحصر به مناطق گرم و جنوبی استان می‌باشد و بررسی امکان کشت پاییزه چغندر قند در مناطق معتدله استان نظیر مرودشت، با توجه به محدود شدن کشت بهاره چغندر قند در این مناطق در نتیجه کم‌آبی، می‌تواند به تولید شکر و ادامه فعالیت کارخانه‌های این مناطق کمک نماید. از این‌رو، تحقیق حاضر به همین منظور انجام گردید.

- 1- Monauta
- 2- Monatonno
- 3- Kaweinterpoly

مواد و روش‌ها

این آزمایش در حوزه فعالیت کارخانه قند مرودشت در روستای میان‌قلعه شهرستان مرودشت (طول جغرافیایی $45^{\circ} 52'$ و عرض جغرافیایی $3^{\circ} 30'$ با ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا) به مدت دو سال از شهریور سال ۱۳۹۵ به صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل سه تاریخ کاشت (۲۶ شهریور، ۱۵ مهر و ۵ آبان) به عنوان عامل اصلی، دو رقم پاییزه گیادا (Giada) و لوانته (Levante) به عنوان عامل فرعی و سه تاریخ برداشت (۱۱

اردیبهشت، ۵ خرداد و ۳۰ خرداد) به عنوان عامل فرعی انتخاب شدند. رقم گیادا از شرکت KWS آلمان و رقم لوانته از شرکت SESVanderhave تهیه شدند. بذور هر دو رقم مونوژرم، پلیت نشده و با سموم قارچ‌کش و حشره‌کش ضد عفونی شده بودند و از خصوصیات مهم آن‌ها، مقاومت بالا به ساقه‌روی است. قبل از کاشت، از خاک نقاط مختلف مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌هایی به صورت تصادفی برداشت شده و بعد از اختلاط جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، یک نمونه مرکب به آزمایشگاه تجزیه خاک ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه برخی صفات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در دو سال آزمایش

Table 1- Soil physicochemical characteristics at depth of 0-30 cm in two years of experiment

سال Year	بافت Texture	واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)P	پتاسیم قابل جذب K (mg.kg ⁻¹)
2016-2017	لوم رسی Clay loam	7.52	0.32	1.56	0.036	3.40	218
2017-2018	لوم رسی Clay loam	7.26	0.39	1.36	0.033	5.42	230

کنار هر ردیف کاشت انجام شد. در هر دو سال آزمایش، دفعات آبیاری و حجم آب مصرفی (به وسیله کنتور) در هر دو سال به طور دقیق ثبت شد (جدول ۲). با توجه به تراکم ۱۰ بوته در مترمربع، دو بار تنک و وجین علف‌های هرز (در مرحله دو تا چهار برگی و در محدوده بهمن ماه) با رعایت فاصله روی ردیف معادل ۲۰ سانتی‌متر به صورت دستی انجام شد. در این آزمایش، آفات و بیماری خاصی مشاهده نشد که نیاز به مهار داشته باشد. همچنین در طی دو سال آزمایش، قبل از وقوع سرما (۱ آذر)، تعداد بوته‌های مستقر شده در تیمارهای مختلف دقیقاً شمارش و یادداشت شد و بعد از رفع دوره سرما (۱ اسفند) نیز تعداد بوته‌ها مجدداً شمارش و یادداشت‌برداری شد، ولی در هیچ کدام از تیمارها، خطر سرمازدگی و یخ‌زدگی که به حذف بوته‌ها منجر شود، وجود نداشت و هیچ بوته‌ای از بین نرفت. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی کوشک که نزدیک‌ترین ایستگاه به مزرعه محل آزمایش بود، اخذ شد (شکل ۱).

برداشت پس از حذف نیم متر از بالا و پایین کرت و از سه خط وسط کرت انجام پذیرفت و پس از شمارش تعداد ریشه و توزین آن‌ها، نمونه خمیر ریشه هر تیمار برای تعیین درصد قند به آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات چغندر قند ارسال شد. با توجه به اندازه

جهت آماده‌سازی زمین، در اوایل شهریور هر سال ابتدا عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار انجام شد و جهت خرد کردن کلوخه‌ها از دیسک و جهت تسطیح زمین از لولر استفاده شد. براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به خاک اضافه شد. تمام کود فسفره و پتاسه و یک سوم کود نیتروژن قبل از کاشت به خاک اضافه شد. همچنین یک سوم کود اوره در مرحله ۲-۴ برگی و یک سوم باقی‌مانده در اول اسفند هر سال به صورت محلول در تانک کود به سیستم آبیاری تزریق شد. سیستم آبیاری به صورت قطره‌ای (نوار تیپ) بود. مساحت هر کرت ۱۵ متر مربع، شامل شش خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول پنج متر بود. همچنین فاصله بوته‌ها روی ردیف هم ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. کشت براساس تقویم زمانی به صورت دستی و به روش خشکه کاری و آبیاری هم در همان روز و بلافاصله بعد از کشت انجام شد. در طول دوره رشد، آب مورد نیاز مزرعه از آب آبیاری و آب باران تأمین شد. آبیاری گیاهان به روش قطره‌ای (نوار تیپ) با استفاده از نوار تیپ‌های ۲۰ سانتی‌متری با دبی سه لیتر در ساعت در

برهم‌کنش تاریخ کاشت و برداشت در سطح احتمال خطای یک درصد بر عملکرد ریشه معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و برداشت نشان داد که کمترین میزان عملکرد ریشه مربوط به تاریخ کاشت ۵ آبان و تاریخ برداشت ۱۰ اردیبهشت بود (۳۲/۹۵ تن در هکتار) و بیشترین میزان عملکرد ریشه مربوط به تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و تاریخ برداشت ۳۰ خرداد (۷۵/۷۵ تن در هکتار) بود (شکل ۲).

با تأخیر در برداشت از ۱۰ اردیبهشت تا ۳۰ خرداد و همچنین تعجیل در کاشت از ۵ آبان تا ۲۶ شهریور، دوره رشد گیاه افزایش یافته و همین امر تأثیر مثبتی بر عملکرد ریشه داشت که با یافته‌های سایر محققین هم‌خوانی دارد (Ashraf Basati et al., 2002; Mansouri et al., 2013). همچنین با توجه به رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (GDD) و عملکرد ریشه در دو سال مختلف (شکل ۳) مشخص شد که با افزایش درجه روز رشد تجمعی می‌توان به عملکرد ریشه بیشتری دست یافت، به‌طوری‌که با افزایش درجه روز رشد تا بیش از ۳۰۰۰، عملکرد ریشه افزایش یافت و فقط شیب این افزایش، اندکی کاهش یافت.

گیری‌های انجام شده، عملکرد شکر سفید محاسبه شد. با استفاده از دستگاه بتالایزر، درصد قند و توسط دستگاه فلیم فتومتر، سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد (Asadi, 2007).

با استفاده از آمار دمای روزانه از کاشت تا برداشت هر تیمار در هر سال آزمایش، میزان درجه-روز-رشد تجمعی دوره تمامی تیمارها، با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید:

$$H_i = \sum ((T_{\min} + T_{\max}) / 2) - T_b \quad (1)$$

که در آن، H_i : درجه-روز-رشد (GDD)، $T_{\min}$: کمینه درجه حرارت روزانه هوا، $T_{\max}$: بیشینه درجه حرارت هوا و T_b : درجه حرارت پایه چغندر قند است که معادل سه درجه سانتی‌گراد منظور شد (Hoffmann, 2019).

آزمون بارتلت برای اطمینان از یکنواختی خطاهای آزمایش در دو سال انجام و سپس تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

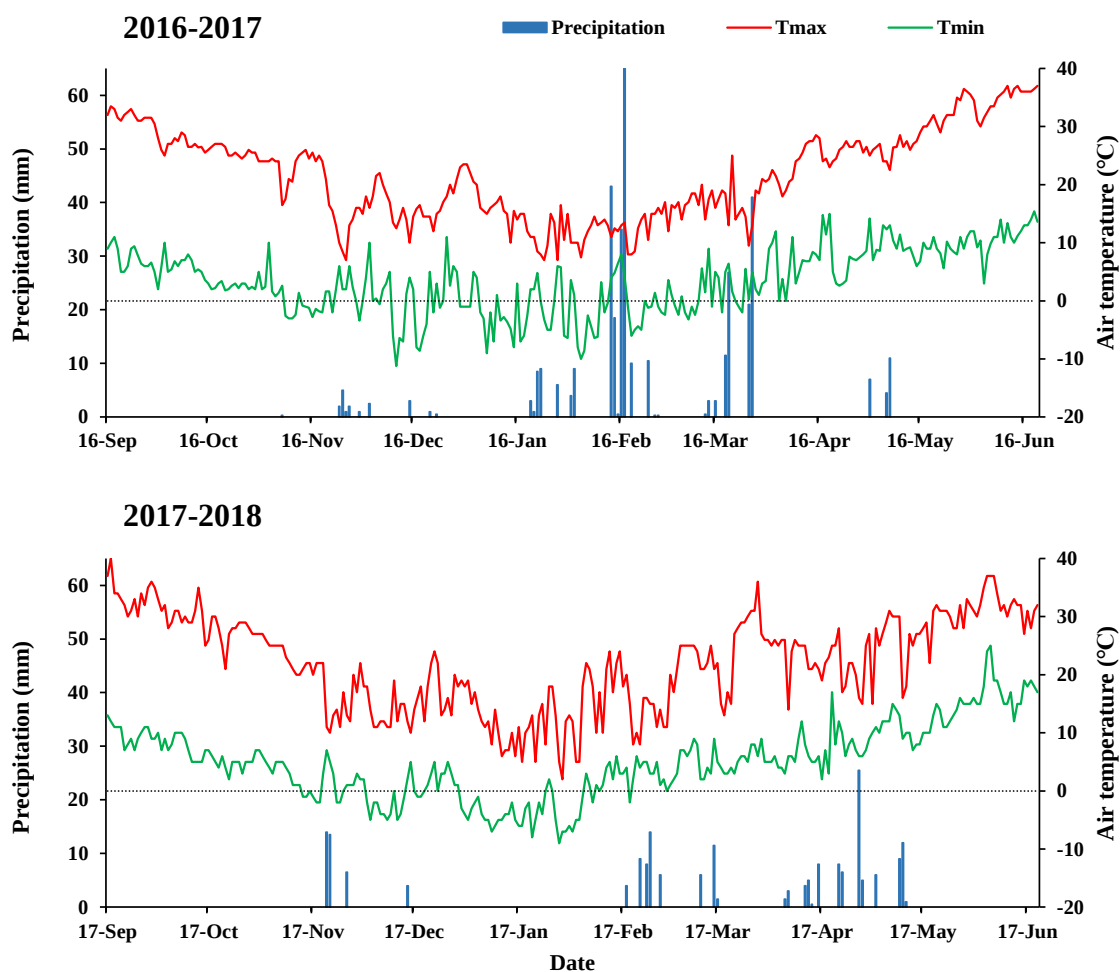
نتایج و بحث

عملکرد ریشه

جدول ۲- تعداد دفعات و عمق آب آبیاری در تیمارهای مختلف در دو سال زراعی

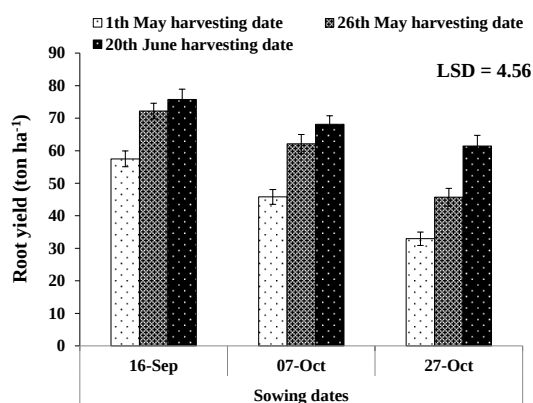
Table 2- Number and depth of irrigation in different treatments in two cropping seasons.

تاریخ کاشت Sowing date	تاریخ برداشت Harvesting date	تعداد دفعات آبیاری Number of irrigations		عمق کل آب آبیاری Depth of irrigation (mm)		بارندگی Precipitation (mm)	
		2016-2017	2017-2018	2016-2017	2017-2018	2016-2017	2017-2018
۲۶ شهریور 16 Sep.	۱۰ اردیبهشت 1 May	13	12	508	529	349	165
	۵ خرداد 26 May	16	14	610	614	371	193
	۳۰ خرداد 20 June	20	18	779	798	371	193
۱۵ مهر 7 Oct.	۱۰ اردیبهشت 1 May	9	9	362	429	349	165
	۵ خرداد 26 May	12	11	464	514	371	193
	۳۰ خرداد 20 June	16	15	633	698	371	193
۵ آبان 27 Oct.	۳۰ خرداد 20 June	7	7	275	332	349	165
	۱۰ اردیبهشت 1 May	10	9	377	417	371	193
	۵ خرداد 26 May	14	13	546	601	371	193



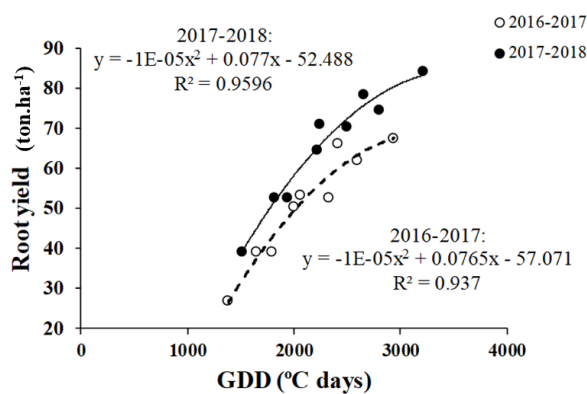
شکل ۱- دمای کمینه، بیشینه و میزان بارندگی در طول فصل کاشت در دو سال آزمایش

Fig. 1- Minimum, and maximum temperature and rainfall during the growing season in two years of experiment



شکل ۲- مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت در تاریخ برداشت برای عملکرد ریشه چغندر قند

Fig. 2- Mean comparison of interaction between sowing date, and harvesting date for root yield of sugar beet



شکل ۳- رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (برای سه تاریخ کاشت در سه تاریخ برداشت) و عملکرد ریشه (میانگین دو رقم) در دو سال مختلف در چغندر قند

Fig. 3- Relation of root yield (mean of two cultivars) and accumulative GDD (for three sowing dates in three harvest dates) in sugar beet

جدول ۳- میانگین مربعات تجزیه واریانس مرکب عملکرد ریشه و برخی صفات کیفی چغندر قند در دو سال آزمایش
Table 3- Mean squares of combined analysis of variance for root yield, and some qualitative traits of sugar beet in the experimental years.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد ریشه Root yield	ساقه‌روی Bolting	قند ناخالص Sugar content	عملکرد شکر سفید White sugar yield
سال Year (Y)	1	5719**	54.82**	33.39**	125.04**
تکرار (سال) Replication (R)	4	13.48	0.567	0.64	0.339
تاریخ کاشت Sowing date (SD)	2	4284.9**	1301.31**	31.65**	109.64**
Y × SD	2	0.122 ^{ns}	54.82**	0.137 ^{ns}	0.57 ^{ns}
R (Y × SD)	8	56.82	0.56	1.69	2.33
رقم Cultivar (C)	1	10.25 ^{ns}	1.30 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.24 ^{ns}
Y × C	1	*129.45	0.02 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	1.29 ^{ns}
SD × C	2	11.19 ^{ns}	1.30 ^{ns}	8.14**	2.78*
Y × SD × C	2	19.12 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.58 ^{ns}
R (Y × SD × C)	12	22.16	0.87	0.423	0.65
تاریخ برداشت Harvesting date (HD)	2	48.85**	453.9**	67.62**	158.94**
SD × HD	4	142.5**	453.9**	8.37**	6.94**
SD × HD	2	46.97 ^{ns}	0.36 ^{ns}	9.80**	9.22**
SD × C × HD	4	20.09 ^{ns}	0.36 ^{ns}	3.75**	0.866 ^{ns}
Y × HD	2	13.43 ^{ns}	6.99**	0.335 ^{ns}	2.80 ^{ns}
Y × SD × HD	4	26.60 ^{ns}	6.99**	0.053 ^{ns}	0.853 ^{ns}
Y × C × HD	2	20.38 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.058 ^{ns}	0.902 ^{ns}
Y × SD × C × HD	4	3.40 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.010 ^{ns}
خطا Error	48	30.88	0.53	0.999	1.66
ضریب تغییرات CV (%)		9.54	20.84	6.61	18.85

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد؛ NS: غیر معنی‌دار

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

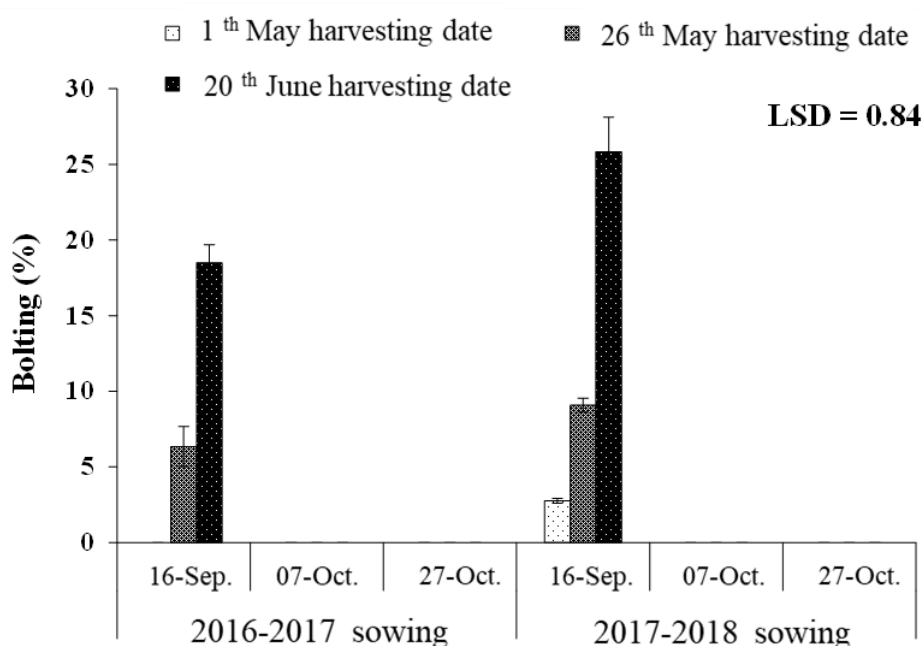
این نتیجه رسیدند که در همه تیمارها با افزایش دوره رشد و تأخیر در برداشت و تاریخ کاشت‌های زودهنگام، عملکرد ریشه افزایش می‌یابد که دلیل این امر، افزایش درجه روز رشد به واسطه افزایش طول دوره رشد است. تاریخ کاشت زود (مهرماه) از طریق تعداد، سن و اندازه برگ‌های گیاه می‌تواند تاج‌پوشش را تحت تأثیر قرار دهد و در نهایت، بر میزان جذب نور تأثیر بگذارد (Rinaldi & Vonella, 2004). در مقابل، تأخیر در کاشت باعث تأخیر در ظهور گیاهچه و در نتیجه، کاهش تجمع ماده خشک گردید و این تفاوت تا پایان باقی خواهد ماند (Stibbe & Marlander, 2002). در مطالعه حسین و همکاران (Hossain et al., 2015) برای تعیین تاریخ کاشت بهینه چغندر قند در بنگلادش گزارش کردند که بیشترین عملکرد ریشه در تاریخ کاشت اول نوامبر (۱۰ آبان) به‌دست آمد و با تأخیر در کاشت از اول نوامبر به بعد، عملکرد ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

همچنین با مقایسه درجه روز رشد در دو سال مختلف می‌توان مشاهده کرد که به علت شرایط دمایی متفاوت در دو سال و بالاتر بودن کمینه و بیشینه دما در سال دوم، مقدار درجه روز رشد تجمعی سال دوم نسبت به سال اول بالاتر بوده و همین امر و ارتباط مستقیم GDD دریافتی و تجمع ماده خشک می‌تواند عملکرد بالاتر ریشه در سال دوم را توجیه کند (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011). به‌طور کلی، عملکرد ریشه چغندر قند پاییزه به‌شدت به تاریخ کاشت وابسته بوده، چغندر قندی که زودتر کاشته شده، همیشه به بازده بالاتری دست می‌یابد (Illkaee et al., Kenter et al., 2006; Hoffmann & Kluge-Severin, 2016). هافمن و کلاگ سورین (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011) تاریخ‌های کشت پاییزه (۲۴ مرداد، ۲۴ شهریور و ۱۰ مهر) و تاریخ‌های کشت بهاره (۲۵ بهمن، ۲۵ اسفند و ۲۵ فروردین) چغندر قند را در تاریخ‌های مختلف کاشت و برداشت مورد مقایسه قرار دادند و به

امکان دارد که در موارد محدود به خصوص در مناطق گرم، با تأخیر در برداشت، عملکرد کاهش یابد، به طوری که در آزمایش بساطی و همکاران (Basati et al., 2002) در مناطق گرم کرمانشاه، با تأخیر در برداشت از ۱۵ اردیبهشت تا ۱۵ خرداد عملکرد به طور معنی داری کاهش یافت که دلیل آن، افزایش دمای هوا در خرداد و همچنین افزایش تنفس در شب ذکر شده است.

ساقه روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم کنش دوگانه تاریخ کاشت و رقم و تاریخ کاشت و تاریخ برداشت بر میزان ساقه روی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بودند (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۴) مشاهده می شود که تاریخ های کشت دوم و سوم ساقه روی نشان ندادند، ولی در تاریخ کاشت اول، هر دو رقم به ساقه رفتند و با تأخیر در برداشت، درصد آن افزایش داشت (جدول ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین برهم کنش سال در تاریخ کاشت در تاریخ برداشت برای درصد ساقه روی چغندر قند
Fig. 4- Mean comparison of interaction among year, sowing date, and harvesting date for bolting rate of sugar beet

سال در منطقه مغان مورد مطالعه قرار گرفت که اثر سال، زمان کاشت و زمان برداشت تأثیر معنی داری بر درصد ساقه روی نداشت، اما درصد ساقه روی در سطح پنج درصد تحت تأثیر رقم قرار گرفت. می توان

در آزمایشی دیگر، اثر سه زمان کاشت (اوایل مهر، نیمه مهر و اوایل آبان) و چهار تاریخ برداشت (اوایل خرداد، تیر، مرداد و شهریور) روی سه رقم (مقاوم، نیمه مقاوم و حساس به پدیده ساقه رفتن) در دو

بیان کرد که با انتخاب رقم مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه می‌توان تا حدود بسیار زیادی از به ساقه‌رفتن و کاهش کیفیت و عملکرد ریشه چغندر قند کاست (Taleghani et al., 2011). در آزمایش ادیبی فرد و همکاران (Adibifard et al., 2017) که چهار رقم چغندر قند پاییزه (Suprema و Spartak، Giada، Azaba) را در دو تاریخ کاشت ۱۶ مهر و ۲۲ آبان در منطقه زرقان استان فارس بررسی کردند، نتایج بیانگر تفاوت معنی‌دار بین ارقام و تاریخ‌های

کاشت بود، به‌طوری‌که تعجیل در کاشت باعث افزایش ساقه‌روی شد. به‌طور کلی، در مورد تأثیر تاریخ کاشت و برداشت بر ساقه‌روی می‌توان این‌گونه بیان نمود که بوته‌هایی با تأخیر در فصل زمستان کشت می‌شوند، سطح برگ کمتر و به طبع آن سطح دریافت‌کننده سرمای کمتری نسبت به گیاهان کشت شده در تاریخ‌های زودتر را دارند و به همین دلیل، مقاوم‌تر می‌باشند و بولتینگ کمتری را نشان می‌دهند (Basati et al., 2002).

جدول ۴- درصد ساقه‌روی ارقام مختلف چغندر قند در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و تاریخ‌های مختلف برداشت چغندر قند در دو سال زراعی
Table 4- Bolting percentage of different sugar beet cultivars on planting date of 26 September and different harvesting dates of sugar beet in two years

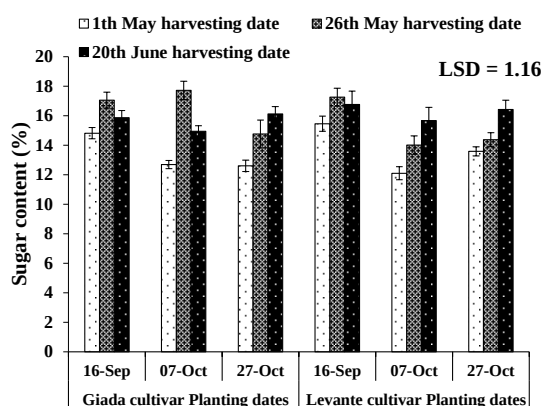
سال Year	تاریخ کاشت Sowing date	تاریخ‌های برداشت Harvesting dates	گیادا Giada	لوانته Levante
2016-2017	۲۶ شهریور 16 th Sep	۱۰ اردیبهشت 1 th May	0 ^h	0 ^h
		۵ خرداد 26 th May	5.3 ^f	7.3 ^e
		۳۰ خرداد 20 th June	18.7 ^c	18.3 ^c
2017-2018	۲۶ شهریور 16 th Sep	۱۰ اردیبهشت 1 th May	2.7 ^g	2.8 ^g
		۵ خرداد 26 th May	8.8 ^d	9.3 ^d
		۳۰ خرداد 20 th June	25.0 ^b	26.7 ^a

درصد قند ناخالص (عیار)

نتیجه تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به درصد قند ناخالص یا عیار قند حاکی از آن است که اثر متقابل سه طرفه تاریخ کاشت، برداشت و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

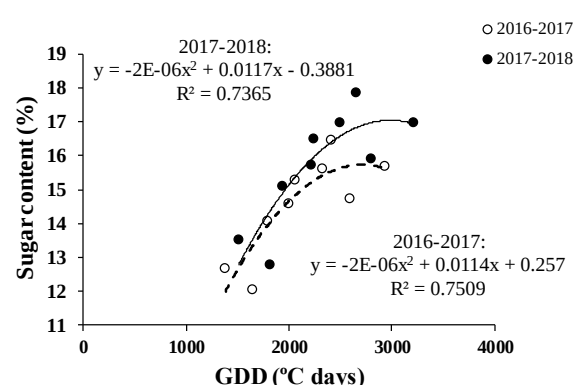
با بررسی مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت در رقم در تاریخ برداشت (شکل ۵) مشخص شد که روند تغییرات عیار قند در برداشت‌های مختلف در دو رقم مورد مطالعه و در هر سه تاریخ کاشت متفاوت می‌باشد، به‌طوری‌که در رقم لوانته در برداشت‌های مختلف در هر سه تاریخ کاشت، عیار قند روند افزایشی دارد، ولی در رقم گیادا روند اندکی متفاوت می‌باشد. به این ترتیب، بیشترین عیار قند (۱۷/۷ درصد) مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مهر و برداشت ۵ خرداد در رقم گیادا بود و کمترین عیار (۱۲/۱ درصد) هم مربوط به رقم لوانته در تاریخ کاشت ۱۵ مهر و برداشت ۱۰ اردیبهشت بود. به بیان دیگر، عیار قند به‌شدت تحت تأثیر تاریخ کاشت و برداشت قرار می‌گیرد،

به‌طوری‌که با تعجیل در کاشت در اواخر شهریور و همچنین تأخیر در برداشت تا تیر ماه، عیار قند رشد معنی‌داری خواهد کرد. همچنین با توجه به تأثیر ساقه‌روی بر درصد قند با تنظیم تاریخ کاشت و برداشت جهت حداقل ساقه‌روی می‌توان به مقدار بالاتر عیار دست یافت (Taleghani et al., 2011). همچنین بساطی و همکاران (Basati et al., 2002) با بررسی اثر سه تاریخ کاشت (اول شهریور، ۲۰ شهریور و ۱۰ مهر) و سه تاریخ برداشت (۱۵ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد) بر رقم BR1 چغندر قند پاییزه در منطقه سرپل ذهاب کرمانشاه گزارش کردند که تأثیر تاریخ کاشت بر درصد و عملکرد قند معنی‌دار نبوده، ولی تاریخ کاشت ۲۰ شهریور، درصد قند بیشتری معادل ۱۴/۹ درصد را نشان داد. در تاریخ‌های مختلف برداشت هم مشاهده شد که در سال اول، برداشت‌های مختلف تأثیری نامنظم داشتند، ولی در سال دوم با تأخیر در برداشت (از ۱۵ فروردین تا ۱۵ خرداد)، درصد قند از ۱۳/۵ تا ۱۷/۶۱ افزایش یافت.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت در رقم در تاریخ برداشت برای درصد قند ناخالص در چغندر قند

Fig. 5- Mean comparison of interaction among sowing date, cultivar, and harvesting date for sugar content in sugar beet



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (برای سه تاریخ کاشت در سه تاریخ برداشت) و درصد قند ناخالص (میانگین دو رقم) در دو سال مختلف در چغندر قند

Fig. 6- Relation of Sugar content (mean of two cultivars) and accumulative GDD (for three sowing dates in three harvest dates) in sugar beet

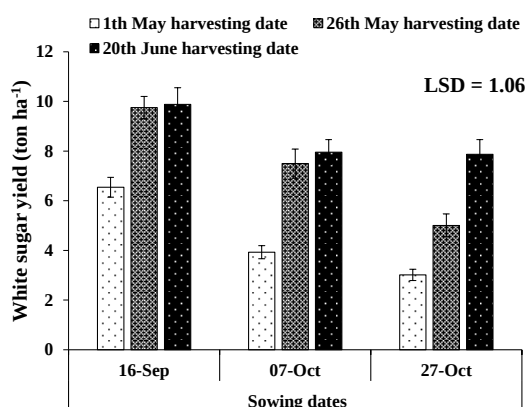
عملکرد شکر سفید تأثیر معنی دار داشتند (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۷) مشاهده می شود که با تأخیر در برداشت در سه تاریخ کاشت، میزان عملکرد شکر افزایش پیدا می کند، اما شیب این افزایش در تاریخ کاشت سوم بیشتر است. بیشترین عملکرد شکر سفید هم معادل ۹/۸۸ تن در هکتار در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۳۰ خرداد و کمترین میزان هم معادل ۳/۰۱ تن در هکتار در تاریخ کاشت ۵ آبان و برداشت ۱۰ اردیبهشت به دست آمد.

رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی و عملکرد شکر سفید در دو سال مختلف نشان داد که با افزایش GDD یا به عبارتی دوره رشد، میزان عملکرد شکر افزایش پیدا کرد. با توجه به این مطلب که عملکرد شکر تابعی از عیار قند، قند خالص و عملکرد ریشه می باشد، بنابراین این مشخصه باید با افزایش این سه عامل، افزایش پیدا کند. بنابراین با توجه به این مطلب که عملکرد ریشه و درصد قند ریشه تحت تأثیر تأخیر در برداشت و تعجیل در کشت افزایش پیدا می کنند، بنابراین افزایش عملکرد شکر با افزایش GDD قابل انتظار است (شکل ۸). هافمن (Hoffmann, 2019) نیز با افزایش GDD، افزایش درصد قند قابل استحصال و همچنین عملکرد ریشه را گزارش کرد، در نتیجه عملکرد شکر سفید هم که به عبارتی، از ضرب این دو فاکتور به دست می آید، با شیب ثابتی افزایش یافت.

رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی و درصد قند ناخالص در دو سال مختلف (شکل ۶) نشان داد که با افزایش GDD عیار قند افزایش پیدا می کند، ولی این افزایش با روند افزایش عملکرد ریشه تحت تأثیر درجه روز اندکی متفاوت می باشد، به طوری که بعد از دریافت حدود ۲۵۰۰ درجه، عیار قند به مقدار بیشینه خود رسیده و پس از آن، روند افزایشی ندارد، در صورتی که عملکرد ریشه تقریباً به صورت خطی افزایش پیدا کرد که این مطلب نشان می دهد، روند افزایش عملکرد و عیار بر هم منطبق نیستند، به طوری که در برداشت دوم و حدود ۲۵۰۰ درجه روز رشد، حداکثر عیار به دست آمده، در صورتی که حصول بیشترین عملکرد مربوط به تاریخ برداشت سوم بود (شکل ۵). بنابراین، با تعجیل در کاشت و مصادف شدن ظهور گیاهچه با شرایط دمایی بالاتر، گیاه قبل از شروع سرما می تواند به شاخص سطح برگ بالاتری دست یابد که همین امر به بسته شدن سریع تر سایه انداز بعد از گذراندن دوره سرما کمک کرده و باعث انطباق بیشینه سطح برگ با بیشترین تابش می شود.

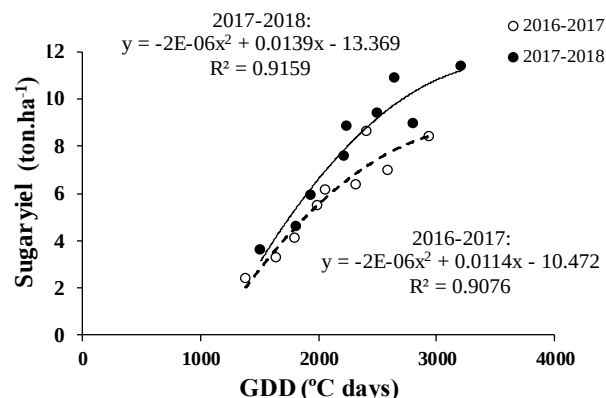
عملکرد شکر سفید

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که برهم کنش دوگانه تاریخ کاشت در رقم در سطح احتمال پنج درصد و تاریخ کاشت در برداشت و تاریخ برداشت در رقم در سطح احتمال یک درصد بر



شکل ۷- مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت در تاریخ برداشت برای عملکرد شکر سفید در چغندر قند

Fig. 7- Mean comparison of interaction between sowing date, and harvesting date for white sugar yield in sugar beet



شکل ۸- رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (برای سه تاریخ کاشت در سه تاریخ برداشت) و عملکرد شکر سفید (میانگین دو رقم) در چغندر قند در دو سال مختلف

Fig. 8- Regression equation of sugar yield (mean of two cultivars) and accumulative GDD (for three sowing dates in three harvest dates) in sugar beet

کردند که عملکرد شکر تحت تأثیر رقم قرار گرفت و رقم DEZ نسبت به رقم BR1، بیشترین مقدار عملکرد شکر را نشان داد. در آزمایشی دیگری که در شهرستان فسا انجام شد، تأثیر تاریخ کاشت (۵ مهر، ۲۵ مهر و ۱۵ آبان) و تاریخ برداشت (۱۰ اردیبهشت، ۵ خرداد و ۳۰ خرداد) روی دو رقم (BRI و رسول) چغندر قند مورد ارزیابی قرار گرفت (Ashraf Mansouri et al., 2013). ایشان نتیجه گرفتند که در مناطق معتدله، گیاهان در تاریخ‌های کاشت زود هنگام (۵ مهر) مدت زمان بیشتری در معرض سرما قرار گرفته و همین امر باعث می‌شود که درصد ساقه‌روی افزایش یابد و در تاریخ کاشت‌های دیرتر (۲۵ مهر و ۱۵ آبان)، تعداد بوته کمتری به ساقه می‌روند. از طرفی، برای حصول حداکثر عملکرد نیاز به دوره رشد طولانی‌تری بوده، بنابراین تاریخ کاشت و برداشت باید به گونه‌ای انتخاب شود که بین عملکرد و ساقه‌روی تعادل برقرار شده و بیشترین عملکرد شکر سفید حاصل گردد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که انتخاب تاریخ کاشت و برداشت مناسب و همچنین رقم مقاوم به ساقه‌روی اثر بسیار زیادی بر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند دارد. تأخیر در کاشت از ۲۶ شهریور تا ۵ آبان و تعجیل در برداشت (قبل از ۳۰ خرداد) باعث کاهش عملکرد ریشه، عیار قند و در نهایت، عملکرد شکر سفید می‌شود. در این منطقه در دو

در آزمایش ادیبی‌فرد و همکاران (Adibifard et al., 2017) که چهار رقم چغندر قند پاییزه (آزابا، گیادا، اسپارتاک و سوپرما) را در دو تاریخ کاشت ۱۶ مهر و ۲۲ آبان در منطقه زرکان استان فارس بررسی کردند، تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد به‌طور معنی‌داری بر عملکرد شکر سفید تأثیر گذاشت. حمایتی و همکاران (Hemayati et al., 2012) با بررسی اثر سه تاریخ کاشت (۱۵ شهریور، ۱۵ مهر و ۱۵ آبان) بر عملکرد کمی و کیفی پنج رقم چغندر قند پاییزه در جیرفت نشان داد که با تأخیر در کاشت، عملکرد شکر کاهش می‌یابد. از جمله دلایل افزایش عملکرد در کاشت زود هنگام می‌توان به رابطه خطی بین عملکرد و مقدار تشعشع خورشیدی دریافت شده اشاره کرد (Hosseini et al., 2011; Fortune et al., 1999; Storer et al., 1973; Biscoe et al., 1978).

بین ارقام از لحاظ شکر سفید معمولاً تفاوت معنی‌دار وجود دارد و انتظار می‌رود، ارقامی که در تاریخ کاشت‌های زود هنگام عملکرد بیشتری دارند در تاریخ کاشت‌های بعدی هم عملکرد بیشتری نسبت به ارقام دیگر برخوردار باشند (Hemayati et al., 2012) اما در این آزمایش تفاوت معنی‌داری بین ارقام از لحاظ عملکرد شکر سفید وجود نداشت. جواهری و همکاران (Javaheri et al., 2006) نیز گزارش

- 1- Azaba
- 2- Giada
- 3- Spartak
- 4- Suprema

سال آزمایش در هیچ کدام از تیمارها خطر سرمازدگی و یخزدگی که به حذف بوته‌ها منجر شود، وجود نداشت و هیچ بوته‌ای از بین نرفت. تیمار تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۳۰ خرداد با وجود بیشترین عملکرد ریشه و شکر، ساقه‌روی بالایی نیز داشت. بنابراین، با در نظر گرفتن محصول اقتصادی و نهایی نتیجه می‌گیریم که تاریخ برداشت دوم (۵ خرداد) در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور از نظر عملکرد شکر با تاریخ کاشت سوم (۳۰ خرداد) اختلاف معنی‌داری نداشته و از طرفی، درصد ساقه‌روی کمتر از ۱۰ درصد را دارا بود. بنابراین در نهایت، تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۵ خرداد از لحاظ عملکرد شکر، بهترین تیمار در نظر گرفته می‌شود.

References

- Adibifard, N., Habibi, D., Bazrafshan, M., Taleghani, D.F., & Ilkaee, M.N. (2017). Investigating of cultivating the autumn sugar beet in Fars province (Zarghan). *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 3, 1-9.
- Al-Sayed, M., Usama, A., Abd El-Razek, F., Hayam, M., & Fateh, S. (2012). Effect of harvest dates on yield and quality of sugar beet varieties. Sugar Crops Res. Inst., Agricultural Researches Center, Giza, Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(9), 525-529. <https://doi.org/10.52804/ijaas2023.4211>
- Asadi, M., (2007). Beet-Sugar Handbook: John Wiley & Sons. 884PP.
- Ashraf Mansouri, G., Sharifii, M., & Hamdi, F. (2013). Study of autumn sowing of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Fasa area. *Journal of Sugar Beet*, 29(1), 37-43. <https://doi.org/10.22092/jsb.2013.1299>.
- Basati, J., Koolivand, M., Nemati, A., & Zarei, A. (2002). Evaluation of autumn-sown sugar beet production possibility in Kerman-shah warm regions. *Journal of Sugar Beet*, 18(2), 119-130. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jsb.2003.8279>.
- Biscoe, P.V., Jaggard, K.W., Farley, R.F., & Messem, A.B. (1979). Radiation interception and sugar production. UK, Rothamsted Experimental Station Report. pp. 64PP.
- Deihimfard, R., & Rahimi Moghadam, S. (2015). Assessing the yield of spring and autumn-sown sugar beet in Mashhad and Neyshabor, Khorasan using a simulation model. *Journal of Plant Production Research*, 22(3), 157-180
- FAO STAT. 2017. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>).
- Fathullah Taleghani, D., Mohammadian, R., & Sadeghzadeh Hamayati, S. (2015). Guide to planting, holding and harvesting autumn beets. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Sugar Beet Seed Breeding Research Institute. Pp. 194.
- Fortune, R.A., Burke, J.I., Kennedy, T., & O'Sullivan, E. (1999). Effect of early sowing on the growth, yield and quality of sugar beet. Crops Research Centre, Oak Park 20, 25 p.
- Garcia, J., Lopez, E., & Bellido, L. (1986). Growth and yield of autumn-sown sugar beet: Effects of sowing time, plant density and cultivar. *Field Crops Research*. 14, 1-14. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90042-0](https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90042-0).
- Hemayati, S., Shirzadi, M., Aghaezadeh, M., Taleghani, D., Javaheri, M., & Aliasghari, A. 2012. Evaluation of sowing and harvesting date effects on yield and quality of five sugar beet cultivars in Jiroft region (autumn planting). *Journal of Sugar Beet*, 28(1), 42-25. <https://doi.org/10.22092/jsb.2012.659>.
- Hoffmann, C.M. & Kluge-Severin, S. (2011). Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *European Journal of Agronomy*, 34(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.09.001>.
- Hoffmann, C.M. (2019). Importance of canopy closure and dry matter partitioning for yield formation of sugar beet varieties. *Field Crops Research*, 236, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.013>.
- Hossain, M.F., Khaliq, Q.A., & Karim, A. (2015). Effect of sowing date on growth and yield of tropical sugar beet. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(1), 53-60.
- Ilkaee, M.N., Babaei, Z., Baghdadi, A., & Golzardi, F. (2016) Effect of different planting dates and defoliation on the properties of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(1), 52-58. [http://doi.org/10.18006/2015.4\(1\).52.58](http://doi.org/10.18006/2015.4(1).52.58).
- Javaheri, M.A., Najafinejad, H., & Azad Shahraki, F. (2006). Investigating the possibility of autumn beet cultivation in Arzooieh region (Kerman province). *Journal of Pajhouhesh and Sazandegi*, 71, 93-85.
- Kenter, C., Hoffmann, C.M., & Märlander, B. (2006). Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 62-69.

- <http://doi.org/10.1016/j.eja.2005.05.001>.
19. Khajehpour, M. 2006. Industrial plants. Isfahan University of Technology Jihad Publications, Isfahan, Iran. 564 p.
20. Rinaldi, M., & Vonella, A.V. (2004). Water use efficiency in sugar beet, subjected to different sowing times and irrigation regimes in a Mediterranean environment. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep–1 Oct 2004, Brisbane, Australia.
21. Sharifi, H., Sadeghian, S. Y., & Hosseinpour, M. (2000). Winter beet cultivation, current and future situation of the country. Report of Sugar Beet Research Institute.
22. Stibbe, C., & Marlander, B. (2002). Field emergence dynamics significance to intraspecific competition and growth efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 17, 161-171. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00005-9)
23. Storer, K.R., Schmehl, W.R., & Hecker, R.J. (1973). Growth analysis studies of sugar beet. Technical Bull., Colorado State University Experiment Station. 118, 69 pp.
24. Taleghani, D.F., Moharamzadeh, M., Hemayati, S.S., Mohammadian, R., & Farahmand, R. (2011). Effect of sowing and harvest time on yield of autumn-sown sugar beet in Moghan region in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, 27(3), 355-371. <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110442>.

Investigating the Feasibility of the Autumn Cultivation of Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Marvdasht

Ali Mojab Ghasroddashti¹, Alireza Koocheki¹, Mehdi Nasiri Mahallati²

1 and 2- PhD student and professor respectively, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 23-06-2021
Revised: 26-01-2022
Accepted: 26-01-2022
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:

Mojab Ghasroddashti, A., Koocheki, A. R., & Nasiri Mahallati, M. (2025). Investigating the feasibility of the autumn cultivation of Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Marvdasht. *Journal of Agroecology*, 17(1), 1-14. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2022.67871.1004>

Introduction

Drought, as well as water scarcity, are the main limiting factors in the arid and semi-arid regions of the world, such as Iran (Deihimfard & Rahimi Moghadam, 2015). Autumn cultivation can be a solution provided that the upcoming long and cold temperatures do not limit the sugar beet development. One of the limitations of autumn sugar beet cultivation is dealing with low temperatures in winter, which results in vernalization and flowering of sugar beet in the first year. The bolting will reduce economic yield by reducing root weight as well as reducing sugar content (Taleghani et al., 2015). Considering the long period from sugar beet sowing to harvest, this study aimed to: (i) detect the interactions between planting dates and cultivars for three harvest dates; and (ii) recommend the best sugar beet cultivar with the best performance for increasing the sugar yield in Marvdasht region.

Materials and Methods

A split-split-plot field experiment with the randomized complete block design (RCBD) in three replicates was conducted in two agronomic years (2016-17 and 2017-18) in Marvdasht. Three sowing dates (16 September, 7 October, and 27 October) were assigned to the main plots, and two varieties (Giada and Levante) consisted of the sub-plots. Three harvest dates (1 May, 26 May, and 20 June) were also assigned to the sub-sub-plots. Basic plot size was 15 m², with five rows, 6 m long, and row spacing of 0.5 m. The root yield (RY) was determined by measuring the weight of roots from three middle rows and recalculating it as ton/ha. Root samples were analyzed in the laboratory for sugar beet root quality testing at Sugar Beet Research Institute in Karaj. Sugar content (SC) was measured according to the polarimetric method. Sugar yield (SY) was calculated following the equation: $SY = RY \times SC$.

Results and Discussion

The statistical analysis showed that the two-factor interaction of sowing and harvest dates was significant on the root yield ($\alpha < 0.01$). The mean comparisons of the treatments showed that the lowest yield was obtained at the sowing date of 27th October and the harvest date of 1st May (32.95 ton/ha). On the other side, the highest



©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.2022.67871.1004>

yield (75.75 ton/ha) was acquired with the interaction of the 16th September sowing date and 20 June harvest date. Bolting did not occur with the second and third sowing dates while it happened with the first sowing date. Bolting percentage at the first sowing date was also affected by delays in harvesting dates. The interaction of sowing date $\times$ cultivar $\times$ harvesting date was significant on sugar content. The highest sugar content belonged to the sowing date of 7th October and harvesting date of 26th May in the Giada cultivar, and the lowest sugar content belonged to the Levante cultivar in the sowing date of 7th October and harvesting date of 1st May. In other words, sugar content is strongly affected by sowing and harvesting dates, so early planting and delaying harvesting until July will increase the sugar content significantly. Also, higher sugar content can be achieved by adjusting the planting and harvesting dates to minimize bolting (Taleghani et al., 2011).

Conclusion

Delayed sowing and early harvesting led to reductions in root yield, sugar content, and white sugar yield. The treatment with a sowing date of September 16 and a harvesting date of June 20 resulted in the highest root yield. Although this treatment also had a high bolting rate, the increased yield compensated for the reduction in sugar percentage, resulting in the highest overall sugar yield. However, considering both economic factors and final product outcomes, and given that sugar yield was not significantly different between the second and third harvesting dates, the sowing date of September 16, combined with a harvesting date of May 26, was identified as the most effective treatment for sugar production in Marvdasht.

Keywords: Autumn cultivation, Bolting, Harvest date, Sowing date, Sugar beet cultivar

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۴-۱

بررسی امکان کشت پاییزه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در منطقه مرودشت

علی مجاب قصرالدشتی^۱، علیرضا کوچکی^{۲*} و مهدی نصیری محلاتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید چغندر قند در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران است. توسعه کشت پاییزه در مناطق مستعد یکی از راهکارهای مورد توجه برای رفع این مشکل می‌باشد. به همین منظور، این تحقیق با هدف بررسی امکان کشت پاییزه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در مناطق معتدله استان فارس به صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرده شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در منطقه مرودشت اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل سه تاریخ کاشت، ۲۶ شهریور، ۱۵ مهر و ۵ آبان در کرت اصلی، دو رقم چغندر قند مونوزرم گیادا و لوانته در کرت فرعی و سه زمان برداشت ۱۰ اردیبهشت، ۵ و ۳۰ خرداد در کرت‌های فرعی قرار داشت. یافته‌ها نشان داد که برهم‌کنش دوگانه تاریخ کاشت و تاریخ برداشت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد ریشه معنی‌دار شد. کمترین میزان عملکرد ریشه در تاریخ کاشت ۵ آبان و تاریخ برداشت ۱۰ اردیبهشت (۳۲/۹۵ تن در هکتار) و بیشترین میزان عملکرد در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و تاریخ برداشت ۳۰ خرداد (۷۵/۷۵ تن در هکتار) به دست آمد. هیچ یک از تاریخ‌های کشت دوم و سوم، ساقه‌روی نشان ندادند، ولی در تاریخ کاشت اول هر دو رقم به ساقه رفتند و با تأخیر در برداشت، درصد آن افزایش داشت، به طوری که بیشترین درصد ساقه‌روی در تاریخ برداشت سوم و در سال دوم مشاهده شد (۲۵/۸۲ درصد). نتایج همچنین نشان داد که برهم‌کنش سه‌طرفه هم بر عیار قند و عملکرد قند قابل استحصال معنی‌دار شد. به طور کلی، یافته‌های این آزمایش حاکی از آن است که امکان کشت پاییزه چغندر قند در منطقه مرودشت وجود دارد. تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۵ خرداد قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارقام، تاریخ برداشت، تاریخ کاشت، چغندر قند پاییزه، ساقه‌روی، مرودشت

مقدمه

است، اما با توجه به آمار، در دهه ۷۰ با شروع خشکسالی‌ها و کاهش بارش، سطح زیر کشت چغندر قند رو به کاهش گذاشت (FAO, 2017).

کشت پاییزه چغندر قند علاوه بر استفاده بهینه از نزولات آسمانی در طول دوره رشد، دارای مزایای دیگری از جمله کاهش میزان تنفس گیاه، افزایش کارایی مصرف آب، تعداد دفعات آبیاری کمتر، افزایش عملکرد، کاهش مصرف علف‌کش (به دلیل پایین بودن جمعیت علف‌های هرز در پاییز) و افزایش دوره بهره‌برداری کارخانه‌های قند می‌باشد (Sharifi et al., 2000). تاکنون مطالعات زیادی روی جنبه‌های مختلف زراعی، کمی و کیفی چغندر پاییزه انجام گرفته است. با معرفی ارقام مقاوم به ساقه‌روی می‌توان به توسعه کشت

خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران است (Deihimfard & Rahimi Moghadam, 2015). جایگزینی کشت پاییزه چغندر قند با کشت بهاره آن یکی از راهکارهای سازش با شرایط خشکی است. بین سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۷۱، سطح زیر کشت چغندر قند در ایران از ۴۹ هزار تا ۲۰۴ هزار هکتار متغیر بوده

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(*)- نویسنده مسئول:
(Email: akooch@um.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/agry.2022.67871.1004>

چغندر قند پاییزه در مناطق معتدله مانند مناطق جنوبی استان خراسان، شمال فارس، گلستان و دشت مغان نیز امیدوار بود (Sharifi et al., 2000).

یکی از محدودیت‌های کشت چغندر قند پاییزه، مصادف شدن دوره رشد آن با دمای پایین و طولانی در فصل زمستان می‌باشد، به‌طوری که به مدت طولانی در معرض دمای بهاره شدن (۸-۶ درجه سانتی‌گراد) یا کمتر از آن قرار گرفته که در نتیجه، منجر به پدیده بهاره شدن و بروز ساقه‌روی در سال اول خواهد شد. ساقه‌روی باعث کاهش عملکرد اقتصادی از طریق کاهش وزن ریشه و همچنین کاهش عیار قند خواهد شد (Taleghani et al., 2015). به‌طور کلی، تنها راه مقابله با ساقه‌رفتن و اثرات مخرب آن، استفاده از ارقام مقاوم می‌باشد. هر چند در مناطق یا سال‌هایی که دوره سرما خیلی طولانی باشد، ممکن است ارقام مقاوم نیز دچار ساقه‌روی شوند (Fathullah, Taleghani et al., 2015).

هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن زمان کاشت رقم یا گروهی از ارقام مشابه یک گیاه است، به‌طوری که مجموعه عوامل محیطی حادث در آن زمان، برای سبز شدن، استقرار و بقا گیاهچه مناسب باشد و حتی امکان گیاه با شرایط نامساعد محیطی برخورد نکند. مقایسه سه تاریخ کاشت (اکتبر=مهر، نوامبر=آبان و دسامبر=آذر)، دو تراکم ۸۰ و ۱۰۰ هزار بوته در هکتار و سه رقم (مونوتا^۱، موناتونو^۲، و کاوین تربولی^۳) در کشت پاییزه در منطقه جنوب اسپانیا نشان داد که رشد فعال چغندر قند بعد از ۱۶۰ روز از زمان کاشت و با شاخص سطح برگ ۳/۹ تا ۵ به دست آمد (Garcia, 1986). در آزمایشی دیگر که در شهرستان فسا انجام شد، تأثیر تاریخ کاشت (۵ مهر، ۲۵ مهر ۱۵ آبان) و تاریخ برداشت (۱۰ اردیبهشت، ۵ خرداد و ۳۰ خرداد) روی دو رقم چغندر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که تیمارهای تاریخ کاشت، درصد ساقه‌روی را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند، به‌طوری که تاریخ کاشت ۵ مهر بیشترین و ۱۵ آبان، کمترین درصد ساقه‌روی را به ترتیب معادل ۱۸/۴۰۹ و ۲/۸۷۰ نشان دادند. ارقام BRI و رسول که در این آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفتند، از لحاظ درصد ساقه‌روی، عملکرد ریشه، درصد قند خالص و عملکرد شکر سفید تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. بیشترین

عملکرد ریشه نیز مربوط به تاریخ کاشت ۵ مهر و تاریخ برداشت ۳۰ خرداد بود (Ashraf Mansouri et al., 2013). نتایج مقایسه چهار رقم چغندر قند (Suprema و Spartak, Giada, Azaba) در دو تاریخ کاشت ۱۶ مهر و ۲۲ آبان در منطقه زرقان استان فارس نشان داد که تاریخ کاشت دوم (در هر چهار رقم) فاقد ساقه‌روی بود. بیشترین درصد ساقه‌روی در رقم اسپارتاک در تاریخ کاشت اول مشاهده شد. تغییر تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ریشه چغندر قند داشت، به‌طوری که با تأخیر در کاشت (تاخیر ۳۶ روزه)، عملکرد ریشه از ۳۲۵۷۹ کیلوگرم در هکتار به ۲۷۳۲۱ کیلوگرم در هکتار رسید (Adibifard et al., 2017). علاوه بر این، نتایج آن‌ها نشان داد که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر میزان قند داشت، ارقام مورد مطالعه نیز تأثیر معنی‌داری بر درصد قند ناخالص داشتند و رقم Suprema حداکثر درصد قند ناخالص (۱۷/۶۳ درصد) را در تاریخ کاشت اول تولید کرد. همچنین گزارش شده است که به تعویق انداختن تاریخ کاشت چغندر قند، از مهر به آبان، باعث کاهش عملکرد ریشه از ۶۷/۲ به ۴۸/۴ تن در هکتار و افزایش درصد قند ناخالص از ۱۰/۹ به ۱۳ درصد شده است (Stibbe & Marlander, 2002).

نتایج تحقیقات دیگر نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف چغندر قند (Pamella, H poly 1 و Top poly) وجود داشت و برداشت دیر هنگام (۲۱۰ روز پس از تاریخ کاشت) منجر به بیشترین عملکرد ریشه و درصد قند نسبت به برداشت‌های دیگر شد (Al-Sayed, 2012). در آزمایشی دیگر در آلمان، بالاترین عملکرد قند ناخالص حدود ۲۳ تن در هکتار ثبت شده است. اگرچه در شهرپور و مهر، میزان تابش کم بوده، ولی میانگین بالای دمای روزانه و افزایش^۴ GDD باعث افزایش عملکرد شده است (Hoffmann, 2019). برخی محققان، تأخیر در زمان بستن شدن تاج‌پوشش را عامل عملکرد نهایی پایین‌تر در بعضی سال‌ها ذکر کردند (Hoffmann, 2019).

در حال حاضر، کشت پاییزه چغندر قند در استان فارس منحصر به مناطق گرم و جنوبی استان می‌باشد و بررسی امکان کشت پاییزه چغندر قند در مناطق معتدله استان نظیر مرودشت، با توجه به محدود شدن کشت بهاره چغندر قند در این مناطق در نتیجه کم‌آبی، می‌تواند به تولید شکر و ادامه فعالیت کارخانه‌های این مناطق کمک نماید. از این‌رو، تحقیق حاضر به همین منظور انجام گردید.

- 1- Monauta
- 2- Monatonno
- 3- Kaweinterpoly

مواد و روش‌ها

این آزمایش در حوزه فعالیت کارخانه قند مرودشت در روستای میان‌قلعه شهرستان مرودشت (طول جغرافیایی $45^{\circ} 52'$ و عرض جغرافیایی $3^{\circ} 30'$ با ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا) به مدت دو سال از شهریور سال ۱۳۹۵ به صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل سه تاریخ کاشت (۲۶ شهریور، ۱۵ مهر و ۵ آبان) به عنوان عامل اصلی، دو رقم پاییزه گیادا (Giada) و لوانته (Levante) به عنوان عامل فرعی و سه تاریخ برداشت (۱۱

اردیبهشت، ۵ خرداد و ۳۰ خرداد) به عنوان عامل فرعی انتخاب شدند. رقم گیادا از شرکت KWS آلمان و رقم لوانته از شرکت SESVanderhave تهیه شدند. بذور هر دو رقم مونوژرم، پلیت نشده و با سموم قارچ‌کش و حشره‌کش ضد عفونی شده بودند و از خصوصیات مهم آن‌ها، مقاومت بالا به ساقه‌روی است. قبل از کاشت، از خاک نقاط مختلف مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌هایی به صورت تصادفی برداشت شده و بعد از اختلاط جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، یک نمونه مرکب به آزمایشگاه تجزیه خاک ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه برخی صفات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در دو سال آزمایش

Table 1- Soil physicochemical characteristics at depth of 0-30 cm in two years of experiment

سال Year	بافت Texture	واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)P	پتاسیم قابل جذب K (mg.kg ⁻¹)
2016-2017	لوم رسی Clay loam	7.52	0.32	1.56	0.036	3.40	218
2017-2018	لوم رسی Clay loam	7.26	0.39	1.36	0.033	5.42	230

کنار هر ردیف کاشت انجام شد. در هر دو سال آزمایش، دفعات آبیاری و حجم آب مصرفی (به وسیله کنتور) در هر دو سال به طور دقیق ثبت شد (جدول ۲). با توجه به تراکم ۱۰ بوته در مترمربع، دو بار تنک و وجین علف‌های هرز (در مرحله دو تا چهار برگی و در محدوده بهمن ماه) با رعایت فاصله روی ردیف معادل ۲۰ سانتی‌متر به صورت دستی انجام شد. در این آزمایش، آفات و بیماری خاصی مشاهده نشد که نیاز به مهار داشته باشد. همچنین در طی دو سال آزمایش، قبل از وقوع سرما (۱ آذر)، تعداد بوته‌های مستقر شده در تیمارهای مختلف دقیقاً شمارش و یادداشت شد و بعد از رفع دوره سرما (۱ اسفند) نیز تعداد بوته‌ها مجدداً شمارش و یادداشت‌برداری شد، ولی در هیچ کدام از تیمارها، خطر سرمازدگی و یخ‌زدگی که به حذف بوته‌ها منجر شود، وجود نداشت و هیچ بوته‌ای از بین نرفت. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی کوشک که نزدیک‌ترین ایستگاه به مزرعه محل آزمایش بود، اخذ شد (شکل ۱).

برداشت پس از حذف نیم متر از بالا و پایین کرت و از سه خط وسط کرت انجام پذیرفت و پس از شمارش تعداد ریشه و توزین آن‌ها، نمونه خمیر ریشه هر تیمار برای تعیین درصد قند به آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات چغندر قند ارسال شد. با توجه به اندازه

جهت آماده‌سازی زمین، در اوایل شهریور هر سال ابتدا عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار انجام شد و جهت خرد کردن کلوخه‌ها از دیسک و جهت تسطیح زمین از لولر استفاده شد. براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به خاک اضافه شد. تمام کود فسفره و پتاسه و یک سوم کود نیتروژن قبل از کاشت به خاک اضافه شد. همچنین یک سوم کود اوره در مرحله ۲-۴ برگی و یک سوم باقی‌مانده در اول اسفند هر سال به صورت محلول در تانک کود به سیستم آبیاری تزریق شد. سیستم آبیاری به صورت قطره‌ای (نوار تیپ) بود. مساحت هر کرت ۱۵ متر مربع، شامل شش خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول پنج متر بود. همچنین فاصله بوته‌ها روی ردیف هم ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی هر یک متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. کشت براساس تقویم زمانی به صورت دستی و به روش خشکه کاری و آبیاری هم در همان روز و بلافاصله بعد از کشت انجام شد. در طول دوره رشد، آب مورد نیاز مزرعه از آب آبیاری و آب باران تأمین شد. آبیاری گیاهان به روش قطره‌ای (نوار تیپ) با استفاده از نوار تیپ‌های ۲۰ سانتی‌متری با دبی سه لیتر در ساعت در

برهم‌کنش تاریخ کاشت و برداشت در سطح احتمال خطای یک درصد بر عملکرد ریشه معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و برداشت نشان داد که کمترین میزان عملکرد ریشه مربوط به تاریخ کاشت ۵ آبان و تاریخ برداشت ۱۰ اردیبهشت بود (۳۲/۹۵ تن در هکتار) و بیشترین میزان عملکرد ریشه مربوط به تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و تاریخ برداشت ۳۰ خرداد (۷۵/۷۵ تن در هکتار) بود (شکل ۲).

با تأخیر در برداشت از ۱۰ اردیبهشت تا ۳۰ خرداد و همچنین تعجیل در کاشت از ۵ آبان تا ۲۶ شهریور، دوره رشد گیاه افزایش یافته و همین امر تأثیر مثبتی بر عملکرد ریشه داشت که با یافته‌های سایر محققین هم‌خوانی دارد (Ashraf Basati et al., 2002; Mansouri et al., 2013). همچنین با توجه به رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (GDD) و عملکرد ریشه در دو سال مختلف (شکل ۳) مشخص شد که با افزایش درجه روز رشد تجمعی می‌توان به عملکرد ریشه بیشتری دست یافت، به‌طوری‌که با افزایش درجه روز رشد تا بیش از ۳۰۰۰، عملکرد ریشه افزایش یافت و فقط شیب این افزایش، اندکی کاهش یافت.

گیری‌های انجام شده، عملکرد شکر سفید محاسبه شد. با استفاده از دستگاه بتالایزر، درصد قند و توسط دستگاه فلیم فتومتر، سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد (Asadi, 2007).

با استفاده از آمار دمای روزانه از کاشت تا برداشت هر تیمار در هر سال آزمایش، میزان درجه-روز-رشد تجمعی دوره تمامی تیمارها، با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید:

$$H_i = \sum ((T_{\min} + T_{\max}) / 2) - T_b \quad (1)$$

که در آن، H_i : درجه-روز-رشد (GDD)، $T_{\min}$: کمینه درجه حرارت روزانه هوا، $T_{\max}$: بیشینه درجه حرارت هوا و T_b : درجه حرارت پایه چغندر قند است که معادل سه درجه سانتی‌گراد منظور شد (Hoffmann, 2019).

آزمون بارتلت برای اطمینان از یکنواختی خطاهای آزمایش در دو سال انجام و سپس تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

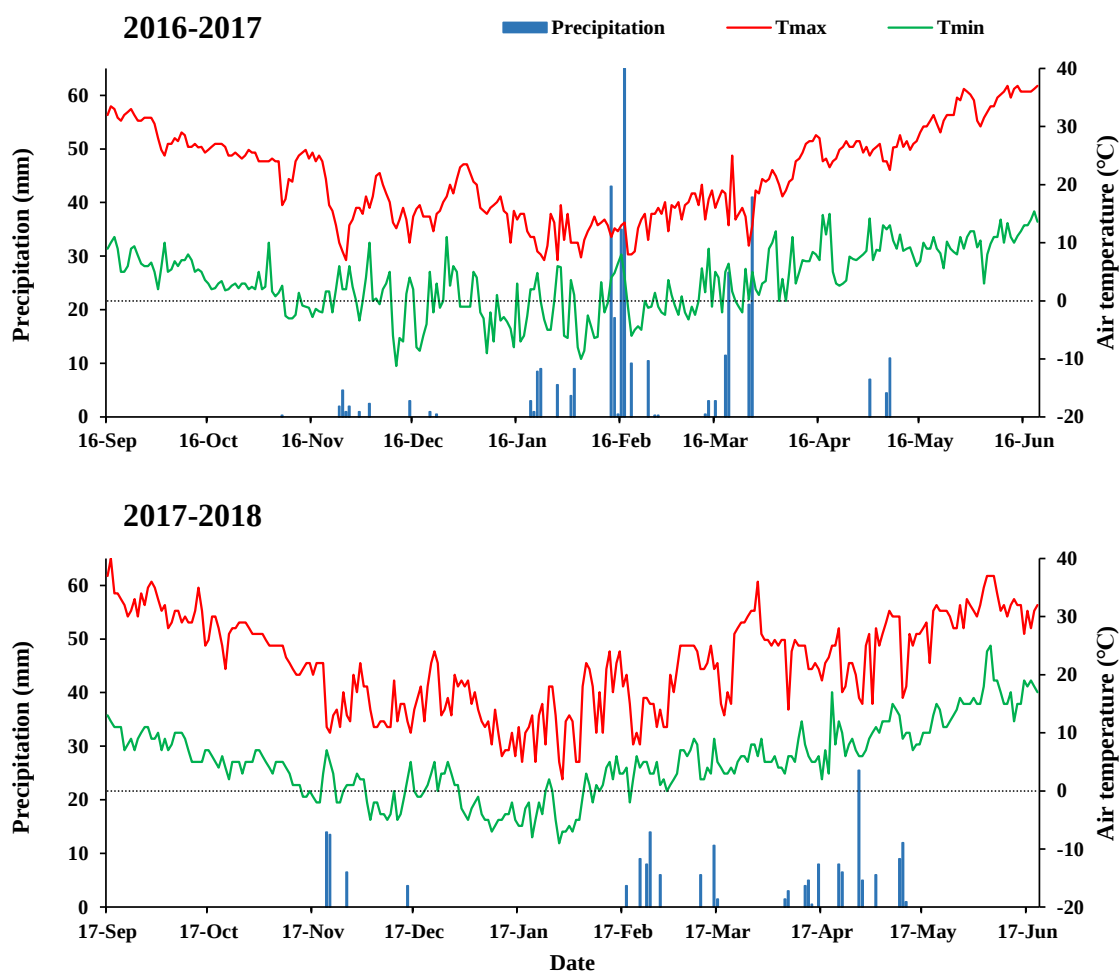
نتایج و بحث

عملکرد ریشه

جدول ۲- تعداد دفعات و عمق آب آبیاری در تیمارهای مختلف در دو سال زراعی

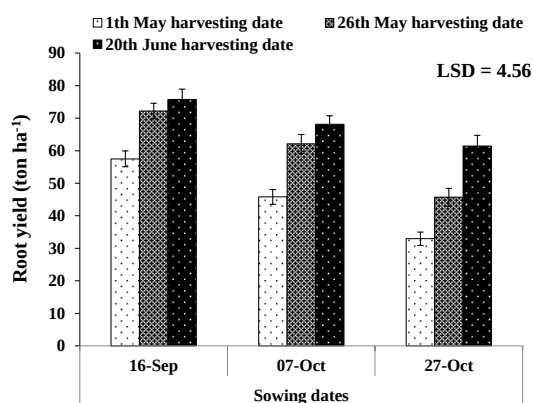
Table 2- Number and depth of irrigation in different treatments in two cropping seasons.

تاریخ کاشت Sowing date	تاریخ برداشت Harvesting date	تعداد دفعات آبیاری Number of irrigations		عمق کل آب آبیاری Depth of irrigation (mm)		بارندگی Precipitation (mm)	
		2016-2017	2017-2018	2016-2017	2017-2018	2016-2017	2017-2018
۲۶ شهریور 16 Sep.	۱۰ اردیبهشت 1 May	13	12	508	529	349	165
	۵ خرداد 26 May	16	14	610	614	371	193
	۳۰ خرداد 20 June	20	18	779	798	371	193
۱۵ مهر 7 Oct.	۱۰ اردیبهشت 1 May	9	9	362	429	349	165
	۵ خرداد 26 May	12	11	464	514	371	193
	۳۰ خرداد 20 June	16	15	633	698	371	193
۵ آبان 27 Oct.	۳۰ خرداد 20 June	7	7	275	332	349	165
	۱۰ اردیبهشت 1 May	10	9	377	417	371	193
	۵ خرداد 26 May	14	13	546	601	371	193



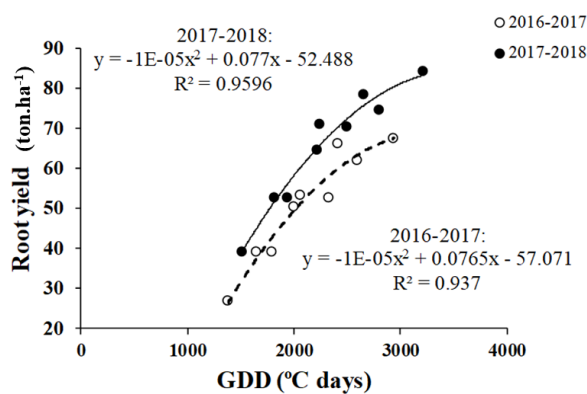
شکل ۱- دمای کمینه، بیشینه و میزان بارندگی در طول فصل کاشت در دو سال آزمایش

Fig. 1- Minimum, and maximum temperature and rainfall during the growing season in two years of experiment



شکل ۲- مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت در تاریخ برداشت برای عملکرد ریشه چغندر قند

Fig. 2- Mean comparison of interaction between sowing date, and harvesting date for root yield of sugar beet



شکل ۳- رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (برای سه تاریخ کاشت در سه تاریخ برداشت) و عملکرد ریشه (میانگین دو رقم) در دو سال مختلف در چغندر قند

Fig. 3- Relation of root yield (mean of two cultivars) and accumulative GDD (for three sowing dates in three harvest dates) in sugar beet

جدول ۳- میانگین مربعات تجزیه واریانس مرکب عملکرد ریشه و برخی صفات کیفی چغندر قند در دو سال آزمایش
Table 3- Mean squares of combined analysis of variance for root yield, and some qualitative traits of sugar beet in the experimental years.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد ریشه Root yield	ساقه‌روی Bolting	قند ناخالص Sugar content	عملکرد شکر سفید White sugar yield
سال Year (Y)	1	5719**	54.82**	33.39**	125.04**
تکرار (سال) Replication (R)	4	13.48	0.567	0.64	0.339
تاریخ کاشت Sowing date (SD)	2	4284.9**	1301.31**	31.65**	109.64**
Y × SD	2	0.122 ^{ns}	54.82**	0.137 ^{ns}	0.57 ^{ns}
R (Y × SD)	8	56.82	0.56	1.69	2.33
رقم Cultivar (C)	1	10.25 ^{ns}	1.30 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.24 ^{ns}
Y × C	1	*129.45	0.02 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	1.29 ^{ns}
SD × C	2	11.19 ^{ns}	1.30 ^{ns}	8.14**	2.78*
Y × SD × C	2	19.12 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.58 ^{ns}
R (Y × SD × C)	12	22.16	0.87	0.423	0.65
تاریخ برداشت Harvesting date (HD)	2	48.85**	453.9**	67.62**	158.94**
SD × HD	4	142.5**	453.9**	8.37**	6.94**
SD × HD	2	46.97 ^{ns}	0.36 ^{ns}	9.80**	9.22**
SD × C × HD	4	20.09 ^{ns}	0.36 ^{ns}	3.75**	0.866 ^{ns}
Y × HD	2	13.43 ^{ns}	6.99**	0.335 ^{ns}	2.80 ^{ns}
Y × SD × HD	4	26.60 ^{ns}	6.99**	0.053 ^{ns}	0.853 ^{ns}
Y × C × HD	2	20.38 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.058 ^{ns}	0.902 ^{ns}
Y × SD × C × HD	4	3.40 ^{ns}	0.76 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.010 ^{ns}
خطا Error	48	30.88	0.53	0.999	1.66
ضریب تغییرات CV (%)		9.54	20.84	6.61	18.85

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد؛ ^{ns}: غیر معنی‌دار

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

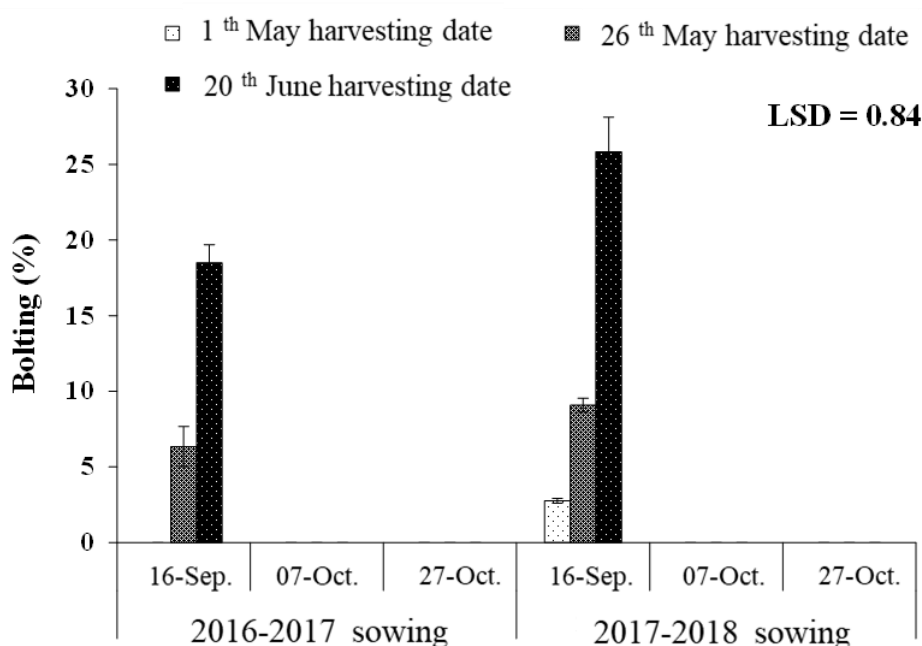
این نتیجه رسیدند که در همه تیمارها با افزایش دوره رشد و تأخیر در برداشت و تاریخ کاشت‌های زودهنگام، عملکرد ریشه افزایش می‌یابد که دلیل این امر، افزایش درجه روز رشد به واسطه افزایش طول دوره رشد است. تاریخ کاشت زود (مهرماه) از طریق تعداد، سن و اندازه برگ‌های گیاه می‌تواند تاج‌پوشش را تحت تأثیر قرار دهد و در نهایت، بر میزان جذب نور تأثیر بگذارد (Rinaldi & Vonella, 2004). در مقابل، تأخیر در کاشت باعث تأخیر در ظهور گیاهچه و در نتیجه، کاهش تجمع ماده خشک گردید و این تفاوت تا پایان باقی خواهد ماند (Stibbe & Marlander, 2002). در مطالعه حسین و همکاران (Hossain et al., 2015) برای تعیین تاریخ کاشت بهینه چغندر قند در بنگلادش گزارش کردند که بیشترین عملکرد ریشه در تاریخ کاشت اول نوامبر (۱۰ آبان) به‌دست آمد و با تأخیر در کاشت از اول نوامبر به بعد، عملکرد ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

همچنین با مقایسه درجه روز رشد در دو سال مختلف می‌توان مشاهده کرد که به علت شرایط دمایی متفاوت در دو سال و بالاتر بودن کمینه و بیشینه دما در سال دوم، مقدار درجه روز رشد تجمعی سال دوم نسبت به سال اول بالاتر بوده و همین امر و ارتباط مستقیم GDD دریافتی و تجمع ماده خشک می‌تواند عملکرد بالاتر ریشه در سال دوم را توجیه کند (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011). به‌طور کلی، عملکرد ریشه چغندر قند پاییزه به‌شدت به تاریخ کاشت وابسته بوده، چغندر قندی که زودتر کاشته شده، همیشه به بازده بالاتری دست می‌یابد (Illkaee et al., Kenter et al., 2006; Hoffmann & Kluge-Severin, 2016). هافمن و کلاگ سورین (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011) تاریخ‌های کشت پاییزه (۲۴ مرداد، ۲۴ شهریور و ۱۰ مهر) و تاریخ‌های کشت بهاره (۲۵ بهمن، ۲۵ اسفند و ۲۵ فروردین) چغندر قند را در تاریخ‌های مختلف کاشت و برداشت مورد مقایسه قرار دادند و به

امکان دارد که در موارد محدود به خصوص در مناطق گرم، با تأخیر در برداشت، عملکرد کاهش یابد، به طوری که در آزمایش بساطی و همکاران (Basati et al., 2002) در مناطق گرم کرمانشاه، با تأخیر در برداشت از ۱۵ اردیبهشت تا ۱۵ خرداد عملکرد به طور معنی داری کاهش یافت که دلیل آن، افزایش دمای هوا در خرداد و همچنین افزایش تنفس در شب ذکر شده است.

ساقه روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم کنش دوگانه تاریخ کاشت و رقم و تاریخ کاشت و تاریخ برداشت بر میزان ساقه روی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بودند (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۴) مشاهده می شود که تاریخ های کشت دوم و سوم ساقه روی نشان ندادند، ولی در تاریخ کاشت اول، هر دو رقم به ساقه رفتند و با تأخیر در برداشت، درصد آن افزایش داشت (جدول ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین برهم کنش سال در تاریخ کاشت در تاریخ برداشت برای درصد ساقه روی چغندر قند
Fig. 4- Mean comparison of interaction among year, sowing date, and harvesting date for bolting rate of sugar beet

سال در منطقه مغان مورد مطالعه قرار گرفت که اثر سال، زمان کاشت و زمان برداشت تأثیر معنی داری بر درصد ساقه روی نداشت، اما درصد ساقه روی در سطح پنج درصد تحت تأثیر رقم قرار گرفت. می توان

در آزمایشی دیگر، اثر سه زمان کاشت (اوایل مهر، نیمه مهر و اوایل آبان) و چهار تاریخ برداشت (اوایل خرداد، تیر، مرداد و شهریور) روی سه رقم (مقاوم، نیمه مقاوم و حساس به پدیده ساقه رفتن) در دو

بیان کرد که با انتخاب رقم مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه می‌توان تا حدود بسیار زیادی از به ساقه‌رفتن و کاهش کیفیت و عملکرد ریشه چغندر قند کاست (Taleghani et al., 2011). در آزمایش ادیبی فرد و همکاران (Adibifard et al., 2017) که چهار رقم چغندر قند پاییزه (Suprema و Spartak، Giada، Azaba) را در دو تاریخ کاشت ۱۶ مهر و ۲۲ آبان در منطقه زرقان استان فارس بررسی کردند، نتایج بیانگر تفاوت معنی‌دار بین ارقام و تاریخ‌های

کاشت بود، به‌طوری‌که تعجیل در کاشت باعث افزایش ساقه‌روی شد. به‌طور کلی، در مورد تأثیر تاریخ کاشت و برداشت بر ساقه‌روی می‌توان این‌گونه بیان نمود که بوته‌هایی با تأخیر در فصل زمستان کشت می‌شوند، سطح برگ کمتر و به طبع آن سطح دریافت‌کننده سرمای کمتری نسبت به گیاهان کشت شده در تاریخ‌های زودتر را دارند و به همین دلیل، مقاوم‌تر می‌باشند و بولتینگ کمتری را نشان می‌دهند (Basati et al., 2002).

جدول ۴- درصد ساقه‌روی ارقام مختلف چغندر قند در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و تاریخ‌های مختلف برداشت چغندر قند در دو سال زراعی
Table 4- Bolting percentage of different sugar beet cultivars on planting date of 26 September and different harvesting dates of sugar beet in two years

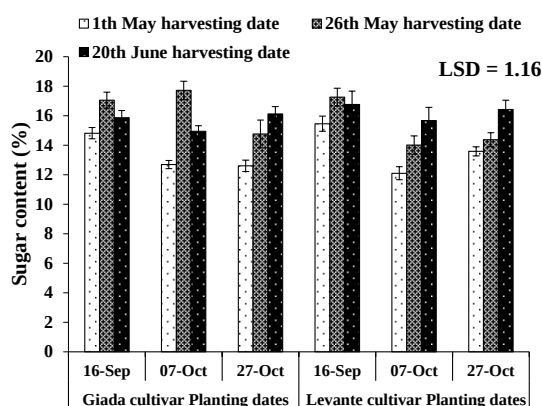
سال Year	تاریخ کاشت Sowing date	تاریخ‌های برداشت Harvesting dates	گیادا Giada	لوانته Levante
2016-2017	۲۶ شهریور 16 th Sep	۱۰ اردیبهشت 1 th May	0 ^h	0 ^h
		۵ خرداد 26 th May	5.3 ^f	7.3 ^e
		۳۰ خرداد 20 th June	18.7 ^c	18.3 ^c
2017-2018	۲۶ شهریور 16 th Sep	۱۰ اردیبهشت 1 th May	2.7 ^g	2.8 ^g
		۵ خرداد 26 th May	8.8 ^d	9.3 ^d
		۳۰ خرداد 20 th June	25.0 ^b	26.7 ^a

درصد قند ناخالص (عیار)

نتیجه تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به درصد قند ناخالص یا عیار قند حاکی از آن است که اثر متقابل سه طرفه تاریخ کاشت، برداشت و رقم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

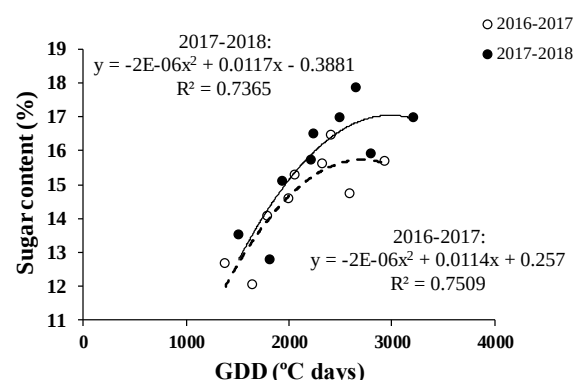
با بررسی مقایسه میانگین برهم‌کنش تاریخ کاشت در رقم در تاریخ برداشت (شکل ۵) مشخص شد که روند تغییرات عیار قند در برداشت‌های مختلف در دو رقم مورد مطالعه و در هر سه تاریخ کاشت متفاوت می‌باشد، به‌طوری‌که در رقم لوانته در برداشت‌های مختلف در هر سه تاریخ کاشت، عیار قند روند افزایشی دارد، ولی در رقم گیادا روند اندکی متفاوت می‌باشد. به این ترتیب، بیشترین عیار قند (۱۷/۷ درصد) مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ مهر و برداشت ۵ خرداد در رقم گیادا بود و کمترین عیار (۱۲/۱ درصد) هم مربوط به رقم لوانته در تاریخ کاشت ۱۵ مهر و برداشت ۱۰ اردیبهشت بود. به بیان دیگر، عیار قند به‌شدت تحت تأثیر تاریخ کاشت و برداشت قرار می‌گیرد،

به‌طوری‌که با تعجیل در کاشت در اواخر شهریور و همچنین تأخیر در برداشت تا تیر ماه، عیار قند رشد معنی‌داری خواهد کرد. همچنین با توجه به تأثیر ساقه‌روی بر درصد قند با تنظیم تاریخ کاشت و برداشت جهت حداقل ساقه‌روی می‌توان به مقدار بالاتر عیار دست یافت (Taleghani et al., 2011). همچنین بساطی و همکاران (Basati et al., 2002) با بررسی اثر سه تاریخ کاشت (اول شهریور، ۲۰ شهریور و ۱۰ مهر) و سه تاریخ برداشت (۱۵ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۱۵ خرداد) بر رقم BR1 چغندر قند پاییزه در منطقه سرپل ذهاب کرمانشاه گزارش کردند که تأثیر تاریخ کاشت بر درصد و عملکرد قند معنی‌دار نبوده، ولی تاریخ کاشت ۲۰ شهریور، درصد قند بیشتری معادل ۱۴/۹ درصد را نشان داد. در تاریخ‌های مختلف برداشت هم مشاهده شد که در سال اول، برداشت‌های مختلف تأثیری نامنظم داشتند، ولی در سال دوم با تأخیر در برداشت (از ۱۵ فروردین تا ۱۵ خرداد)، درصد قند از ۱۳/۵ تا ۱۷/۶۱ افزایش یافت.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت در رقم در تاریخ برداشت برای درصد قند ناخالص در چغندر قند

Fig. 5- Mean comparison of interaction among sowing date, cultivar, and harvesting date for sugar content in sugar beet



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (برای سه تاریخ کاشت در سه تاریخ برداشت) و درصد قند ناخالص (میانگین دو رقم) در دو سال مختلف در چغندر قند

Fig. 6- Relation of Sugar content (mean of two cultivars) and accumulative GDD (for three sowing dates in three harvest dates) in sugar beet

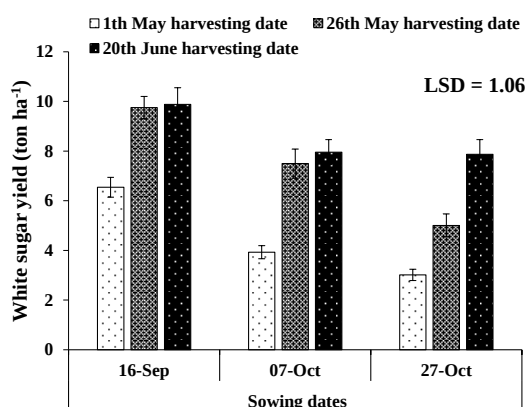
عملکرد شکر سفید تأثیر معنی دار داشتند (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۷) مشاهده می شود که با تأخیر در برداشت در سه تاریخ کاشت، میزان عملکرد شکر افزایش پیدا می کند، اما شیب این افزایش در تاریخ کاشت سوم بیشتر است. بیشترین عملکرد شکر سفید هم معادل ۹/۸۸ تن در هکتار در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۳۰ خرداد و کمترین میزان هم معادل ۳/۰۱ تن در هکتار در تاریخ کاشت ۵ آبان و برداشت ۱۰ اردیبهشت به دست آمد.

رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی و عملکرد شکر سفید در دو سال مختلف نشان داد که با افزایش GDD یا به عبارتی دوره رشد، میزان عملکرد شکر افزایش پیدا کرد. با توجه به این مطلب که عملکرد شکر تابعی از عیار قند، قند خالص و عملکرد ریشه می باشد، بنابراین این مشخصه باید با افزایش این سه عامل، افزایش پیدا کند. بنابراین با توجه به این مطلب که عملکرد ریشه و درصد قند ریشه تحت تأثیر تأخیر در برداشت و تعجیل در کشت افزایش پیدا می کنند، بنابراین افزایش عملکرد شکر با افزایش GDD قابل انتظار است (شکل ۸). هافمن (Hoffmann, 2019) نیز با افزایش GDD، افزایش درصد قند قابل استحصال و همچنین عملکرد ریشه را گزارش کرد، در نتیجه عملکرد شکر سفید هم که به عبارتی، از ضرب این دو فاکتور به دست می آید، با شیب ثابتی افزایش یافت.

رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی و درصد قند ناخالص در دو سال مختلف (شکل ۶) نشان داد که با افزایش GDD عیار قند افزایش پیدا می کند، ولی این افزایش با روند افزایش عملکرد ریشه تحت تأثیر درجه روز اندکی متفاوت می باشد، به طوری که بعد از دریافت حدود ۲۵۰۰ درجه، عیار قند به مقدار بیشینه خود رسیده و پس از آن، روند افزایشی ندارد، در صورتی که عملکرد ریشه تقریباً به صورت خطی افزایش پیدا کرد که این مطلب نشان می دهد، روند افزایش عملکرد و عیار بر هم منطبق نیستند، به طوری که در برداشت دوم و حدود ۲۵۰۰ درجه روز رشد، حداکثر عیار به دست آمده، در صورتی که حصول بیشترین عملکرد مربوط به تاریخ برداشت سوم بود (شکل ۵). بنابراین، با تعجیل در کاشت و مصادف شدن ظهور گیاهچه با شرایط دمایی بالاتر، گیاه قبل از شروع سرما می تواند به شاخص سطح برگ بالاتری دست یابد که همین امر به بسته شدن سریع تر سایه انداز بعد از گذراندن دوره سرما کمک کرده و باعث انطباق بیشینه سطح برگ با بیشترین تابش می شود.

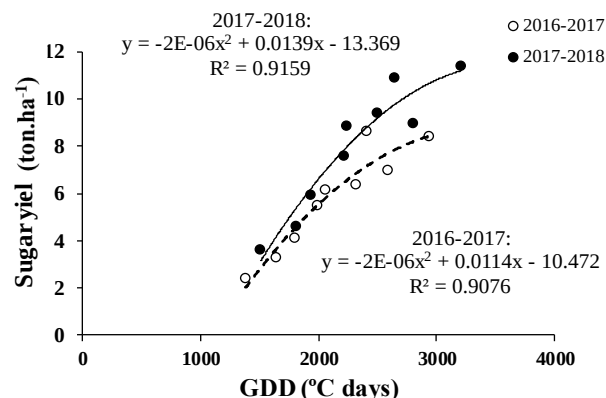
عملکرد شکر سفید

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که برهم کنش دوگانه تاریخ کاشت در رقم در سطح احتمال پنج درصد و تاریخ کاشت در برداشت و تاریخ برداشت در رقم در سطح احتمال یک درصد بر



شکل ۷- مقایسه میانگین برهم کنش تاریخ کاشت در تاریخ برداشت برای عملکرد شکر سفید در چغندر قند

Fig. 7- Mean comparison of interaction between sowing date, and harvesting date for white sugar yield in sugar beet



شکل ۸- رابطه رگرسیونی بین درجه روز رشد تجمعی (برای سه تاریخ کاشت در سه تاریخ برداشت) و عملکرد شکر سفید (میانگین دو رقم) در چغندر قند در دو سال مختلف

Fig. 8- Regression equation of sugar yield (mean of two cultivars) and accumulative GDD (for three sowing dates in three harvest dates) in sugar beet

کردند که عملکرد شکر تحت تأثیر رقم قرار گرفت و رقم DEZ نسبت به رقم BR1، بیشترین مقدار عملکرد شکر را نشان داد. در آزمایشی دیگری که در شهرستان فسا انجام شد، تأثیر تاریخ کاشت (۵ مهر، ۲۵ مهر و ۱۵ آبان) و تاریخ برداشت (۱۰ اردیبهشت، ۵ خرداد و ۳۰ خرداد) روی دو رقم (BRI و رسول) چغندر قند مورد ارزیابی قرار گرفت (Ashraf Mansouri et al., 2013). ایشان نتیجه گرفتند که در مناطق معتدله، گیاهان در تاریخ‌های کاشت زود هنگام (۵ مهر) مدت زمان بیشتری در معرض سرما قرار گرفته و همین امر باعث می‌شود که درصد ساقه‌روی افزایش یابد و در تاریخ کاشت‌های دیرتر (۲۵ مهر و ۱۵ آبان)، تعداد بوته کمتری به ساقه می‌روند. از طرفی، برای حصول حداکثر عملکرد نیاز به دوره رشد طولانی‌تری بوده، بنابراین تاریخ کاشت و برداشت باید به گونه‌ای انتخاب شود که بین عملکرد و ساقه‌روی تعادل برقرار شده و بیشترین عملکرد شکر سفید حاصل گردد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که انتخاب تاریخ کاشت و برداشت مناسب و همچنین رقم مقاوم به ساقه‌روی اثر بسیار زیادی بر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند دارد. تأخیر در کاشت از ۲۶ شهریور تا ۵ آبان و تعجیل در برداشت (قبل از ۳۰ خرداد) باعث کاهش عملکرد ریشه، عیار قند و در نهایت، عملکرد شکر سفید می‌شود. در این منطقه در دو

در آزمایش ادیبی‌فرد و همکاران (Adibifard et al., 2017) که چهار رقم چغندر قند پاییزه (آزابا، گیادا، اسپارتاک و سوپرما) (و،) را در دو تاریخ کاشت ۱۶ مهر و ۲۲ آبان در منطقه زرکان استان فارس بررسی کردند، تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد به‌طور معنی‌داری بر عملکرد شکر سفید تأثیر گذاشت. حمایتی و همکاران (Hemayati et al., 2012) با بررسی اثر سه تاریخ کاشت (۱۵ شهریور، ۱۵ مهر و ۱۵ آبان) بر عملکرد کمی و کیفی پنج رقم چغندر قند پاییزه در جیرفت نشان داد که با تأخیر در کاشت، عملکرد شکر کاهش می‌یابد. از جمله دلایل افزایش عملکرد در کاشت زود هنگام می‌توان به رابطه خطی بین عملکرد و مقدار تشعشع خورشیدی دریافت شده اشاره کرد (Hosseini et al., 2011; Fortune et al., 1999; Storer et al., 1973; Biscoe et al., 1978).

بین ارقام از لحاظ شکر سفید معمولاً تفاوت معنی‌دار وجود دارد و انتظار می‌رود، ارقامی که در تاریخ کاشت‌های زود هنگام عملکرد بیشتری دارند در تاریخ کاشت‌های بعدی هم عملکرد بیشتری نسبت به ارقام دیگر برخوردار باشند (Hemayati et al., 2012) اما در این آزمایش تفاوت معنی‌داری بین ارقام از لحاظ عملکرد شکر سفید وجود نداشت. جواهری و همکاران (Javaheri et al., 2006) نیز گزارش

- 1- Azaba
- 2- Giada
- 3- Spartak
- 4- Suprema

سال آزمایش در هیچ کدام از تیمارها خطر سرمازدگی و یخزدگی که به حذف بوته‌ها منجر شود، وجود نداشت و هیچ بوته‌ای از بین نرفت. تیمار تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۳۰ خرداد با وجود بیشترین عملکرد ریشه و شکر، ساقه‌روی بالایی نیز داشت. بنابراین، با در نظر گرفتن محصول اقتصادی و نهایی نتیجه می‌گیریم که تاریخ برداشت دوم (۵ خرداد) در تاریخ کاشت ۲۶ شهریور از نظر عملکرد شکر با تاریخ کاشت سوم (۳۰ خرداد) اختلاف معنی‌داری نداشته و از طرفی، درصد ساقه‌روی کمتر از ۱۰ درصد را دارا بود. بنابراین در نهایت، تاریخ کاشت ۲۶ شهریور و برداشت ۵ خرداد از لحاظ عملکرد شکر، بهترین تیمار در نظر گرفته می‌شود.

References

- Adibifard, N., Habibi, D., Bazrafshan, M., Taleghani, D.F., & Ilkaee, M.N. (2017). Investigating of cultivating the autumn sugar beet in Fars province (Zarghan). *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 3, 1-9.
- Al-Sayed, M., Usama, A., Abd El-Razek, F., Hayam, M., & Fateh, S. (2012). Effect of harvest dates on yield and quality of sugar beet varieties. Sugar Crops Res. Inst., Agricultural Researches Center, Giza, Egypt. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(9), 525-529. <https://doi.org/10.52804/ijaas2023.4211>
- Asadi, M., (2007). Beet-Sugar Handbook: John Wiley & Sons. 884PP.
- Ashraf Mansouri, G., Sharifii, M., & Hamdi, F. (2013). Study of autumn sowing of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Fasa area. *Journal of Sugar Beet*, 29(1), 37-43. <https://doi.org/10.22092/jsb.2013.1299>.
- Basati, J., Koolivand, M., Nemati, A., & Zarei, A. (2002). Evaluation of autumn-sown sugar beet production possibility in Kerman-shah warm regions. *Journal of Sugar Beet*, 18(2), 119-130. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jsb.2003.8279>.
- Biscoe, P.V., Jaggard, K.W., Farley, R.F., & Messem, A.B. (1979). Radiation interception and sugar production. UK, Rothamsted Experimental Station Report. pp. 64PP.
- Deihimfard, R., & Rahimi Moghadam, S. (2015). Assessing the yield of spring and autumn-sown sugar beet in Mashhad and Neyshabor, Khorasan using a simulation model. *Journal of Plant Production Research*, 22(3), 157-180
- FAO STAT. 2017. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>).
- Fathullah Taleghani, D., Mohammadian, R., & Sadeghzadeh Hamayati, S. (2015). Guide to planting, holding and harvesting autumn beets. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Sugar Beet Seed Breeding Research Institute. Pp. 194.
- Fortune, R.A., Burke, J.I., Kennedy, T., & O'Sullivan, E. (1999). Effect of early sowing on the growth, yield and quality of sugar beet. Crops Research Centre, Oak Park 20, 25 p.
- Garcia, J., Lopez, E., & Bellido, L. (1986). Growth and yield of autumn-sown sugar beet: Effects of sowing time, plant density and cultivar. *Field Crops Research*. 14, 1-14. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90042-0](https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90042-0).
- Hemayati, S., Shirzadi, M., Aghaezadeh, M., Taleghani, D., Javaheri, M., & Aliasghari, A. 2012. Evaluation of sowing and harvesting date effects on yield and quality of five sugar beet cultivars in Jiroft region (autumn planting). *Journal of Sugar Beet*, 28(1), 42-25. <https://doi.org/10.22092/jsb.2012.659>.
- Hoffmann, C.M. & Kluge-Severin, S. (2011). Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *European Journal of Agronomy*, 34(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.09.001>.
- Hoffmann, C.M. (2019). Importance of canopy closure and dry matter partitioning for yield formation of sugar beet varieties. *Field Crops Research*, 236, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.013>.
- Hossain, M.F., Khaliq, Q.A., & Karim, A. (2015). Effect of sowing date on growth and yield of tropical sugar beet. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(1), 53-60.
- Ilkaee, M.N., Babaei, Z., Baghdadi, A., & Golzardi, F. (2016) Effect of different planting dates and defoliation on the properties of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(1), 52-58. [http://doi.org/10.18006/2015.4\(1\).52.58](http://doi.org/10.18006/2015.4(1).52.58).
- Javaheri, M.A., Najafinejad, H., & Azad Shahraki, F. (2006). Investigating the possibility of autumn beet cultivation in Arzooieh region (Kerman province). *Journal of Pajhouhesh and Sazandegi*, 71, 93-85.
- Kenter, C., Hoffmann, C.M., & Märlander, B. (2006). Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 62-69.

- <http://doi.org/10.1016/j.eja.2005.05.001>.
19. Khajehpour, M. 2006. Industrial plants. Isfahan University of Technology Jihad Publications, Isfahan, Iran. 564 p.
20. Rinaldi, M., & Vonella, A.V. (2004). Water use efficiency in sugar beet, subjected to different sowing times and irrigation regimes in a Mediterranean environment. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep–1 Oct 2004, Brisbane, Australia.
21. Sharifi, H., Sadeghian, S. Y., & Hosseinpour, M. (2000). Winter beet cultivation, current and future situation of the country. Report of Sugar Beet Research Institute.
22. Stibbe, C., & Marlander, B. (2002). Field emergence dynamics significance to intraspecific competition and growth efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 17, 161-171. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00005-9)
23. Storer, K.R., Schmehl, W.R., & Hecker, R.J. (1973). Growth analysis studies of sugar beet. Technical Bull., Colorado State University Experiment Station. 118, 69 pp.
24. Taleghani, D.F., Moharamzadeh, M., Hemayati, S.S., Mohammadian, R., & Farahmand, R. (2011). Effect of sowing and harvest time on yield of autumn-sown sugar beet in Moghan region in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, 27(3), 355-371. <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110442>.



Evaluation of the Performance and Growth Indices of Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Black Cumin (*Nigella sativa* L.) in a Replacement Intercropping System

Mahna sadat Ghotb Sharif¹, Gorban Ali Asadi^{2*} and Mohammad Javad Mostafavi¹

1 and 2- PhD student and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

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

Received: 18-05-2024
Revised: 11-01-2025
Accepted: 27-01-2025
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:

Ghotb Sharif, M.S., Asadi, G. A., & Mostafavi, M.J. (2025). Evaluation of the performance and growth indices of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and black cumin (*Nigella sativa*) in a replacement intercropping system. *Journal of Agroecology*, 17(1), 15-35. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2025.86304.1185>

Introduction

Due to rapid population growth and the reduction of arable land, the most effective way to increase crop yields is by boosting production per unit area. So far, many studies have shown the positive effect of intercropping on LAI (Leaf area index), TDM (Total dry matter) (g.m^{-2}), CGR (Crop growth rate) ($\text{g.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$), RGR (Relative growth rate) ($\text{g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$), and NAR (Assimilation rate) ($\text{g.m}^{-2}.\text{Leaf}.\text{day}^{-1}$) growth indices, and so on. Therefore, this study aimed to evaluate and compare the yield and growth indices of green bean and black seed in sole culture and replacement intercropping ratios.

Materials and Methods

The experiment was conducted based on RCBD design during the growing season 2018-19. Treatments included replacement intercropping ratios including 25% green bean + 75% black seed (P1N3), 50% green bean + 50% black seed (P2N2), 75% green bean + 25% black seed (P3N1), and sole culture of green bean (P) and black seed (N). Irrigation was done once a week, and sampling was performed once every 10 days. The effect of different replacement intercropping ratios on growth indices during the growth period was investigated. The curve function was fitted using Slide Write ver 2.0 software, and Excel 2016 was used to draw figures.

Results and Discussion

The results showed that the treatments affected the growth indices of green bean and black seed. The highest LAI of bean and the black seed (3.53 and 0.5) were observed in the sole culture of these crops. The lowest LAI of green bean (1.14) and black seed (0.2) were obtained in P2N2 and P3N1 treatments. The sole cultures had the highest TDM for green bean (973.34 g.m^{-2}) and black seed (339.55 g.m^{-2}). The lowest TDM of green bean and black seed were observed in P1N3 (164.25 g.m^{-2}) and P3N1 (91.18 g.m^{-2}) treatments, respectively. The highest crop growth rate (CGR) of green bean ($10.83 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) and black seed ($25.71 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) were recorded in their respective sole cropping systems at 73 and 82 days after planting. P3N1 and P2N2 treatments had the highest



©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.2025.86304.1185>

RGR of green bean ($0.1 \text{ g.g}^{-1} \text{ d}^{-1}$) and black seed ($0.13 \text{ g.g}^{-1} \text{ d}^{-1}$), respectively. The highest NAR of green bean ($14.95 \text{ g.m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and black seed ($48.24 \text{ g.m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) were recorded at 72 days after planting in P2N2 and 63 days after the planting in sole culture of black seed, respectively. The highest yields of green bean and black seed were obtained in P3N1 and P2N2 treatments, respectively, which did not differ significantly from their sole culture. The land equivalent ratio (LER) for the P1N3 treatment was close to one, while the LER values for the P2N2 and P3N1 treatments were greater than one. This suggests that the P2N2 and P3N1 treatments utilized arable land more effectively and ecologically compared to the P1N3 treatment. The findings can be considered as a reason for improving crop yields due to improving ecological efficiency in the intercropping.

Conclusion

The results revealed that the intercropping of black seed with green bean improved the growth of this medicinal plant. In both crops, the Leaf area index, total dry matter, and crop growth rate in sole culture were higher than in other treatments due to their higher plant density; however, the relative growth rate and assimilation rate were also improved in the intercropping treatments. Thus, the intercropping of green bean and black seed would be beneficial from the perspective of ecological management. In general, the replacement of half of the black seed planting density with green bean can be considered beneficial in terms of productivity in crop production.

Keywords: Assimilation Rate, Crop growth rate, Growth physiological indices, Medicinal plant

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۳۵-۱۵

بررسی عملکرد و شاخص های رشد لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) و سیاه دانه
(*Nigella sativa* L.) در سیستم کشت مخلوط جایگزینی

مهناسادات قطب شریف^۱، قربانعلی اسدی^{۲*} و محمدجواد مصطفوی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸

چکیده

کشت مخلوط گیاه دارویی سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) با حبوبات به سبب اختلاف مورفولوژیک و تثبیت بیولوژیکی آن ها می تواند گامی در جهت پایداری در کشاورزی باشد. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی و مقایسه عملکرد محصول و شاخص های رشدی لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) و سیاه دانه در کشت های خالص و نسبت های مخلوط جایگزینی بود. بدین منظور، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل در سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارها شامل کشت مخلوط جایگزینی با نسبت: ۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاه دانه (P_1N_3)، ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاه دانه (P_2N_2)، ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاه دانه (P_3N_1)، کشت های خالص لوبیاسبز (P) و سیاه دانه (N) بود. سطح برگ نمونه ها به روش وزنی و با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (به صورت تخریبی) و ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی انجام شد. بیشترین شاخص سطح برگ از کشت خالص لوبیاسبز و سیاه دانه به ترتیب $3/53$ و $0/5$ به دست آمد و کمترین میزان آن در لوبیاسبز مربوط به تیمار کشت مخلوط P_2N_2 ($1/14$) و در سیاه دانه نیز کمترین مقدار مربوط به تیمار P_3N_1 ($0/2$) بود. همچنین تجمع ماده خشک در کشت خالص لوبیاسبز $973/34$ گرم در مترمربع و در کشت خالص سیاه دانه $339/55$ گرم در مترمربع و کمترین تجمع ماده خشک لوبیاسبز در تیمار P_1N_3 ($164/25$) گرم در مترمربع و در سیاه دانه در تیمار P_3N_1 ($91/18$) گرم در مترمربع حاصل شد. بیشترین میزان رشد لوبیاسبز و سیاه دانه در کشت خالص آن ها به ترتیب $10/83$ و $25/71$ گرم در مترمربع در روز بود که 73 و 82 روز پس از ظهور بود. بالاترین عملکرد محصول لوبیاسبز و سیاه دانه به ترتیب در تیمارهای P_3N_1 و P_2N_2 به دست آمد. مقدار نسبت برابری زمین برای تیمارهای P_3N_1 و P_2N_2 بالاتر از یک بود. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش، تیمار P_2N_2 نسبت به سایر تیمارها از نظر اقتصادی و اکولوژیک سودمندتر بود.

واژه های کلیدی: سرعت آسیمیلاسیون، سرعت رشد محصول، شاخص های فیزیولوژیک رشد، گیاه دارویی

مقدمه

جانبی نظیر فرسایش شدید خاک، آلودگی های نگران کننده زیست محیطی، هجوم آفات و علف های هرز و مقاومت آنان به سموم کشاورزی شده و همچنین کاهش تنوع گیاهان در سیستم های کشاورزی را سبب شده است (Koocheki et al., 2010b). بنابراین متخصصان ارتقاء مجدد تنوع زیستی در سیستم های زراعی با بهره گیری از کشت مخلوط را جهت رفع برخی از این مشکلات پیشنهاد می کنند (Koocheki et al., 2019).

کشت مخلوط به صورت کشت دو یا بیش از دو گیاه با هم در یک قطعه زمین تعریف می شود (Hong et al., 2019). هدف اصلی از

عدم رعایت اصول اکولوژیک در تولید محصولات زراعی و نگرش های تک بعدی با تأکید بر جنبه های اقتصادی در کشاورزی سبب تخریب منابع محیطی و کاهش کارایی منابع شده است (Koocheki et al., 2019). سیستم های کشاورزی فشرده موجب بروز برخی اثرات

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(Email: asadi@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/agry.2025.86304.1185>

کشت مخلوط، افزایش تولید در واحد مساحت زمین و افزایش کارایی منابع قابل دسترس گیاهان از طریق ارتقاء بهره‌وری اکولوژیکی منابع است (Verret et al., 2020; Lal et al., 2019). در واقع، کشت مخلوط به دلیل فراهم نمودن شرایط برای استفاده کارآمدتر از منابع و کاهش تداخل علف‌های هرز، حشرات و آفات اغلب می‌تواند بازده بیشتری نسبت به تک کشتی اجزای خود داشته باشد (Echarte et al., 2011). آنالیز رشد گیاه، ابزاری است که به‌طور گسترده در زمینه‌های مختلف از جمله اصلاح نباتات، فیزیولوژی و بوم‌شناسی کاربرد دارد. شاخص‌های رشد نشان‌دهنده استفاده گیاه و اندام‌های مختلف آن از منابع موجود می‌باشد (Bagheri et al., 2012) و در تعیین چگونگی رشد و عملکرد از اهمیت به‌سزایی برخوردارند (Baygi et al., 2017). با توجه به استفاده کارآمدتر از منابع، گزارش‌های بسیاری بیانگر برتری شاخص‌های رشد گیاهان در شرایط کشت مخلوط نسبت به تک کشتی در دسترس است. در بررسی کشت مخلوط کنجد (*Sesamum indicum*) و شاهدانه (*Cannabis sativa*) بیش‌ترین مقدار سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک شاهدانه در تیمار ۵۰:۵۰ کنجد و شاهدانه گزارش شده است (Koocheki et al., 2010a). پورامیر و همکاران (Pouramir et al., 2010) نیز در بررسی کشت مخلوط کنجد و نخود (*Cicer arietinum* L.) اعلام کردند که شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک در تک کشتی نسبت به تیمارهای کشت مخلوط در سطح پایین‌تری قرار دارند. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani et al., 2009) کشت مخلوط ماش (*Vigna radiata*) و سیاه‌دانه را مفید می‌دانند و در توضیح این امر چنین بیان کردند که با توجه به حساسیت گیاه مورد مطالعه به‌ویژه سیاه‌دانه به علف‌های هرز، کاهش تعداد گونه و زیست‌توده علف‌های هرز در این کشت مخلوط و افزایش پتانسیل استفاده از نهاده‌های داخلی به‌دلیل اشغال کمتر نیچ‌های اکولوژیک مشترک علف‌های هرز و گونه‌های مخلوط می‌تواند شرایط رشدی را به‌نفع گونه‌های مخلوط تغییر دهد. افزایش تجمع ماده خشک، سرعت رشد و شاخص سطح برگ سویا در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی در کشت مخلوط سویا (*Glycine max*)، ریحان رویشی و گاوزبان اروپایی دلیلی بر سودمندی کشت مخلوط است (Bagheri et al., 2012). البته در کنار برتری شاخص‌های رشدی در کشت مخلوط، به‌دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای بین اجزای آن گزارش‌های گوناگونی نیز از کاهش این

شاخص‌ها نسبت به تک کشتی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به کاهش تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در مخلوط زیره سبز و موسیر نسبت به تک کشتی آن‌ها اشاره نمود (Meshkani et al., 2019). همچنین کاهش تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ در مخلوط سیاه‌دانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی نسبت به تک کشتی آن‌ها گزارش شده است (Naghipoor Dehkordi et al., 2016). کاهش تجمع ماده خشک در مخلوط نخود فرنگی (*Pisum sativum*) و برخی از غلات نسبت به تک کشتی آن‌ها بیان شده است (Lithourgidis et al., 2011). در واقع، کشت مخلوط زمانی موفقیت‌آمیز است که مجموع رقابت بین‌گونه‌ای برای کسب منابع از مجموع رقابت درون‌گونه‌ای کمتر باشد (Khorramdel et al., 2016). گیاهان در سیستم مخلوط را می‌توان طوری انتخاب کرد که یک گونه مستقیماً از تغییرات محیطی، که توسط گونه‌های دیگر در کشت مخلوط به وجود می‌آید، سود ببرد (Abdollahpour et al., 2020). بنابراین، اگر اجزای تشکیل‌دهنده کشت مخلوط در نحوه استفاده از منابع محیطی متفاوت عمل کنند، از این منابع به‌طور مؤثرتری استفاده خواهد شد و در نتیجه، عملکرد افزایش می‌یابد (Khorramdel et al., 2016). بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در مورد سامانه‌های کشت مخلوط، تأییدی بر این ادعا است. فنگ و همکاران (Feng et al., 2020) در بررسی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays*) و سویا بیان داشتند که بهره‌گیری از کشت مخلوط موجب بهبود عملکرد هر دو گیاه نسبت به کشت خالص آن‌ها شد. در آزمایشی دیگر به‌منظور ارزیابی کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی زنیان (*Carum copticum* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بر عملکرد و اجزای آن مشخص شد که به‌دلیل کاهش رقابت بین‌گونه‌ای به درون‌گونه‌ای از طریق استفاده از عوامل بهینه محیطی کشت مخلوط موجب بهبود عملکرد هر دو گونه شد (Khorramdel et al., 2016). در بررسی عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه در کشت مخلوط با نخود و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نشان دادند که کشت سیاه‌دانه به‌صورت مخلوط با دو گیاه نخود و لوبیا سبب افزایش عملکرد این گیاه می‌شود (Koocheki et al., 2014b). در آزمایشی دیگر، ارزیابی‌های رشد و عملکرد لوبیا در کشت مخلوط ردیفی با برخی از گونه‌های دارویی (رازیانه (*Foeniculum vulgare*), سیاه‌دانه، ریحان (*Ocimum basilicum*), گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) و شوید

درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاهدانه (P_2N_2)، ۳) ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاهدانه (P_3N_1)، ۴) کشت خالص لوبیاسبز (P) و ۵) کشت خالص سیاهدانه (N) بود.

زمین مورد استفاده، در سال قبل از اجرای این آزمایش تحت کاشت ذرت بود. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک پیش از انجام آزمایش نمونه‌برداری به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام گردید که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ ذکر شده است. پیش از اجرای آزمایش به منظور کم کردن فشار علف‌های هرز در مزرعه، بستر کاذب با استفاده از دیسک و آبیاری زمین در فروردین ۹۸ انجام شده بود و نابودسازی علف‌های هرز رشدیافته نیز با زدن مجدد دیسک انجام شد. آماده‌سازی زمین در ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ با انجام شخم برگردان دار و دو دیسک عمودبرهم انجام شده و پس از آن، تسطیح زمین با استفاده از لولر انجام شد. با استفاده از فاروئر نیز جوی و پشته‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شد و سپس کرت‌بندی انجام شد. مساحت هر کرت آزمایشی هشت مترمربع و فاصله کرت‌های مجاور از یکدیگر یک متر تعیین شد. در هر کرت، هشت ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. همچنین، فاصله بین کرت‌ها نیز با کاشت گیاهان کرت‌های مجاور پر شد تا تمامی ردیف‌های کاشت جهت نمونه‌برداری‌های بعدی قابل استفاده باشند. بذر لوبیاسبز رقم سانری و بذر خالص سیاهدانه توده محلی تهیه شد. تراکم کاشت برای تیمار کشت خالص گیاه لوبیاسبز (P) ۲۵ بوته در مترمربع (Koocheki et al., 2014a) و سیاهدانه (N) ۸۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. تیمارهای مخلوط نیز با رعایت تراکم نسبت به کشت خالص کاشته شدند. در سیستم کشت مخلوط جایگزینی، بخشی از تراکم گیاه اصلی با تراکم گیاه دوم جایگزین می‌شود. این روش برای ایجاد تعادل بین دو گونه مختلف و بررسی تعاملات رقابتی یا تسهیلی آن‌ها استفاده شد. تراکم پایه برای هر گونه در حالت کشت خالص تعیین شد. نسبت‌های مختلف جایگزینی برای ترکیب دو گونه تعریف شدند. کرت‌ها با مساحت مشخص (هشت مترمربع) طراحی شدند. گیاهان به صورت منظم و در فواصل مشخص از یکدیگر کاشته شدند تا تراکم نهایی هر تیمار حفظ شود.

آبیاری مزرعه به صورت سطحی (جوی و پشته) انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و دومین آبیاری به منظور اطمینان از جوانه‌زنی و استقرار مناسب گیاهچه‌ها سه روز بعد از کاشت انجام شد.

Anethum graveolens) نشان داد که تیمارهای کشت مخلوط تأثیر معنی‌داری روی رشد و عملکرد روی هر پنج گونه دارویی داشت (Valizadeh, 2017).

یکی از مرسوم‌ترین انواع کشت مخلوط، کشت گیاهان سایر تیره‌ها با گیاهان تیره بقولات می‌باشد (Verret et al., 2020). کاشت گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نیز در تولید گیاهان دارویی امری ضروری به نظر می‌رسد (Abdollahpour et al., 2020) و لازمه تولید این گیاهان، حذف نهاده‌های شیمیایی در مزرعه است (Khorramdel et al., 2016)؛ زیرا گیاهان دارویی معمولاً گیاهان مرتعی هستند و بسیاری از آن‌ها کمتر مورد توجه اصلاح‌گران گیاهی قرار گرفته‌اند، بنابراین عملکرد این گیاهان در مزرعه در پاسخ به نهاده‌های معمول کشاورزی کمتر افزایش می‌یابد (Naghipoor, 2015). همچنین کشت مخلوط بقولات با گیاهان دارویی به دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک دارد (Alizadeh et al., 2013) و در جهت افزایش کمیت و کیفیت گیاهان دارویی حائز اهمیت است (Mohammadi & Rezaei-Chiyaneh, 2019).

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاه دارویی یک‌ساله با دوره رشد کوتاه است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران می‌روید (Rezvani Moghaddam & Seyyedi, 2015) که علی‌رغم نقش قابل توجه این گیاه در درمان بیماری‌ها و صنایع غذایی و دارویی، تحقیقات به‌زراعی کافی برای این گیاه انجام نپذیرفته است (Amirmoradi & Rezvani Moghaddam, 2011).

بنابراین با توجه به اهمیت حبوبات در بوم‌نظام‌های فشرده کشت مخلوط و نیاز به تکمیل و بسط دانسته‌ها در خصوص نحوه و میزان تأثیر کشت مخلوط این گیاهان با گیاهان دارویی، هدف از انجام این آزمایش، ارزیابی میزان تغییرات شاخص‌های رشدی گیاهان لوبیاسبز و سیاهدانه در کشت مخلوط جایگزینی در شرایط آب‌وهوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد انجام شد. آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی لوبیاسبز و سیاهدانه شامل: ۱) ۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاهدانه (P_1N_3)، ۲) ۵۰

و پس از آن، آبیاری مزرعه آزمایشی با توجه به نیاز آبی گیاه و معمولاً با دوره‌های هفت روزه انجام شد. وجین دستی علف‌های هرز به صورت مستمر و تا بسته شدن تاج پوشش ادامه یافت. به منظور بررسی آزمایش در شرایط کم‌نهاد، در زمان آماده سازی زمین و در

طول فصل رشد گیاهان از هیچ گونه نهاده شیمیایی همچون سم و کود استفاده نشد و در طول فصل رشد نیز گیاهان با بیماری یا آفتی روبه رو نشدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی
Table 1- Some physicochemical properties of the soil of experimental field

بافت Texture	اسیدیته pH	شوری Salinity (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (%)	پتاسیم قابل جذب Available K (%)
Clay loam لوم رسی	7.52	1.86	2.66	0.523	2.34

برای محاسبه تجمع ماده خشک (TDM) استفاده شد. میانگین داده‌های هر تیمار از سه بلوک محاسبه شد. برای تحلیل شاخص‌های رشد گیاهی، از روش کلاسیک (Valizadeh, 2017) و همچنین مدل‌های تابعی استفاده شد. در روش تابعی، توابع مناسب به داده‌ها برازش داده شدند تا مقادیر روزانه هر شاخص برای تمام روزهای بین اولین تا آخرین نمونه برداری محاسبه شود (Ghotbe Sharif et al., 2021).

شاخص‌های رشد مورد مطالعه شامل: سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)، سرعت رشد نسبی (RGR) بودند. این شاخص‌ها برای هر دو گیاه (سیاه‌دانه و لوبیاسبز) محاسبه شدند و در ادامه، جزئیات این توابع معرفی و توضیح داده می‌شوند.

تغییرات روزانه شاخص سطح برگ هر تیمار با برازش تابع لجستیکی (چهار پارامتری) به داده‌های اندازه‌گیری شده برآورده شد (Yusuf et al., 1999):

$$LAI = \frac{a + b \cdot 4(\exp(-(t - c)/d))}{(1 + \exp(-(t - c)/d))^2} \quad (1)$$

که در آن، LAI: شاخص سطح برگ، a و d: ضریب معادله، b: بیشینه شاخص سطح برگ و c: زمان عطف رشد نمایی منحنی و t: تعداد روز پس از سبز شدن می‌باشد. مقدار روزانه تجمع ماده خشک نیز با برازش معادله ۲ بر داده‌های مربوطه محاسبه گردید (Yusuf et al., 1999).

$$TDM = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-ct)} \quad (2)$$

با توجه به هدف آزمایش، نمونه برداری در طول فصل رشد برای ثبت روند شاخص‌های رشدی از هر دو گیاه مورد بررسی، ۵۶ روز پس از کاشت^۱ آغاز شده و با فاصله زمانی هر ۱۰ روز یک بار انجام شد. در این آزمایش، با توجه به طول دوره رشد متفاوت دو گونه مخلوط، پنج نوبت نمونه برداری برای گیاه سیاه‌دانه (تا ۹۶ روز پس از کاشت) و شش نوبت نمونه برداری برای گیاه لوبیاسبز (پنج نمونه برداری تا ۹۶ روز پس از کاشت و نمونه‌گیری ششم و پایانی ۱۳۳ روز پس از کاشت) انجام پذیرفت.

نمونه‌ها شامل اندام هوایی گیاهان بودند. گیاهان به صورت تصادفی از خطوطی انتخاب شدند که هر دو گونه (سیاه‌دانه و لوبیاسبز) به طور مساوی رشد یافته بودند. سطح برگ هر گونه به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد و سپس با توجه به نسبت ترکیب کشت محاسبه و به واحد مترمربع تعمیم داده شد. برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، سه گیاه از هر کرت با داس از سطح خاک بریده شدند، سپس درون پاکت‌های کاغذی جداگانه‌ای دارای برچسب مشخص قرار گرفتند و برای تحلیل‌های بیشتر به آزمایشگاه منتقل شدند. سطح برگ نمونه‌ها با روش وزنی و استفاده از دستگاه Leaf Area Meter (Licor LI-3100) و ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. داده‌های سطح برگ با توجه به تراکم هر محصول برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) استفاده شدند. پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس وزن کنشی شدند. داده‌های به دست آمده

۱- «روز پس از کاشت» به عنوان یک شاخص زمانی معادل مراحل رشد و نمو گیاه در شرایط آزمایش در نظر گرفته شده است.

$$LER = \left(\frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \right) = LER_a + LER_b \quad (۸)$$

که در آن، Y_{ab} : عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Y_{aa} : عملکرد گونه a در کشت خاص، Y_{ba} : عملکرد گونه b در کشت مخلوط و Y_{bb} : عملکرد گونه b در کشت خالص است.

در تیمارهای کشت خالص، هر گونه (سیاه‌دانه و لوبیاسبز) به‌صورت جداگانه در کرت‌هایی با اندازه مشخص کشت شد. عملکرد هر گونه در زمان برداشت نهایی از تمام پلات‌های کشت خالص اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد. عملکرد هر گونه در کشت مخلوط به‌صورت جداگانه ثبت شد (عملکرد سیاه‌دانه و لوبیاسبز به‌طور مجزا اندازه‌گیری شد). برای این منظور، از برداشت تفکیکی گیاهان دو گونه در هر کرت استفاده شد.

برازش توابع (معادله‌ها) و رسم شکل‌ها به‌ترتیب با استفاده از نرم افزارهای Slide Write ver 2.0 و MS Excel 2016 انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9.2 و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

استفاده از شاخص‌های رشدی یکی از روش‌های ارزیابی بهره‌وری سیستم‌های کشت مخلوط است (Ranjbar, 2012). تجزیه و تحلیل رشد، تکنیکی است که به‌وسیله آن می‌توان آنچه را که در طول دوره رشد برای گیاه رخ می‌دهد، شناسایی کرد. تنها اندازه‌گیری دو عامل سطح برگ و وزن خشک در فواصل مکرر، لازمه تجزیه و تحلیل رشد است (Yusuf et al., 1999).

الف) شاخص سطح برگ (LAI): حاصل برازش تابع ۱ به داده‌های آزمایشی در جدول ۲ آمده است.

بیشترین مقدار ضریب b که نشان‌دهنده حداکثر مقدار شاخص برگ بوده برای هر دو گیاه، در کشت خالص بیشینه مقدار خود را داشت (برای لوبیاسبز ۲/۶۲ و برای سیاه‌دانه ۰/۳۹؛ جدول ۲). حداقل مقدار این ضریب نیز برخلاف انتظار، برای لوبیاسبز نه در تیمار دارای کمترین تراکم این گیاه (۲۵ درصد لوبیا: ۷۵ درصد سیاه‌دانه) بلکه در تیمار ۵۰ درصد لوبیاسبز: ۵۰ درصد سیاه‌دانه با مقدار ۰/۷ بود که برخلاف تراکم ۵۰ درصدی نسبت به تیمار کشت خالص، در حدود ۲۶ درصد تیمار کشت خالص بود. در خصوص سیاه‌دانه نیز ضرایب ۰/۳۹، ۰/۲۱، ۰/۱۹ و ۰/۱۸ به تیمارهای کشت خالص و تیمارهای تراکم ۵۰، ۲۵ و ۲۵ درصد سیاه‌دانه تعلق داشت (جدول ۲).

که در آن، TDM: ماده خشک تجمع‌یافته در هر روز، a: بیشینه ماده خشک تولیدشده، c: میانگین سرعت رشد نسبی، b: ضریب معادله و t: تعداد روز پس از سبز شدن گیاه می‌باشد. مشتق اول معادله ۲ سرعت رشد محصول (CGR) را برحسب $(g.m^{-2}.d^{-1})$ به دست می‌دهد (معادله ۳) بنابراین ضرایب معادله برای هر دو معادله یکسان خواهد بود (Yusuf et al., 1999):

$$CGR = \frac{d \text{ TDM}}{dt} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{(1 + b \cdot \exp(-ct))^2} \quad (۳)$$

و سرعت رشد نسبی (RGR) نیز از مشتق دوم معادله ۲ برحسب (گرم بر گرم در روز) به دست می‌آید (معادله ۴) و ضرایب آن برابر با ضرایب معادله ۲ است (Yusuf et al., 1999):

$$RGR = \frac{d_2 \text{ TDM}}{dt} = \frac{b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{1 + b \cdot \exp(-ct)} \quad (۴)$$

با معلوم بودن مقادیر CGR و LAI، سرعت فتوسنتز خالص (NAR، گرم بر مترمربع برگ در روز) نیز از معادله ۵ محاسبه خواهد شد (Yusuf et al., 1999).

$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \quad (۵)$$

محاسبه CGR و RGR در هر نوبت از نمونه‌برداری براساس معادله ۶ و NAR از معادله ۷ برای اطمینان از صحت شاخص‌های رشد به‌دست‌آمده از روش تابعی به دست آمد (Heidari & Mohammadi, 2015):

$$CGR = RGR * DM \quad (۶)$$

$$CGR = LAI * NAR \quad (۷)$$

پس از زرد شدن بوته‌ها در پایان فصل رشد (سیاه‌دانه ۲۷ مرداد ماه، لوبیاسبز طی سه چین ۶ و ۲۴ شهریور ماه و ۱۵ مهرماه)، اندازه‌گیری عملکرد نهایی با حذف اثرات حاشیه‌ای در تاریخ‌های ذکرشده از نیمی از کرت‌ها به ابعاد $۱/۵ \times ۲$ مترمربع که در طول دوره رشد دست‌نخورده باقی ماندند، انجام شد. غلاف‌های تازه (تر) عملکرد اقتصادی لوبیاسبز است. عملکرد اقتصادی این محصول براساس وزن غلاف‌های تر محاسبه شد.

برای ارزیابی کارایی و سودمندی کشت مخلوط از معیار نسبت برابری زمین (LER; Land Equivalent Ratio) استفاده شد (Allahdadi et al., 2013).

نسبت برابری زمین (LER) از معادله ۸ به دست آمد:

جدول ۲- ضرایب تابع و تابع منحنی برازش یافته به داده‌های شاخص سطح برگ (LAI) تیمارهای مختلف برای لوبیاسبز (P) و سیاه‌دانه (N)
Table 2- Equation and the coefficients of curve fitted to the LAI data of different treatments of green bean (P) and black seed (N)

$LAI = \frac{a + b \cdot 4(\exp(-(t - c)/d))}{(1 + \exp(-(t - c)/d))^2}$					
گیاه Plant	تیمار Treatment	a	b	c	d
لوبیاسبز Green bean (P):	P ₁ N ₃	0.274638	0.892895	89.449287	5.316526
	P ₂ N ₂	0.438944	0.706645	89.082449	4.152332
	P ₃ N ₁	0.852799	2.014248	89.557143	4.831859
	Sole P	0.905574	2.62755	90.268788	8.141548
سیاه‌دانه Black seed (N):	P ₁ N ₃	0.048418	0.216574	79.180437	-5.682078
	P ₂ N ₂	0.045719	0.196518	77.587779	-5.817879
	P ₃ N ₁	0.017364	0.184912	78.167294	-6.656804
	Sole P	0.105975	0.395002	78.374384	-4.531308

بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طی فصل رشد است که در ادامه انجام می‌شود.

در این آزمایش، شاخص سطح برگ هر دو گیاه لوبیاسبز و سیاه‌دانه تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی قرار گرفتند، سطح برگ در اوایل دوره رشد به‌طور نمایی افزایش یافته و پس از مدتی کاهش پیدا کرد، تا اینکه سرعت افزایش این شاخص پس از گل‌دهی هر دو گیاه به صفر رسید و در نتیجه، شاخص سطح برگ گیاهان ثابت شد و پس از مدت کوتاهی از گل‌دهی، روندی کاهشی تا پایان دوره رشد گیاه مشاهده شد (شکل ۱). یافته‌های تحقیقات متعددی نشان داده‌اند که همبستگی بالایی بین شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه زراعی وجود دارد (Naghipoor Dehkordi et al., 2016; Ghotbe Sharif et al., 2021).

نشان‌دهنده میزان سطح برگ‌های گیاه در واحد سطح زمین است و به‌طور مستقیم با توانایی گیاه در دریافت نور خورشید و انجام فرآیند فتوسنتز ارتباط دارد. هرچه شاخص سطح برگ بیشتر باشد، سطح بیشتری از نور جذب می‌شود و فتوسنتز بهینه‌تری رخ می‌دهد، که این امر منجر به تولید بیشتر ماده خشک (TDM) و در نهایت، افزایش عملکرد محصول می‌شود. بنابر این گیاهانی که شاخص سطح برگ بالاتری دارند، به‌دلیل جذب نور بیشتر و فتوسنتز مؤثرتر، معمولاً عملکرد بیشتری از نظر تولید زیست‌توده و محصول نهایی نشان می‌دهند. این رابطه به‌ویژه در شرایطی که سایر منابع (مانند آب و

به‌طور کلی، کشت خالص شرایط بهینه‌تری برای رشد سطح برگ و تجمع منابع گیاهان فراهم می‌کند، درحالی‌که کشت مخلوط به‌دلیل رقابت منابع، کاهش عملکرد برگ را به همراه دارد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که شاخص سطح برگ (LAI) در کشت خالص بیشینه مقدار خود را دارد. برای مثال، در تحقیقی روی سیستم‌های کشت گندم و لوبیا، مشخص شد که شاخص سطح برگ در کشت خالص گندم به‌دلیل نبود رقابت بر سر نور و مواد غذایی بالاتر بود (Tavoletti & Merletti, 2022). در کشت مخلوط، رقابت بین گیاهان برای جذب منابع محیطی باعث کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. مطالعه‌ای روی گندم و لوبیا نشان داد که در کشت مخلوط، شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد، زیرا منابع محیطی به‌طور غیرمتوازن بین گونه‌ها توزیع می‌شود (Eskandari & Ghanbari, 2010).

همچنین، با بررسی ضریب c (جدول ۲) به نظر می‌رسد که زمان عطف رشد نمایی منحنی سطح برگ لوبیاسبز و سیاه‌دانه به‌طور میانگین به‌ترتیب پس از ۸۹/۶ و ۷۸/۳ روز پس از کاشت بوده است. تفاوت هر دو گیاه در تیمارهای مختلف در زمان رسیدن به بیشینه سطح برگ، کمتر از یک روز بود که با توجه به اختلاف ناچیز سطح برگ اضافه‌شده به هر گیاه در هر تیمار در طی این حدود کمتر از یک روز می‌توان آن را اختلافی اندک به حساب آورده و از آن اغماض کرد. باید توجه داشت که مطالعه دقیق اختلاف موجود در تیمارها نیازمند

وجود شاخص سطح برگ کمتر، به لوبیاسبز غالبیت پیدا کرده است (شکل ۲B) بنابر این جنبه رقابت این دو گیاه را می‌توان منبعی به غیر از نور (مثل آب یا فضای مورد نیاز برای توسعه اندام‌های هوایی) (Valizadeh, 2017) در نظر گرفت.

شاخص سطح برگ لوبیاسبز بین ۸۸ تا ۹۲ روز پس از کاشت و سیاه‌دانه بین ۷۸ تا ۸۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید، بنابر این لوبیاسبز در زمانی به بیشترین میزان پوشش تاج‌پوشش خود رسیده است که تاج‌پوشش سیاه‌دانه رو به کاهش بوده است (شکل ۱). بر این اساس، با توجه به تأثیر بیشتر رشد و توسعه سیاه‌دانه نسبت به لوبیاسبز در تیمارهای با نسبت کاشت (و تراکم) مساوی و بیشتر سیاه‌دانه نسبت به لوبیاسبز، عدم هم‌زمانی اوج توسعه تاج‌پوشش دو گیاه می‌توانست فشار رقابتی بر لوبیاسبز را کاهش دهد. به‌طور کلی، پس از عبور از میزان تراکم مشخص، شاخص سطح برگ تک گیاه کاهش می‌یابد و این کاهش در گیاهان مغلوب در رقابت به‌طور محسوس قابل مشاهده است، اما در مجموع، سطح برگ گیاهان در واحد سطح افزایش می‌یابد (Naghipoor Dehkordi et al., 2016). باقری و همکاران (Bagheri et al., 2012) کشت مخلوط سویا و ریحان با نسبت سه به یک را برای تولید سویا توصیه کردند. این محققان بیان کردند که به‌دلیل افزایش شاخص سطح برگ و همچنین سایر شاخص‌های رشدی سویا در کشت مخلوط با ریحان، این الگوی کشت برای تولید محصول سویا موفق‌تر از کشت خالص محصول است. در پژوهشی دیگر نیز یافته مشابهی در خصوص گیاه کنجد در کشت مخلوط این گیاه با نخود به دست آمد (Pouramir et al., 2010).

ب) تجمع ماده خشک (TDM): تابع و ضرایب به‌دست‌آمده حاصل از برازش معادله ۲ در جدول ۳ آمده است.

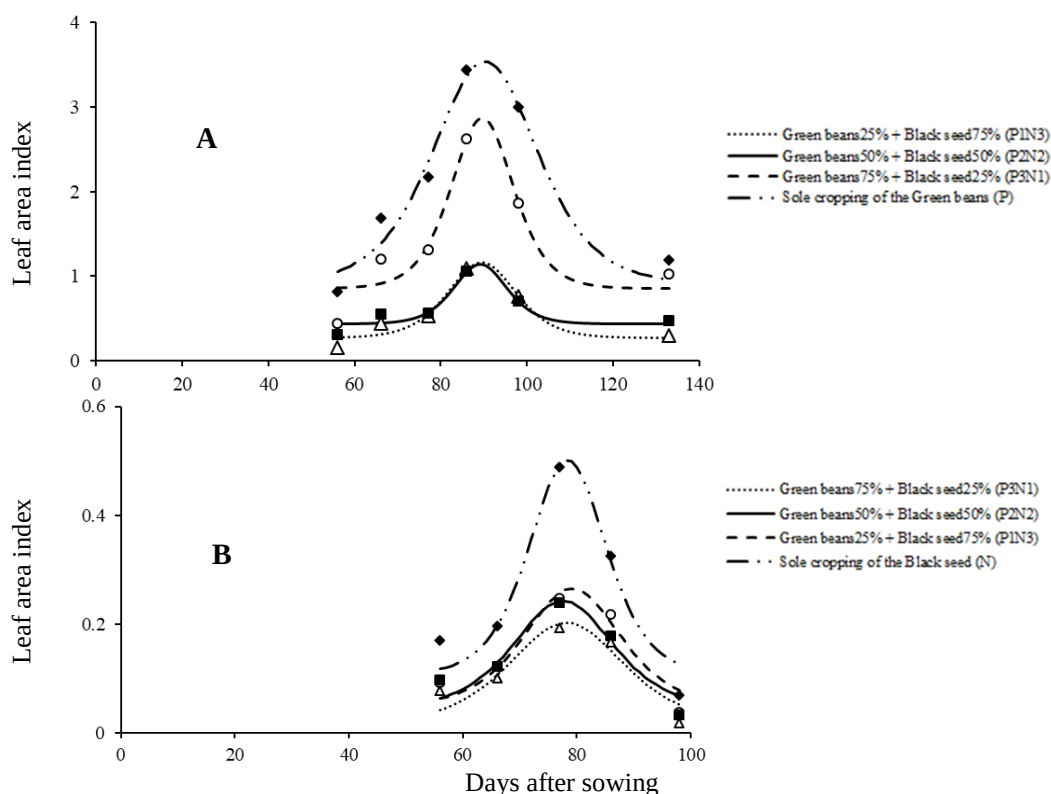
روند تجمع ماده خشک و بیشینه آن (ضریب a) برای تیمارهای مختلف در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از برازش معادله ۲ به داده‌ها، میانگین سرعت رشد نسبی، میانگین سرعت رشد نسبی (ضریب c) در کل دوره رشد گیاهان، برای لوبیا به‌طور میانگین ۰/۱ گرم بر گرم در روز بود. این مقدار برای سیاه‌دانه ۰/۱۲ گرم بر گرم در روز بود (جدول ۳) که ۲۱ درصد بیشتر از گیاه لوبیاسبز بود. RGR بالا در اغلب مواقع می‌تواند مزیت خوبی برای رشد گیاه باشد (Hallberg, 2019)، اگرچه در این آزمایش، سیاه‌دانه سطح برگ کمتر و وزن خشک کمتری نسبت به

مواد مغذی) به اندازه کافی در دسترس باشند، برجسته‌تر است. در این آزمایش، میزان سطح برگ لوبیاسبز در تیمارهای مختلف با تراکم این گیاه در آن تیمارها برابر نبود. بر این اساس، در گیاه لوبیاسبز بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۵۳) در تیمار P و کمترین آن (۱/۱۴) در تیمار P_2N_2 و P_1N_3 (۱/۱۶) ثبت شد (شکل ۱A). سطح برگ معیاری برای ارزیابی میزان توانایی گیاه در فتوسنتز و رشد است. در این پژوهش مشاهده می‌شود که شاخص سطح برگ (مقدار برگ در واحد سطح) در دو تیمار (P_2N_2 و P_1N_3) تفاوت معنی‌داری نداشته است. این تیمارها شامل ترکیب‌های مختلف تراکم سیاه‌دانه و لوبیاسبز بوده‌اند. با اینکه تعداد گیاهان در این تیمارها متفاوت بوده (نسبت ۲:۱ و ۱:۱ بین این دو گونه)، اما شاخص سطح برگ یکسان باقی مانده است. این نتیجه نشان می‌دهد که تراکم گیاهان لزوماً به‌صورت خطی بر شاخص سطح برگ اثر نمی‌گذارد. سیاه‌دانه در مقایسه با لوبیاسبز توانسته است که در شرایط رقابتی (به‌ویژه زمانی که تراکم‌ها برابر بوده‌اند یا سیاه‌دانه بیشتر بوده است) غالب شود. این یعنی سیاه‌دانه بهتر از لوبیاسبز از منابع مثل نور، آب یا مواد غذایی استفاده کرده است و در نتیجه، اثر رقابتی بیشتری داشته است. به‌طور کلی، این نتیجه نشان می‌دهد که در کشت مخلوط، سیاه‌دانه نسبت به لوبیاسبز برتری رقابتی دارد و می‌تواند به‌طور بالقوه رشد لوبیاسبز را محدود کند، حتی اگر تراکم هر دو گیاه برابر باشد. از طرفی نسبت یک به چهار تراکم‌های کاشت در تیمارهای P_1N_3 و P (تراکم ۰/۲۵ برابر) منجر به تشکیل شاخص سطح برگ بیش‌تر با نسبت بیش‌تر (شاخص سطح برگ ۰/۴ برابر) شده است. از این نتیجه می‌توان این‌گونه دریافت که کشت مخلوط بهبود توسعه سطح برگ لوبیاسبز را در این تیمار به‌دنبال داشته است، اما صرفاً با در نظر گرفتن این اطلاعات محدود نمی‌توان در خصوص جنبه‌های دیگر رشد با عملکرد این گیاه اظهار نظر نمود و البته شواهد تقویت این احتمال در ادامه مورد توجه قرار خواهد گرفت.

بیشترین شاخص سطح برگ سیاه‌دانه در بین تیمارهای مختلف کاشت سیاه‌دانه نیز در تیمار N (۰/۵) و کمترین آن (۰/۲) در تیمار P_3N_1 مشاهده شد. همچنین شاخص سطح برگ تیمارهای P_2N_2 و P_1N_3 روندی همسان با یکدیگر و اعداد نزدیک (اعداد در قله به‌ترتیب برابر با ۰/۲۴ و ۰/۲۶) به هم را داشتند که نشان می‌دهد، شاخص سطح برگ این گیاه در تیمارهایی که لوبیاسبز حداقل مقدار شاخص سطح برگ را داشته، افزایش پیدا کرده است و از این‌رو سیاه‌دانه با

مقایسه با لوبیاسبز است. تشریح روند سرعت رشد نسبی در ادامه و زیربخش مربوطه انجام خواهد شد.

لوبیاسبز داشته است، اما به دلیل میانگین RGR بالاتر گونه رقابتی قوی تری (Hallberg, 2019) در کشت مخلوط با لوبیاسبز بوده است و تأییدکننده یافته پیشین در خصوص قدرت رقابت بهتر سیاه دانه در



شکل ۱- تأثیر نسبت های مختلف جایگزینی در کشت مخلوط بر روند شاخص سطح برگ (LAI) لوبیاسبز (A) و سیاه دانه (B) در تیمارهای مختلف

Fig. 1- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of leaf area index (LAI) in green bean (A) and black seed (B) in different treatments

۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاه دانه (P₁N₃)، ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاه دانه (P₂N₂)، ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاه دانه (P₃N₁)، کشت های خالص لوبیاسبز (P) و سیاه دانه (N)

25% green bean + 75% black seed (P₁N₃), 50% green bean + 50% black seed (P₂N₂), 75% green bean + 25% black seed (P₃N₁), and sole culture of green bean (P) and black seed (N)

جدول ۳- ضرایب تابع و تابع منحنی برازش یافته به داده های تجمع ماده خشک (TDM) تیمارهای مختلف برای لوبیاسبز (P) و سیاه دانه (N)

Table 3- Equation and the coefficients of curve fitted to the TDM data of different treatments of green bean (P) and black seed (N) plants

$$TDM = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-ct)}$$

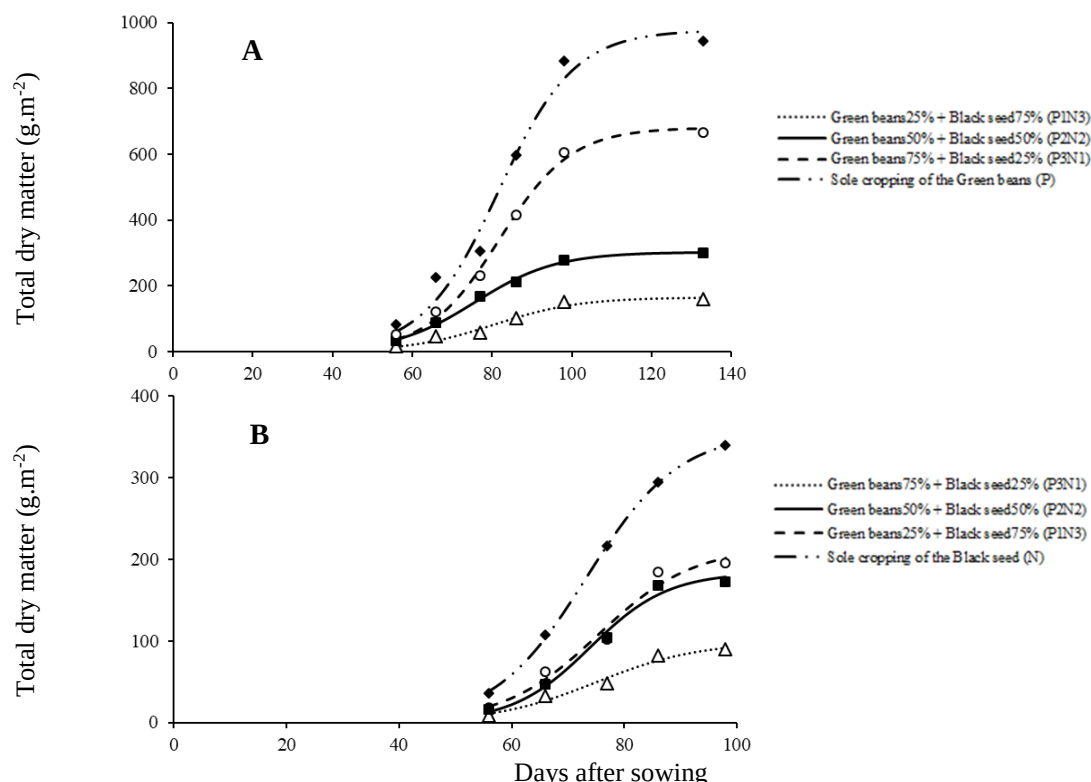
گیاه Plant	تیمار Treatment	a	b	c
لوبیا سبز Green bean (P):	P ₁ N ₃	165.43421	1933.3992	0.093998
	P ₂ N ₂	302.65612	1775.1712	0.098827
	P ₃ N ₁	679.81241	8483.3083	0.110693
	Sole P	977.68998	5356.6022	0.105244
سیاه دانه Black seed (N):	P ₁ N ₃	215.54811	8192.4641	0.119551
	P ₂ N ₂	183.4919	45330.175	0.145048
	P ₃ N ₁	98.441969	3838.8096	0.110039
	Sole P	356.2841	7452.4497	0.121704

تمامی گونه‌ها به دلیل تراکم بیش‌تر در مقایسه با تیمارهای کشت مخلوط بیشتر بود (Ranjbar, 2012). در پژوهشی دیگر روی کشت مخلوط لوبیا و زنیان، بیشترین وزن خشک در تیمار لوبیا خالص گزارش گردید (Khorramdel et al., 2016). در کشت مخلوط دو گیاه دارویی زیره سبز و موسیر بر روند شاخص‌های رشدی نشان داده شد که تجمع ماده خشک در کشت خالص نسبت به نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر بوده است (Meshkani et al., 2019).

ج) **سرعت رشد محصول** ¹(CGR): سرعت رشد محصول را می‌توان بامعناترین واژه تجزیه و تحلیل دانست که بیانگر میزان تجمع ماده خشک در گیاهان در واحد زمانی مشخص در واحد سطح زمین است. نتایج بیانگر روند سهمی نمودار سرعت رشد محصول در طول دوره رشد در تمام تیمارها بود، به‌طوری که ابتدا افزایشی است و تقریباً در موقع حداکثر شاخص سطح برگ یعنی در اوایل گل‌دهی به اوج می‌رسد و سپس نزولی می‌شود (شکل ۳). در واقع، بیش‌تر بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش بیش‌تر سرعت رشد محصول می‌شود و تابش دریافتی به‌سمت نقطه جبران نوری میل می‌کند (شکل ۳) (Mostafavi et al., 2018). بیشترین میزان این شاخص برای لوبیاسبز در تیمار P (۲۵/۷۱) گرم در مترمربع در روز) و پایین‌ترین آن در تیمار P₁N₃ (۳/۸۸) گرم در مترمربع در روز) مشاهده شد (شکل ۳A). در کشت خالص سیاه‌دانه، حداکثر میزان سرعت رشد محصول (۱۰/۸۳) گرم در مترمربع در روز) پس از ۷۳ روز از کاشت به دست آمد و حداقل میزان این شاخص (۲/۷۰) گرم در مترمربع در روز) نیز ۷۵ روز پس از کاشت در تیمار P₃N₁ ثبت شد. کاربرد کشت مخلوط جایگزینی، سرعت رشد سیاه‌دانه را در طول دوره رشد بهبود بخشید که رشد محصول در دو تیمار P₁N₃ و P₂N₂ تقریباً برابر بود (شکل ۳B). مقدار بالاتر شاخص رشد در تیمار P برای لوبیاسبز نشان‌دهنده بهینه بودن شرایط برای این گیاه است، اما در کشت مخلوط، بهبود یکنواختی سرعت رشد سیاه‌دانه نشان می‌دهد که این نوع کشت می‌تواند پایداری بیش‌تری در تولید ایجاد کند، حتی اگر حداکثر رشد کمتر باشد.

در اوایل دوره رشد، سرعت تجمع ماده خشک کم بود، اما همراه با رشد پوشش تاج‌پوشش گیاهان، شیب منحنی میزان تجمع ماده خشک در هر دو گیاه بیش‌تر شده و سپس ثابت شد (شکل ۲). پیری و زرد شدن برگ‌ها و سایه‌اندازی آن‌ها روی یکدیگر، انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای به اندام‌های زایشی و ریزش برگ‌ها، افزایش بافت‌های غیرساختمانی و کاهش نسبت تنفس رشد به تنفس نگهداری را می‌توان از دلایل کاهش شیب تجمع ماده خشک در گیاه مورد مطالعه دانست (Mostafavi, 2014).

با توجه به روند تغییرات میزان ماده خشک لوبیاسبز در تیمارهای مختلف کشت مخلوط ردیفی با سیاه‌دانه، لوبیاسبز ۱۳۳ روز پس از کاشت، در تیمار P با ۹۷۳/۳۴ گرم در مترمربع بیشترین میزان تجمع ماده خشک و در تیمار P₁N₃ با ۱۶۴/۲۵ گرم در مترمربع کمترین مقدار این شاخص را دارا بود (شکل ۲A). بیشترین میزان تجمع ماده خشک پس از ۹۸ روز پس از کاشت برای سیاه‌دانه نیز در تیمار N با ۳۳۹/۵۵ گرم در مترمربع مشاهده شد. در این زمان، کم‌ترین میزان تجمع ماده خشک مربوط به تیمار P₁N₃ با ۹۱/۱۸ گرم در مترمربع بود. در دو تیمار P₁N₃ و P₂N₂ با وجود اختلاف در تراکم، تفاوت کمتری از نظر سطح برگ داشتند که می‌تواند به دلیل تحریک بیشتر ایجاد شاخه‌های جانبی گیاه در تیمارهای با تراکم پایین‌تر باشد (شکل ۲B). هم‌چنین با توجه به شکل ۲ همان‌گونه که انتظار می‌رفت، حداکثر تجمع ماده خشک در طول دوره رشد مربوط به تیمارهایی بود که حداکثر سطح برگ را داشتند (Mostafavi et al., 2018). افزایش رقابت برون گونه‌ای در گیاه سیاه‌دانه سبب بهبود تجمع نسبی ماده خشک گردید که دلیل آن می‌تواند افزایش استفاده از نور و موادغذایی باشد. هم‌چنین تثبیت نیتروژن توسط لوبیاسبز می‌تواند به بهبود عناصر غذایی موجود در خاک کمک نماید (Naghipoor Dehkordi, 2015). تجمع ماده خشک، نشانگر فتوسنتز خالص گیاه و شاخصی برای برآورد عملکرد گیاه زراعی است. ماده فتوسنتزی تولیدشده در گیاه می‌تواند توسط گیاه برای مقاصد رشد یا نگهداری مصرف شده یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد. افزایش سطح برگ، توان فتوسنتزی و تولید ماده خشک را افزایش می‌دهد که این امر می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود (Valizadeh, 2017). در مطالعه‌ای، رشد گیاهان در کشت مخلوط جایگزینی رازیانه، کنجد و لوبیا مورد ارزیابی قرار گرفت. در مطالعه مذکور، میزان وزن خشک در تیمارهای خالص



شکل ۲- تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی در کشت مخلوط بر روند تجمع ماده خشک (TDM) لوبیاسبز (A) و سیاه‌دانه (B) در تیمارهای مختلف

Fig. 2- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of total dry matter (TDM) in green bean (A) and black seed (B) in different treatments

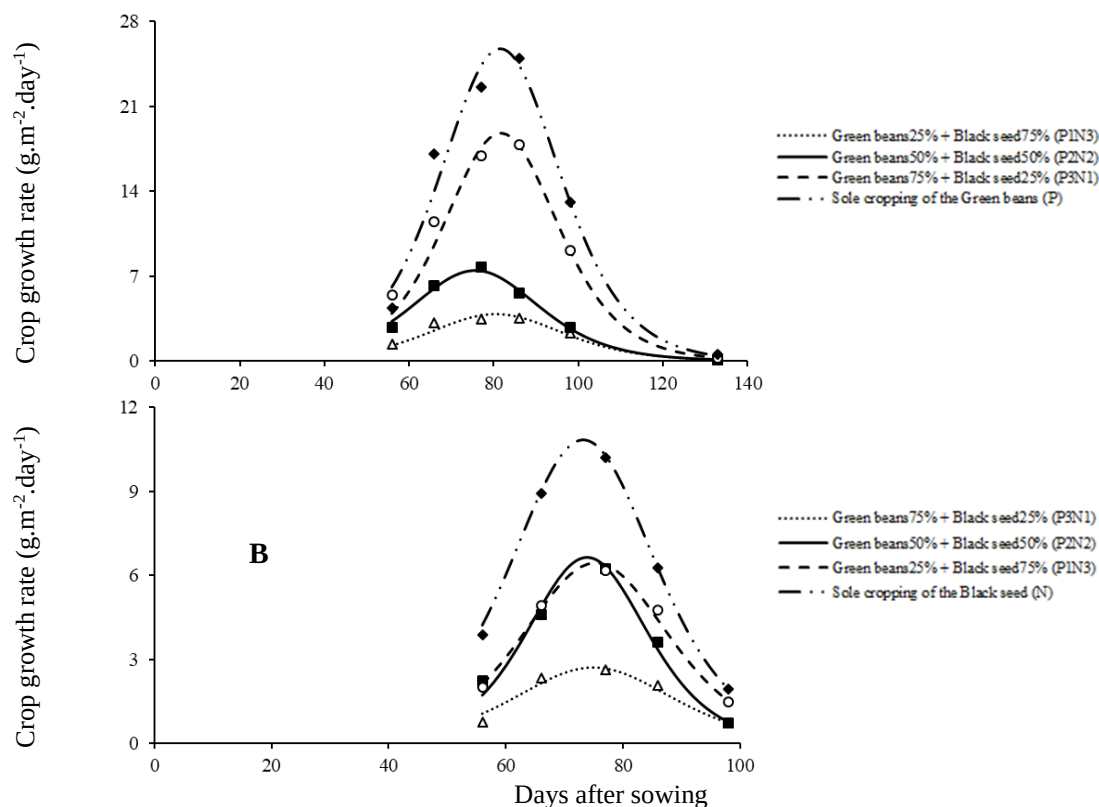
۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاه‌دانه (P₁N₃), ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاه‌دانه (P₂N₂), ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاه‌دانه (P₃N₁), کشت‌های خالص لوبیاسبز (P) و سیاه‌دانه (N)

25% green bean + 75% black seed (P₁N₃), 50% green bean + 50% black seed (P₂N₂), 75% green bean + 25% black seed (P₃N₁), and sole culture of green bean (P) and black seed (N)

معنی‌داری سرعت رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Naghipoor & Dehkordi et al., 2016).

د) سرعت رشد نسبی (RGR): در ابتدای فصل رشد، تیمار P₃N₁ با میزان ۰/۱۰۴ گرم بر گرم در روز بیشترین و در تیمار P₁N₃ با میزان ۰/۰۸۵ گرم بر گرم در روز، کمترین سرعت رشد نسبی را داشت (شکل ۴A). برای گیاه سیاه‌دانه بیشترین سرعت رشد نسبی متعلق به تیمار P₂N₂ (۰/۱۳۵ گرم بر گرم در روز) و کمترین میزان این شاخص به تیمار P₃N₁ (۰/۰۹۷ گرم بر گرم در روز) مربوط بود (شکل ۴B). اختلاف بین تیمارها از نظر مقدار سرعت رشد نسبی در ابتدای دوره رشد نسبت به انتهای دوره رشد بیشتر بود، اما این اختلاف تا پایان فصل کاهش پیدا کرد (شکل ۴).

تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص لوبیاسبز زودتر به نقطه اوج سرعت رشد گیاه در طول دوره رشد رسیدند (شکل ۳A)، شاید بتوان کاهش رقابت درون‌گونه‌ای در کشت مخلوط را دلیل این نتیجه دانست. در گیاه سیاه‌دانه نیز در تیمار P₂N₂ افزایش نه درصدی سرعت رشد محصول نسبت به تیمار خالص مشاهده شد. یافته را می‌توان برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی به دلیل کاهش رقابت بر سر منابع مشترک در شرایط کم‌نهاده به حساب آورد. سرعت رشد محصول بیشتر نتیجه سطح برگ بالا و شدت فتوسنتز بالایی برگ‌ها می‌باشد (Oozooni Doji et al., 2008). در آزمایشی، اثر کشت مخلوط بر خصوصیات رشدی سیاه‌دانه، همیشه‌بهار و گاوزبان اروپایی بررسی شد، نتایج نشان دادند که کشت مخلوط به‌طور



شکل ۳- تأثیر نسبت‌های جایگزینی در کشت مخلوط بر روند سرعت رشد محصول (CGR) لوبیاسبز (A) و سیاهدانه (B) در تیمارهای مختلف

Fig. 3- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of crop growth rate (CGR) in green bean (A) and black seed (B) in different treatments

۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاهدانه (P₁N₃)، ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاهدانه (P₂N₂)، ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاهدانه (P₃N₁)، کشت‌های خالص لوبیاسبز (P) و سیاهدانه (N)

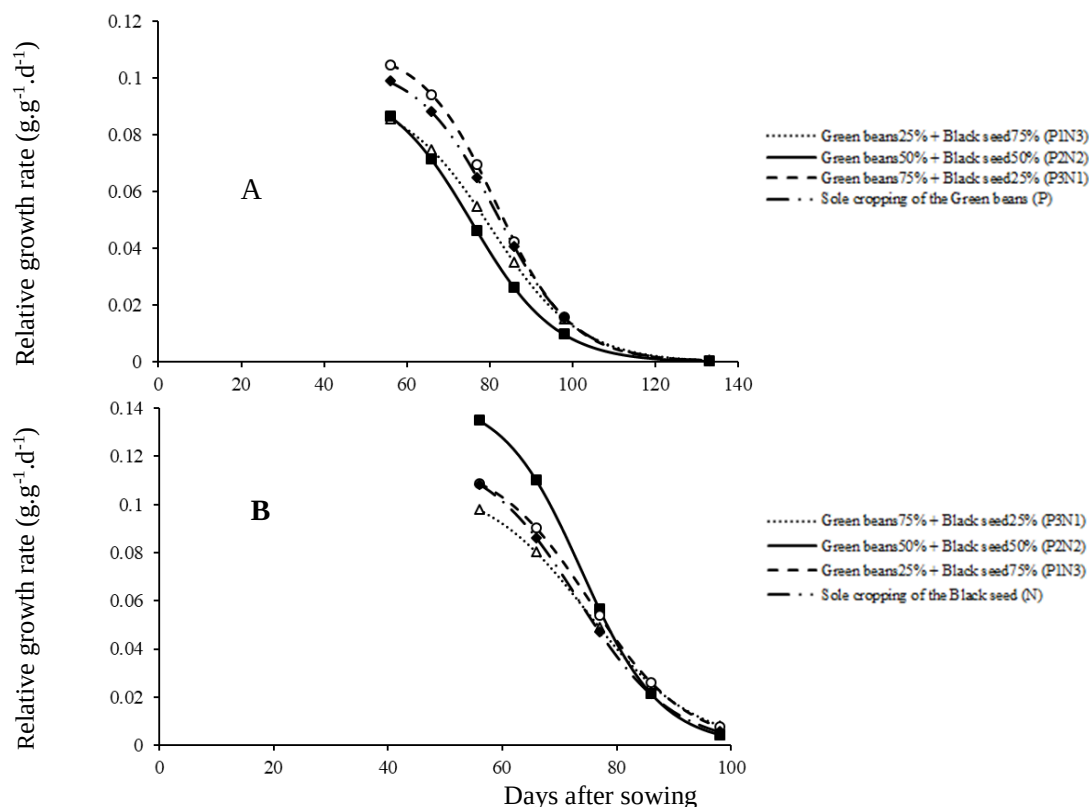
منحنی‌ها نمایانگر مقادیر روزانه شاخص سرعت رشد محصول براساس مقادیر برازش‌یافته (روش تابعی) و نقاط روی شکل نیز شاخص براساس مقادیر اندازه‌گیری‌شده (روش کلاسیک) هستند.

25% green bean + 75% black seed (P₁N₃), 50% green bean + 50% black seed (P₂N₂), 75% green bean + 25% black seed (P₃N₁), and sole culture of green bean (P) and black seed (N)

The curves indicate daily values of crop growth rate (CGR) and the points are calculated values of the index based on observed data.

رشد، تمام وزن گیاه در تولید ماده فتوسنتزی نقش دارد. با پیر شدن برگ‌ها، وزن بافت‌های مرده که دیگر در تولید نقشی ندارند، افزایش می‌یابد که در پایان پیر شدن بافت‌ها سبب کاهش مقدار سرعت رشد نسبی گیاه می‌شود. کاهش سرعت رشد نسبی در طول دوره رشد با افزایش بافت‌های تنفسی نسبت به فتوسنتزی، سایه‌اندازی گیاهان و پیر شدن آن‌ها طی فصل رشد منجر به سرعت رشد نسبی همراه می‌باشد، که علت آن افزایش وزن خشک گیاه است، زیرا سرعت رشد نسبی، افزایش ماده خشک را نسبت به وزن گیاه نشان می‌دهد (Nurbakhsh et al., 2013).

دلیل این امر را می‌توان به دلیل کاهش ظرفیت فتوسنتزی و افزایش بافت‌های ساختمانی گیاه دانست که با گذشت زمان و نزدیک شدن به انتهای فصل رشد در گیاه اتفاق می‌افتد (Meshkani et al., 2019). به طور کلی، تیمارهای کشت مخلوط موجب بهبود روند سرعت رشد نسبی شدند، اما سرعت رشد نسبی به‌تنهایی بیانگر تجزیه و تحلیل شرایط رشد گیاهان نیست، چنانچه دو گیاه دارای وزن اولیه متفاوت باشند، اما نسبت افزایش برابر در طول یک دوره داشته باشند، دارای سرعت رشد نسبی یکسانی خواهند بود (Naghipoor Dehkordi et al., 2016). در واقع، در ابتدای فصل



شکل ۴- تأثیر نسبت‌های جایگزینی در کشت مخلوط بر روند سرعت رشد نسبی (RGR) لوبیاسبز (A) و سیاهدانه (B) در تیمارهای مختلف

Fig. 4- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of relative growth rate (RGR) in green bean (A) and black seed (B) in different treatments

۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاهدانه (P₁N₃)، ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاهدانه (P₂N₂)، ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاهدانه (P₃N₁)، کشت‌های خالص لوبیاسبز (P) و سیاهدانه (N)

منحنی‌ها نمایانگر مقادیر روزانه شاخص سرعت رشد نسبی محصول براساس مقادیر برازش یافته (روش تابعی) و نقاط روی شکل نیز شاخص براساس مقادیر اندازه‌گیری شده (روش کلاسیک) هستند.

25% green bean + 75% black seed (P₁N₃), 50% green bean + 50% black seed (P₂N₂), 75% green bean + 25% black seed (P₃N₁), and sole culture of green bean (P) and black seed (N)

The curves indicates daily values of relative growth rate (RGR) and the points are calculated values of the index based on observed data.

و در تیمار P₃N₁ کمترین (۲۴/۲۵ گرم بر مترمربع در روز) میزان خود را داشت (شکل ۵B). در ابتدای فصل رشد که گیاهان هنوز رشد کمی دارند و هیچ سایه‌اندازی روی برگ‌ها وجود ندارد، بنابراین برگ‌ها کاملاً در معرض مستقیم نور خورشید قرار دارند و سرعت آسیمیلاسیون خالص در بیشترین سطح خود است. با افزایش شاخص سطح برگ و سایه‌اندازی، مقدار سرعت آسیمیلاسیون خالص کاهش می‌یابد (شکل ۵) (Ghotbe Sharif et al., 2021). سرعت بالای آسیمیلاسیون خالص در تیمارهای خاص مانند P₂N₂ برای لوبیاسبز و N برای سیاهدانه نشان‌دهنده بهینه بودن شرایط فتوسنتزی است. کاهش این سرعت در مراحل بعدی رشد به دلیل افزایش سطح برگ و

۵) سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR): میزان آسیمیلاسیون خالص عبارت است از سرعت تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ در زمان معین که معمولاً به صورت گرم در مترمربع (سطح برگ) در روز بیان می‌شود. این شاخص معیاری از کارایی فتوسنتزی برگ‌ها در جامعه گیاهی است که با استفاده از آن می‌توان جوامع گیاهی مختلف را با هم مقایسه کرد (Koocheki & Sarmadnia, 2011). در گیاه لوبیاسبز حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص در P₂N₂ به میزان ۱۴/۹۵ گرم بر مترمربع در روز و حداقل میزان این شاخص در P₁N₃ به میزان ۸/۴۹ گرم بر مترمربع در روز بود (شکل ۵A). سرعت آسیمیلاسیون خالص سیاهدانه در تیمار N بیشترین (۴۸/۲۴ گرم بر مترمربع در روز)

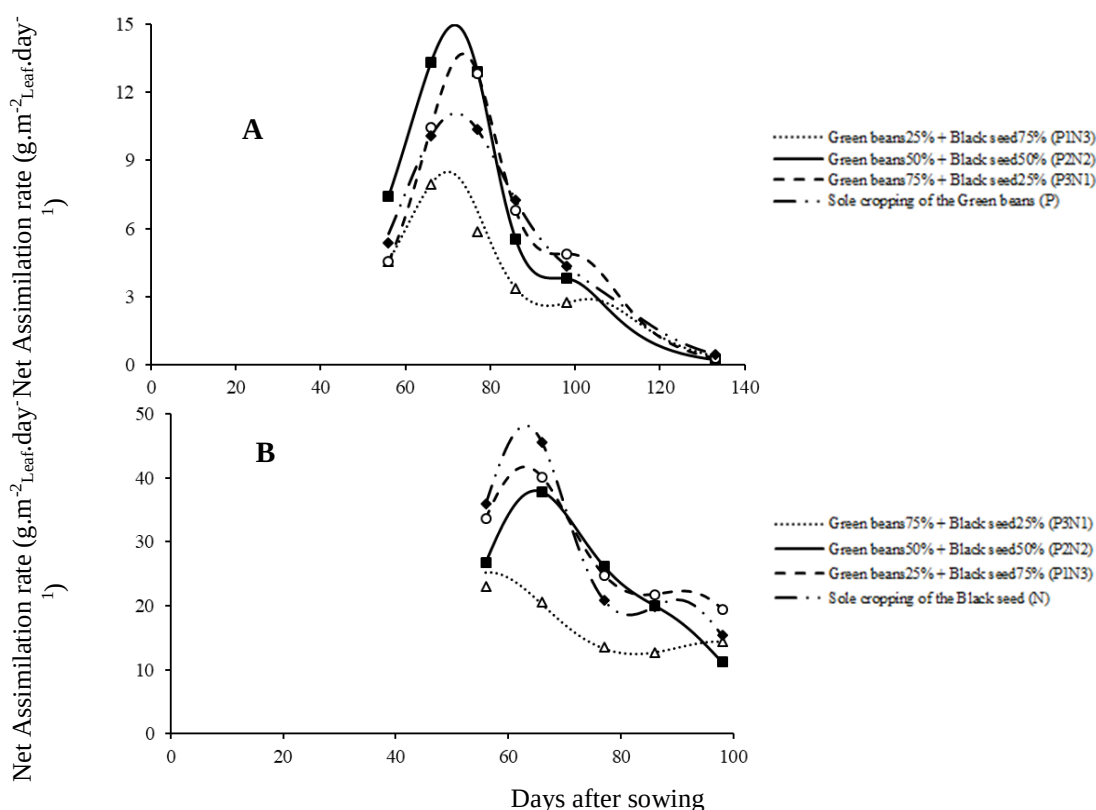
سایه‌اندازی طبیعی است، اما انتخاب تیمارهای مناسب می‌تواند کارایی فتوسنتز را در مراحل کلیدی رشد به حداکثر برساند.

عملکرد محصول

عملکرد اقتصادی دو گونه مخلوط شامل مجموع وزن غلاف‌های تازه برداشت‌شده لوبیاسبز در طی فصل رشد و وزن دانه‌های رسیده و خشک سیاه‌دانه است که در تیمارهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی و همچنین کشت خالص آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. با اثر تیمارها بر عملکرد هر دو محصول لوبیاسبز و سیاه‌دانه، تفاوت‌های معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده

شد (جدول ۴).

حداقل عملکرد لوبیاسبز (۱۲۸۶۵ کیلوگرم در هکتار) در نسبت ۲۵ درصد این گونه (تیمار P_1N_3) به دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. با افزایش نسبت این گونه (لوبیاسبز) در کشت مخلوط با سیاه‌دانه، عملکرد افزایش پیدا کرد. بنابراین بیشترین عملکرد لوبیاسبز در تیمارهای مخلوط، در کشت مخلوط جایگزینی با نسبت ۷۵ درصد این گیاه با سیاه‌دانه (۵۳۷۸۹ کیلوگرم در هکتار؛ تیمار P_3N_1) به دست آمد که با تیمار کشت خالص این گیاه (نسبت ۱۰۰ درصد کاشت) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۶A).



شکل ۵- تأثیر نسبت‌های مختلف جایگزینی در کشت مخلوط بر روند سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) لوبیاسبز (A) و سیاه‌دانه (B) در تیمارهای مختلف

Fig. 5- Effect of different replacement ratios of intercropping on the trend of Net Assimilation Rate (NAR) in Green bean (A) and black seed (B) in different treatments

۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاه‌دانه (P_1N_3)، ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاه‌دانه (P_2N_2)، ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاه‌دانه (P_3N_1)، کشت‌های خالص لوبیاسبز (P) و سیاه‌دانه (N)

منحنی‌ها نمایانگر مقادیر روزانه شاخص سرعت آسیمیلاسیون خالص محصول براساس مقادیر برازش‌یافته (روش تابعی) و نقاط روی شکل نیز شاخص براساس مقادیر اندازه‌گیری شده (روش کلاسیک) هستند.

25% green bean + 75% black seed (P_1N_3), 50% green bean + 50% black seed (P_2N_2), 75% green bean + 25% black seed (P_3N_1), and sole culture of green bean (P) and black seed (N)

The curves indicates daily values of Net Assimilation Rate (NAR) and the points are calculated values of the index based on observed data.

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد اقتصادی لوبیاسبز و سیاه دانه در کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی

Table 4- ANOVA of economic yield of green bean and black seed in sole crops and replacement intercropping

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	
		عملکرد لوبیا سبز The yield of green bean	عملکرد سیاه دانه The yield of black seed
بلوک Block	2	42832014 ^{ns}	4814.71 ^{ns}
تیمار Treatment	3	1375937232 ^{**}	187423.78 ^{**}
خطا Error	6	27325430	4098.28
ضریب تغییرات CV (%)		13	8.8

ns و **: به ترتیب به معنای غیرمعنی دار و معنی دار سطح احتمال یک درصد است.

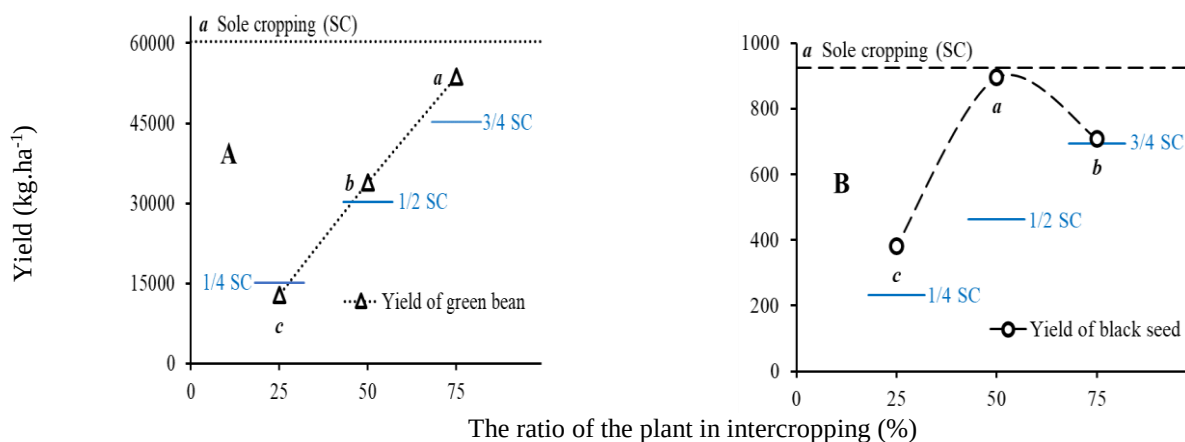
ns and **: mean not significant and significant at probability level of one percent.

معادل نسبتی از عملکرد خالص هر گیاه می توان به خوبی دریافت که این دو عملکرد که در واقع به ترتیب عملکردهای مشاهده شده و مورد انتظار هر تیمار مخلوط هستند، بر یکدیگر منطبق نبوده و اختلافاتی داشته اند (شکل ۶). به غیر از عملکرد لوبیاسبز در تیمار P_1N_3 که عملکرد به دست آمده کمتر از عملکرد مورد انتظار بوده است، در تیمارهای مخلوط هر دو گونه مخلوط، عملکرد به دست آمده از مقادیر مورد انتظار عملکرد آن تیمار بیشتر بود. بیشترین اختلاف بین عملکرد به دست آمده و مورد انتظار برای سیاه دانه در تیمارهای مخلوط مشاهده شده که برای تیمارهای P_1N_3 ، P_2N_2 و P_3N_1 به ترتیب $+1/99$ ، $+48/3$ و $+39/3$ درصد بود. این اختلاف دو عملکرد برای تیمارهای مخلوط لوبیاسبز نیز برای تیمارهای مذکور به ترتیب $-17/2$ ، $+11/1$ و $+15/8$ درصد بود (داده ها نمایش داده نشده اند). کاهش عملکرد مشاهده شده لوبیاسبز در تیمار P_1N_3 نسبت به مقدار مورد انتظار را می توان به رقابت شدیدتر سیاه دانه در این تیمار نسبت داد. این امر به دلیل میانگین نرخ رشد نسبی بالاتر (RGR) سیاه دانه نسبت به لوبیاسبز و همچنین نسبت سه برابری کاشت سیاه دانه به لوبیاسبز در این تیمار بود که موجب محدودیت منابع در دسترس برای لوبیاسبز شد.

در مجموع، این یافته ها نشان می دهند که در کشت مخلوط، تعیین نسبت بهینه کاشت برای هر گونه نقشی کلیدی در به حداکثر رساندن عملکرد دارد. عملکرد بهتر سیاه دانه در تیمارهای ۵۰ درصد و بالاتر بودن عملکرد مشاهده شده نسبت به مورد انتظار در اکثر تیمارها، اهمیت تعادل در رقابت و استفاده کارآمد از منابع را برجسته می کند.

نتایج نشان می دهد که نسبت بالاتر لوبیاسبز در کشت مخلوط می تواند عملکرد این گیاه را بهبود بخشد و به سطحی نزدیک به کشت خالص برساند. این موضوع نشان دهنده توانایی کشت مخلوط برای بهره وری بالا با حفظ تنوع گونه ای است، به شرطی که نسبت گونه ها بهینه تنظیم شود. یافته اخیر می تواند شاهی بر ظهور اثرات متقابل سازنده در کشت مخلوط لوبیاسبز با سیاه دانه و همچنین کاهش رقابت درون گروهی بوته های لوبیاسبز باشد که توانسته است با وجود کاهش تراکم ۲۵ درصدی تیمار P_3N_1 ، عملکرد مشابهی با عملکرد کشت خالص این گونه به دست دهد. در بررسی کشت مخلوط سیاه دانه و نخود، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (نخود و سیاه دانه) تفاوت معنی داری با کشت خالص نخود نشان ندادند (Gholinezhad & Rezaei- Chiyaneh, 2014).

همانند روندی که برای عملکرد لوبیاسبز در کشت مخلوط مشاهده شد، افزایش نسبت کاشت سیاه دانه از ۲۵ درصد (P_3N_1) به ۵۰ درصد (P_2N_2)، عملکرد محصول افزایش معنی داری پیدا کرده و از ۳۸۱/۲ به ۸۹۵/۱ کیلوگرم در هکتار رسید، اما برخلاف لوبیاسبز، با افزایش نسبت کاشت سیاه دانه به ۷۵ درصد (P_1N_3) عملکرد کاهش یافته و به ۷۰۷/۸ کیلوگرم در هکتار رسید که با سایر تیمارها اختلاف معنی داری داشت. بنابر این برخلاف لوبیاسبز، بالاترین مقدار عملکرد در تیمارهای کشت مخلوط در سیاه دانه، نه در تیمار کاشت نسبت ۷۵ درصد سیاه دانه، بلکه در تیمار کاشت ۵۰ درصد این گونه به دست آمد (شکل ۶B). با مقایسه عملکرد به دست آمده از هر تیمار مخلوط با



شکل ۶- روند تغییرات عملکرد لوبیاسبز (A) و سیاهدانه (B) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی در مقایسه با کشت خالص آن‌ها (خط افقی بالای هر شکل)

Fig. 6- The yield changes of green bean (A) and black seed (B) in different ratios of replacement intercropping in comparison of their sole crop (upper horizontal line)

(خطوط آبی رنگ مجاور هر نقطه، عملکرد مورد انتظار است که حاصل ضرب نسبت کاشت گیاه هر تیمار نسبت به کشت خالص آن گیاه × عملکرد خالص آن گونه است؛ حروف مشابه روی هر شکل نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (LSD %5))

۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاهدانه (P₁N₃)، ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاهدانه (P₂N₂)، ۷۵ درصد لوبیاسبز + ۲۵ درصد سیاهدانه (P₃N₁)، کشت‌های خالص لوبیاسبز (P) و سیاهدانه (N)

(The blue lines adjacent to each point are the expected yields which are the product of the planting ratio of each intercropping to the sole cropping × yield of the sole cropping; Same letters on each figure indicates insignificant difference, LSD %5) P₂N₂ 25% green bean + 75% black seed (P₁N₃), 50% green bean + 50% black seed (P₂N₂), 75% green bean + 25% black seed (P₃N₁), and sole culture of green bean (P) and black seed (N)

گیاه و تأثیر آن بر تولید محصول، تغییرات رقابت و پس از آن تغییرات میزان گل‌دهی محصول)، تغییرات شاخص برداشت محصول و مواردی از این دست بستگی دارد. از این رو رشد را به‌تنهایی نمی‌توان معیاری قطعی برای برآورد یا پیش‌بینی عملکرد محصول به شمار آورد (Undie et Amirmoradi & Rezvani Moghaddam, 2011; al., 2012).

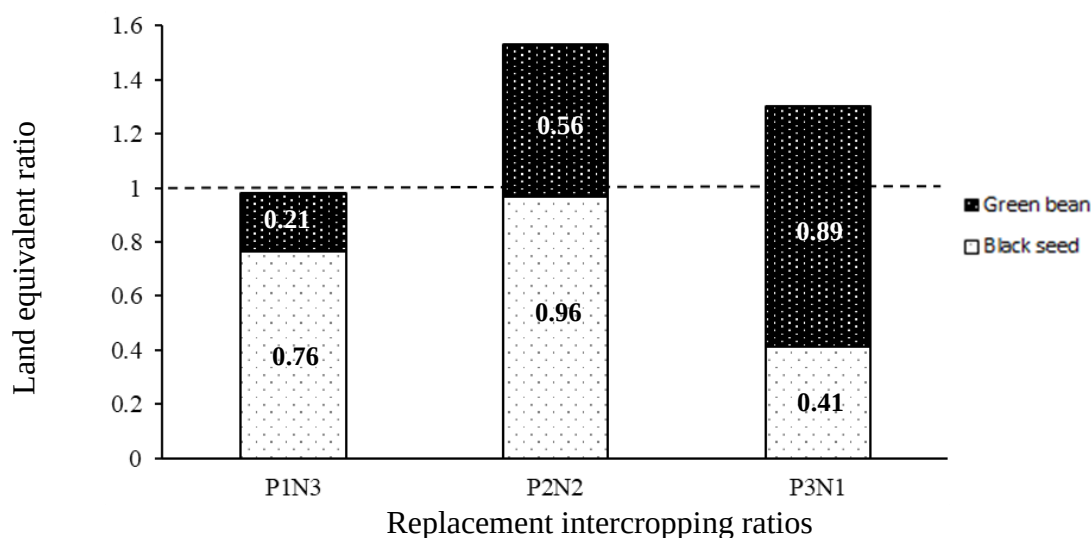
نسبت برابری زمین

بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر LER به‌ترتیب از نسبت P₂N₂ (۱/۵۲) و P₁N₃ (۰/۹۷) حاصل شد (شکل ۷). به‌علاوه در میان الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی لوبیاسبز و سیاهدانه، نسبت برابری زمین در تیمارهای P₂N₂ و P₃N₁ بزرگ‌تر از یک بود که این امر نشان می‌دهد که در کشت مخلوط، سود مثبت وجود دارد و تسهیل بین‌گونه‌ای بیش از رقابت بین‌گونه‌ای بوده است. همان‌گونه که در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد، نسبت برابری زمین جزئی سیاهدانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی بالاتر از نسبت برابری

افزایش قابل توجه عملکرد به‌دست‌آمده سیاهدانه از مقدار مورد انتظار در تیمار P₂N₂ می‌تواند به این دلیل باشد که مجموعه‌ای از عوامل افزایش‌دهنده ظهور یافته در این تیمار کشت مخلوط که می‌تواند شامل کاهش فشار رقابت درون‌گونه‌ای سیاهدانه برای دستیابی به منابع باشد، افزایش عملکرد محصول سیاهدانه را در پی داشته است. از طرفی، با مقایسه عملکرد محصول در تیمار P₂N₂ با روندهای مربوط به شاخص‌های رشد، ظاهراً هم‌خوانی کلی بین رشد و عملکرد محصول دیده نمی‌شود. در توضیح این یافته، می‌توان گفت که اگرچه رشد، روند کلی تولید محصول را نشان می‌دهد، اما این تولید به تولید ماده خشک گیاه مربوط می‌شود، اما سیاهدانه که گیاهی با محصول دانه رسیده (خشک) به‌عنوان عملکرد اقتصادی محصول می‌باشد، تشکیل این عملکرد علاوه بر ماده خشکی که گیاه در طی فصل رشد خود تولید نموده است، به عوامل گوناگون و متعددی همچون اتفاقات دوران گل‌دهی (تغییرات گرده‌افشانی همانند دوره‌های تنش)، اثرات کشت مخلوط بر تغییر واحدهای مولد دانه (هم‌چون تحریک گل‌انگیزی و میزان ریزش گل‌ها، تغییر غلظت مواد مغذی در پیکره

ریحان نشان دادند که تمامی تیمارهای کشت مخلوط بر کشت خالص برتری داشت، به طوری که بالاترین نسبت برابری زمین را ۱/۲۲ گزارش کردند که برابر ۲۲ درصد افزایش سودمندی نسبت به تک کشتی بود (Alizadeh et al., 2009). همچنین محققان دیگر نیز در کشت مخلوط کنجد و کتان (Koocheki et al., 2020)، سیاهدانه و ریحان در الگوهای مختلف کشت مخلوط با لوبیا (Rezaei-Chiyaneh, 2016)، کشت مخلوط سیاهدانه با نخود به نتایج مشابهی دست یافتند (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014).

زمین جزئی لوبیاسبز بود. مقادیر LER بالاتر از یک در تیمارهای P_3N_1 و P_2N_2 نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط و برتری آن نسبت به کشت خالص است. همچنین، برتری نسبی LER جزئی سیاهدانه نسبت به لوبیاسبز نشان می دهد که سیاهدانه در سیستم کشت مخلوط بهره‌وری بیشتری دارد و احتمالاً از تسهیل بین گونه‌ای بیشتر بهره می برد. بدین ترتیب، چنین استنباط می شود که در الگوهای کشت مخلوط، سیاهدانه تأثیر بیشتری از همراهی لوبیاسبز پذیرفته که این امر باعث بهبود بیشتر نسبت برابری زمین جزئی آن در مقایسه با لوبیاسبز شده است. محققان در کشت مخلوط لوبیا و



شکل ۷- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی لوبیاسبز و سیاهدانه و کشت خالص بر نسبت برابری زمین (LER) براساس عملکرد اقتصادی

Fig. 7- The effect replacement intercropping patterns of green bean and black seed on the land equivalent ratio (LER) based on their economic yield

۲۵ درصد لوبیاسبز + ۷۵ درصد سیاهدانه (P_1N_3)، ۵۰ درصد لوبیاسبز + ۵۰ درصد سیاهدانه (P_2N_2)، ۷۵ درصد سیاهدانه + ۲۵ درصد سیاهدانه (P_3N_1)، کشت های خالص لوبیاسبز (P) و سیاهدانه (N)

25% green bean + 75% black seed (P_1N_3), 50% green bean + 50% black seed (P_2N_2), 75% green bean + 25% black seed (P_3N_1), and sole culture of green bean (P) and black seed (N)

نتایج نشان داد که بیشترین ماده خشک تجمعی در بین تیمارهای مختلف در ۱۳۳ روز پس از کاشت به کشت خالص لوبیاسبز با ۹۷۳/۳۴ گرم بر مترمربع و کمترین میزان تجمع ماده خشک به تیمار P_3N_1 سیاهدانه با ۹۱/۱۸ گرم بر مترمربع ۹۸ روز پس از کاشت اختصاص یافت. همچنین بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار کشت خالص لوبیاسبز و کمترین میزان این شاخص در تیمار P_3N_1 سیاهدانه مشاهده شد. در بین تیمارها، بیشترین سرعت رشد محصول ۲۵/۷۱ گرم در مترمربع در روز در کشت خالص لوبیاسبز و کمترین مقدار آن

نتیجه گیری

اثر نسبت های کشت مخلوط دو گیاه لوبیاسبز و سیاهدانه بر روند شاخص های رشدی در تیمارهای مختلف آزمایش نشان داد در هر دو گیاه شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد محصول در کشت خالص به دلیل بیش تر بودن تراکم آن ها از سایر تیمارها بیشتر بوده است، ولی سرعت رشد نسبی کمتری نسبت به تیمارهای مخلوط داشت.

سیاه‌دانه با کشت خالص این گونه اختلاف معنی‌داری نداشت، از این رو چنانچه هدف اصلی از کشت مخلوط تولید سیاه‌دانه باشد، می‌توان از این ترکیب برای دستیابی به بهترین نتیجه در کنار تولید لوبیاسبز بهره گرفت، اما چنانچه ارجحیت با تولید لوبیاسبز باشد، ترکیب تیماری P_3N_1 را تیمار بهینه‌تری می‌توان در نظر گرفت و نسبت برابری زمین در این الگوها بیش از یک به دست آمد. البته برآورد کارایی اقتصادی این ترکیب‌های تیماری با توجه به قیمت بازاری این محصولات و هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های کارگری نیز می‌تواند مبنای انتخاب بهترین ترکیب تیماری برای کشت لوبیاسبز و سیاه‌دانه قرار گیرد.

از تیمار P_3N_1 سیاه‌دانه به دست آمد. بیشترین سرعت رشد نسبی 0.13 گرم بر گرم در روز از تیمار P_2N_2 سیاه‌دانه و بیشترین میزان تولید آسیمیلاسیون خالص ($48/24$ گرم در مترمربع (سطح برگ) در روز) از تیمار خالص سیاه‌دانه به دست آمد، بنابر این به‌طور کلی بررسی‌ها نشان داد که کشت مخلوط سیاه‌دانه با لوبیا سبب بهبود رشد این گیاه دارویی شد.

بررسی عملکرد محصول لوبیاسبز و سیاه‌دانه در تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص این گیاهان نشان داد که در تیمار P_2N_2 با وجود جایگزینی نیمی از تراکم سیاه‌دانه با لوبیاسبز، عملکرد

References

1. Abdollahpour, K., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Khorramdel, S. (2020). Effect of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and black seed (*Nigella sativa* L.) additive intercropping on yield and yield components. *Journal of Field Crops Research*, 18(1), 31-47. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V18I1.71335>
2. Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2009). Yield, yield components and potential weed control of intercropping bean (*Phaseolus vulgaris*) with sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Field Crops Research*, 7(2), 541-553. <https://doi.org/10.1001.1.20081472.1388.7.2.21.1>
3. Alizadeh, Y., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Pooramir, F. (2013). Evaluation of radiation absorption and radiation use efficiency of intercropping of sweet basil and bean. *Journal of Field Crops Research*, 11(1), 54-63. <https://doi.org/10.22067/GSC.V11I1.24063>
4. 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. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(3), 47-58. (in Persian with English abstract).
5. Amirmoradi, S., & Rezvani Moghaddam, P. (2011). Effect of plant density and time of nitrogen application on morphological, phenological characteristics, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 25(3), 251-260. <https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V139I0.11310>
6. Bagheri, M., Zaefarian, F., Akbarpour, V., Asadi, G., & Bicharanlou, B. (2012). Assessment of growth indices of soybean, vegetative sweet basil and borage in intercropping different ratios. *Journal of Plant Production*, 19(3), 1-26. (in Persian with English abstract).
7. Baygi, Z., Saifzadeh, S., Shirani Rad, A. H., Valadabadi, S. A., & Jafarinejad, A. (2017). Effects of planting date on growth indices and yield and yield components of some wheat cultivars in Neshabur. *Journal of Applied Research in Field Crops*, 30(2), 1-18. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/AJ.2018.109088.1113>
8. Echarte, L., Della Maggiora, A., Cerrudo, D., Gonzalez, V.H., Abbate, P., Cerrudo, A., Sadras, V.O., & Calvino, P. (2011). Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. *Journal of Field Crop Research*, 121, 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.011>
9. Eskandari, H., & Ghanbari, A. (2010). Environmental resource consumption in wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) intercropping: Comparison of nutrient uptake and light interception. *Journal of Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-napoca*, 2(100-103).
10. Feng, L., Ali Raza, M., Shi, J., Ansarb, M., Titriku, J., Meraj, T., Shah, G., Ahmed, Z., Saleem, A., Liu, W., Wang, X., Yong, T., Yuan, S., Feng, Y., & Yang, W. (2020). Delayed maize leaf senescence increases the land equivalent ratio of maize soybean relay intercropping system. *Journal of Agronomy*, 118: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126092>
11. 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.). *Journal of Iranian Crop Sciences*, 16(3), 236-249.

- (in Persian with English abstract).
12. Ghotbe sharif, M., Asadi, G.H., & Mostafavi, M.J. (2021). Evaluation of Growth Indices Advantages in Intercropping of Green Bean and Basil. *Journal of Crop production*, 14(1): 123-144. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2021.18660.2387>
 13. Hallberg, L. (2019). Effects of nitrogen quality and quantity on weed-crop competition: a greenhouse experiment with *Avena sativa* and *Avena fatua*. Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept. of Crop Production Ecology (Scientific report).
 14. Heidari, H., & Mohammadi, H. (2015). Crop Physiology, Third ed. Dibagaran Cultural and Artistic Institute of Tehran., Teran, Iran. (in Persian).
 15. Hong, Y., Berentsen, P., Heerink, N., Shi, M., & Werf, W. (2019). The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices - A model analysis based on a case study in Northwest China. *Journal of Agricultural Systems*, 176, 102661. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102661>
 16. Khorramdel, S., Siyahmargooi, A., & Mahmoodi, G. (2016). Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. *Journal of Crop Production*, 9(1), 1-24. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.2954>
 17. Koocheki, A., & Sarmadniya, G.H. (2011). Crop Physiology. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (in Persian)
 18. Koocheki, A., Fallahpour, F., & Aminghafouri, A. (2020). Determining the best width of strip in row intercropping of sesame and flax and its effect on yield, yield components and weed density. *Journal of Agroecology*, 11(4), 1483-1496. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V11I4.29585>
 19. Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., & Melati, F. (2014a). Evaluation of radiation absorption and use efficiency in row intercropping of Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Field Crops Research*, 11(4), 533-542. <https://doi.org/10.22067/GSC.V11I4.32080>
 20. Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Khorramdel, S., Anvarkhah, S., Sabet Teimouri, M., & Sanjani, S. (2010a). Evaluation of growth indices of hemp (*Cannabis sativa* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in intercropping with replacement and additive series. *Journal of Agroecology*, 2, 27-36. <https://doi.org/10.22067/JAG.V2I1.7594>
 21. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani, m., & Jafari, L. (2014b). Yield responses of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Field Crops Research*, 12(1), 1-8. <https://doi.org/10.22067/GSC.V12I1.36624>
 22. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Jafari, L., Khorramdel, S., & Gholizadegan, A. (2019). Evaluation of old and new wheat varieties for their compatibility with canola in additive series of intercropping. *Journal of Applied Research in Field Crops*, 32(2), 130-155. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2019.121409.1278>
 23. Koocheki, A., Nassiri mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S., & Mondani. (2010b). Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. *Journal of Agroecology*, 2(2), 225-235. <https://doi.org/10.22067/JAG.V2I2.7627>
 24. Lal, B., Rana, K., Rana, D., Shivay, Y., Sharma, D., Meena, B., & Gautam, G. (2019). Biomass, yield, quality and moisture use of Brassica carinata as influenced by intercropping with chickpea under semiarid tropics. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18, 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.001>
 25. 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. *Journal of Agronomy*, 34, 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007>
 26. Meshkani, J., Kafi, M., Khorramdel, S., & Moallem Benhangi, F. (2019). Effect of intercropping rates of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and Persian shallot (*Allium altissimum* Regel.) on their growth indices. *Journal of Agroecology*, 11(2), 543-560. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V11I2.67513>
 27. Mohammadi, H. & Rezaei-Chiyaneh, E. (2019). Effect of vermicompost application on seed yield and quality in fababean (*Vicia faba* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) intercropping. *Journal of Iranian Crop Sciences*, 21(2), 139-154. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/abj.21.2.139>
 28. Mostafavi, M. (2014). The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of

- sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate. condition. MS.c. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
29. Mostafavi, M., Nassiri Mahallati, M., & Koocheki, A. (2018). Growth and phenology analysis of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under biological and chemical nutritional sources. *Journal of Field Crops Research*, 16(1), 15-34. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V16I1.49991>
30. Naghipoor Dehkordi, P. (2015). Evaluation of yield, yield components and radiation use efficiency in intercropping of three medicinal plants of Black Seed, Borage and Marigold. condition. MS.c. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
31. Naghipoor Dehkordi, P., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Khorramdel, S. (2016). Evaluation of growth indices for Black Seed, Marigold and Borage as medicinal plants at intercropping in replacement series. *Journal of Agroecology*, 6(2), 179-199. (in Persian with English abstract).
32. Nurbakhsh, F., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2013). Effects of planting pattern and seed ratio on growth indices of intercropped sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 3(1), 111-123. (in Persian with English abstract).
33. Oozooni Doji, A., Esfahani, M., Samee Zadeh Lahiji, H., & Rabiee, M. (2008). The effect of planting pattern and plant density on the growth and radiation use efficiency of two cultivars of without petals and with petals rapeseed. *Journal of Field Crop Science*, 9(4), 382-400. (in Persian with English abstract).
34. Pouramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Ghorbani, R. (2010). Assessment of Sesame and Chickpea Yield and Yield Components in the Replacement Series Intercropping. *Journal of Field Crops Research*, 8(5), 747-757. <https://doi.org/10.22067/GSC.V8I5.8016>
35. Ranjbar, F. (2012). Assessment of growth indices and yield of intercropped fennel (*Foeniculum vulgare*), sesame (*Sesamum indicum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) condition. MS.c. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
36. Rezaei-Chiyaneh, E. (2016). Evaluation of quantitative and qualitative traits of Black Cumin (*Nigella sativa* L.), and Basil (*Ocimum basilicum* L.) in different intercropping patterns with Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 8(2), 263-280. <https://doi.org/10.22067/JAG.V8I2.47354>
37. Rezvani-Moghaddam, P., Raoofi, M., Rashed Mohassel, M., & Moradi, R. (2009). Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiate* L.Wilczek) - black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. *Journal of Agroecology*, 1(1), 65-79.
38. Rezvani-Moghaddam, P., & Seyyedi, S. (2015). Effects of organic, chemical and biological fertilizers on crude protein, oil yields and fatty acids of Black Seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Horticultural Science*, 29(1), 119-126. <https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.28253>
39. Tavoletti, S., & Merletti, A. (2022). A comprehensive approach to evaluate durum wheat-faba bean mixed crop performance. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.733116>
40. Undie, U., Uwah, D.F., & Attoe, E.E. (2012). Effect of intercropping and crop arrangement on yield and productivity of late season Maize/soybean mixtures in the humid environment of South Southern Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 37-50. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n4p37>
41. Valizadeh, S. (2017). Evaluation of agronomic criteria of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping with some medicinal plants. condition. MS.c. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
42. Verret, V., Pelzer, E., Bedoussac, L., & Jeuffroy, M. (2020). Tracking on-farm innovative practices to support crop mixture design: The case of annual mixtures including a legume crop. *Journal of Agronomy*, 115, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126018>
43. Yusuf, R. I., Siemens, J. C., & Bullock, D. G. (1999). Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. *Agronomy Journal*, 91: 928-933. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.916928x>



Investigating the Efficiency of Different Cover Crops on Weed Populations and Yield and Yield Components of Soybean (*Glycine max* L.)

Ali Jafari¹, Behnam Kamkar^{4*}, Asieh Siahmarguee², Javid Gherekhloo³, Ebrahim Zeinali² and Parisa Alizadeh Dehkordi⁵

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

4- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

5- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

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

Received: 08-07-2024

Revised: 17-11-2024

Accepted: 11-12-2024

Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:

Jafari, A., Kamkar, B., Siahmarguee, A., Gherekhloo, J., Zeinali, E., & Alizadeh Dehkordi, P. (2025). Investigating the efficiency of different cover crops on weed populations and yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Agroecology*, 17(1), 37-59. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.88808.1202>

Introduction

Planting cover crops, along with effective management practices, offers a sustainable alternative to conventional weed control methods. Beyond weed suppression, cover crops contribute positively by increasing organic matter, improving soil structure, enhancing water retention capacity, controlling soil-borne diseases, reducing soil erosion, and ultimately boosting crop yields.

Materials and Methods

To investigate the effect of winter cover crops on weed populations and the yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.) in Golestan province, a field experiment was conducted from 2016 to 2018. The experiment employed a three-replicated split-plot design within a randomized complete block design at the Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Seven types of cover crops, triticale (*Triticosecale witmackx*), common oat (*Avena sativa* L.), alfalfa (*Medicago scutellata* L.), canola (*Brassica napus* L.), sainfoin (*Onobrychis sativa* L.), perco (*Brassica napus* L. var. *sensolata*), and no cover crop (control), were tested under two weed management conditions (with weeding and without weeding). Each plot measured 6 × 3 meters, and crops were manually sprayed 30 days after planting. Parameters measured included plant height, leaf area, and dry weight of cover crops.

Results and Discussion

According to the results, the best cover plants varied in their effectiveness in several key areas. Perco and field oats were the most effective in achieving a high leaf area index, whereas triticale had the shortest time to reach the maximum leaf area index. Canola and triticale exhibited the highest amount of dry matter accumulation



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

 <https://doi.org/10.22067/agry.2024.88808.1202>

and the shortest time required to reach 50% of the maximum dry matter accumulation. However, across the two years of the experiment, sainfoin proved to be the weakest cover plant in terms of both leaf area index and dry matter accumulation. In terms of soybean yield, the no-weeding treatment led to a decrease of 24% in the first year and 16% in the second year when compared to the average yield of cover crops. The impact of cover plants on soybean performance was significant in the first year. Cover plants significantly influenced the average number of pods per plant, the number of seeds per pod, the weight of 100 seeds, and overall yield. However, in the second year, while the average number of pods per plant and the weight of 100 seeds did not show statistically significant differences, the influence of cover plants on yield and other metrics was still evident. In general, the study suggests that triticale and field oats can be suitable pre-sowing options for soybean planting. These cover plants help reduce the weed population and either increase or stabilize soybean yield without the need for additional fertilizer inputs. This conclusion highlights the potential of triticale and field oats to enhance sustainable agricultural practices by improving yield and managing weeds effectively. The findings underscore the importance of selecting appropriate cover plants to optimize crop performance and minimize the need for chemical inputs. By choosing the right cover plants, farmers can improve their crop yield and manage weed populations more effectively, contributing to a more sustainable agricultural system. Triticale and field oats, in particular, show promise in achieving these goals, offering a viable strategy for enhancing soybean production and ensuring environmental sustainability. In conclusion, the research emphasizes the significance of cover plant selection in agricultural practices. Triticale and field oats have demonstrated their potential as effective cover crops, capable of boosting soybean yield and managing weeds without the reliance on fertilizers. This study provides valuable insights for farmers aiming to adopt more sustainable and productive farming practices.

Conclusion

This study highlights the potential of cover crops in sustainable agriculture to effectively reduce the weed seed bank and prevent declines in crop yield over the long term. Among the cover crops evaluated, triticale and common oat are recommended pre-planting options for soybean cultivation, especially when complemented with effective weed management practices.

Keyword: Dry matter, Ecological management, Plant residues, Pre-planting plant, Sustainable agriculture

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۳۷-۵۹

بررسی اثر گیاهان پوششی مختلف بر جمعیت علف‌های هرز، عملکرد و اجزاء عملکرد سویا (*Glycine max* L.)

علی جعفری^۱، بهنام کامکار^{۲*}، آسیه سیاهمرگویی^۲، جاوید قرخلو^۳، ابراهیم زینلی^۲ و پریسا علیزاده دهکردی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

چکیده

پیش‌کاشت گیاهان پوششی می‌تواند جایگزین پایداری برای روش‌های معمول مهار علف‌های هرز و تأمین عناصر غذایی در خاک باشد. به‌منظور مطالعه تأثیر گیاهان پوششی زمستانه در شرایط عدم استفاده از کود بر جمعیت علف‌های هرز، عملکرد و اجزاء عملکرد سویا در استان گلستان، آزمایشی با تیمارهای استفاده و عدم استفاده (شاهد) از گیاهان پوششی یولاف زراعی (*Avena sativa* L.)، یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* L.)، تریتیکاله (*Triticosecale witmackx*)، اسپرس (*Onobrychis sativa* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، پرکو (*Brassica napus* L. var. *sensolata*) و تیمار وجین و عدم وجین علف‌های هرز انجام شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، بهترین گیاهان پوششی در حصول شاخص سطح برگ (پرکو و یولاف زراعی)، کمترین زمان تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ (تریتیکاله)، بیشترین مقدار تجمع ماده خشک و کمترین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر تجمع ماده خشک (کلزا و تریتیکاله) تفاوت داشتند، اما در دو سال آزمایش، اسپرس از نظر شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک ضعیف‌ترین گیاه پوششی بود. عملکرد سویا در تیمار عدم وجین در مقایسه با میانگین عملکرد گیاهان پوششی در سال اول ۲۴ درصد و در سال دوم ۱۶ درصد کاهش یافت. در سال اول، اثر گیاهان پوششی بر میانگین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد معنی‌دار بود، اما در سال دوم، میانگین تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه تفاوت آماری معنی‌داری نشان ندادند. در مجموع، به نظر می‌رسد که تریتیکاله و یولاف زراعی می‌توانند گزینه‌های مناسبی به‌عنوان گیاه پیش‌کاشت برای کاشت سویا باشند تا ضمن کاهش جمعیت علف‌های هرز، افزایش یا ثبات عملکرد سویا را بدون استفاده از نهاده کودی ممکن کنند.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی، کشاورزی پایدار، گیاه پیش‌کاشت، ماده خشک، مدیریت بوم شناختی

مقدمه

داراست (Abdalla et al., 2019) و به‌دلیل تنوع ژنتیکی و سازگاری بالا در دامنه وسیعی از عرض‌های جغرافیایی کشت می‌گردد. روغن سویا حاوی اسیدهای چرب غیراشباع نظیر اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک می‌باشد که این اسیدهای چرب اشباع‌نشده از لحاظ تأمین ویتامین و حفظ سلامتی انسان فوق‌العاده مهم می‌باشند (Berglund, 2002). سویا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی می‌باشد که موارد استفاده زیادی در کشاورزی و صنعت دارد. جایگاه ارزشمند این محصول به‌دلیل روغن زیاد و پروتئین فراوان دانه آن است که به‌ترتیب ۲۰ و ۴۰ درصد از وزن دانه را شامل می‌گردد.

سویا (*Glycine max* L.) گیاهی یک‌ساله و خودگشن از خانواده *Fabaceae* است که مقام نخست را در تأمین روغن گیاهی در جهان

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۵- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

* نویسنده مسئول: (Email: kamkar@um.ac.ir)<https://doi.org/10.22067/agry.2024.88808.1202>

گزارشات موفق‌تری ارائه شده است (Kruidhof et al., 2008)؛ گیاهان (Pullaro, 2006؛ Montazeri & Samedani, 2009) پوششی با تعدیل دمای خاک و ممانعت از شکسته شدن خواب بذر علف‌های هرز و همچنین جلوگیری از نفوذ نور به سطح خاک باعث کاهش جوانه‌زنی و زیست‌توده تولیدی علف‌های هرز می‌گردد (Behdani & Fallahi, 2015). در این راستا یوچینو و همکاران (Uchino et al., 2009) اظهار داشتند که کاشت گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa*) در بین ردیف‌های ذرت (*Zea mays* L.) در سه زمان مختلف (قبل، هم‌زمان و بعد از گیاهان اصلی) به‌طور معنی‌داری باعث کاهش رشد علف‌های هرز گردید، به‌نحوی که بیشترین وزن خشک علف هرز در کشت خالص ذرت و کمترین مقدار نیز در کاشت توأم گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای قبل از کاشت و سه هفته بعد از کاشت گیاه اصلی در بین ردیف‌های ذرت مشاهده شد. رزاریو و همکاران (Rosario-lebron et al., 2019) در بررسی اثر گیاهان پوششی زمستانه بر مهار علف هرز در کشت سویا مشاهده نمودند که حضور گیاه پوششی سبب کاهش علف‌های هرز طی فصل رشد سویا می‌گردد. ابوطالبیان و همکاران (Aboutalebian et al., 2011) گزارش کردند که چنانچه گیاهان پوششی جو (*Hordeum vulgare*)، سه و پنج هفته بعد از سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در بین ردیف‌های این محصول کشت شود، قادر است که علف‌های هرز را به‌خوبی مهار کند. پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2013) با بررسی نوع گیاه پوششی (جو، تریتیکاله، شبدر برسيم (*Trifolium alexandrinum*) و تربچه روغنی (*Raphanus sativus* L.) و زمان حذف گیاه پوششی (چهار و هشت برگی چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)) بر جمعیت علف‌های هرز در چغندر قند دریافتند که گیاه پوششی جو و حذف آن در مرحله هشت برگی دارای کمترین میزان زیست‌توده علف هرز بود. یگانه پور و همکاران (Yeganehpur et al., 2015) کشت هم‌زمان ذرت با گیاه پوششی شبدر را به‌عنوان مؤثرترین تیمار در مهار علف‌های هرز ذرت معرفی نمودند. نزاری و همکاران (Nazari et al., 2012) با ارزیابی کارایی سه گیاه پوششی سویا، شنبليله (*graecum Trigonella-foenum*) و لوبیا چشم‌بلبل (*Vigna unguiculata*) در دو تاریخ کاشت هم‌زمان و ۲۱ روز بعد از کاشت ذرت در مهار علف‌های هرز و عملکرد ذرت اظهار داشتند که زراعت گیاهان پوششی گیاهان خانواده نخود (*Fabaceae*) همراه با مدیریت‌های مناسب می‌تواند جایگزین

(Latifi, 1994). خسارت علف‌های هرز در سویا بسیار جدی است، به‌طوری‌که در تحقیقات به عمل آمده، میانگین افت عملکرد سویا در ازای تراکم یک بوته علف هرز در مترمربع از صفر تا ۳۰ درصد گزارش شده و در بیشترین سطوح تراکم، ممکن است این خسارت اقتصادی به ۸۰ درصد نیز برسد (Agha & Yadavi, 2005). امروزه آلودگی‌های زیست‌محیطی و از جمله آلودگی آب‌های سطحی و زیرسطحی توسط علف‌کش‌ها، یکی از مهم‌ترین مسائل مورد توجه بشر می‌باشد. اثرات نامطلوب کودها و آفت‌کش‌ها بر محیط زیست منجر به توجه بیشتر و استفاده از روش‌هایی شده است که در آن نیازی به مصرف مواد شیمیایی نبوده یا کم باشد و این هدف موجب شده که با توجه به کشاورزی بوم‌شناختی، بحث پایداری در کشاورزی مورد توجه قرار گیرد. یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به این هدف، زراعت گیاهان پوششی و کود سبز است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد (Abdin et al., 2000; Abril et al., 2007). گیاهان پوششی، گیاهانی کوتاه و دارای رشد سریع هستند که اکثر آن‌ها در زمان بسیار کوتاهی، سطح خاک را فرا گرفته و زمین را به‌خوبی می‌پوشانند. این گیاهان نسبت به مواد غذایی پرتوقع نبوده و آب زیادی لازم ندارند و درعین حال به توجه و مراقبت کمی نیاز دارند. عده‌ای از آن‌ها نسبت به شوری خاک مقاوم می‌باشند و برخی دیگر در خاک‌های شنی و ضعیف به‌خوبی رشدونمو می‌کنند. از نقاط قوت گیاهان پوششی می‌توان به ممانعت از توسعه جمعیت علف‌های هرز (Fadaei Shahri et al., 2011)؛ (Abdin et al., 2000) و بانک بذر آن‌ها (Montazeri & Gabriel, 2009)، مهار بیماری‌های خاک (Quemada, 2011)، غنی‌سازی خاک از طریق تثبیت نیتروژن (Dabighi et al., 2015) افزایش کربن، نیتروژن، زیست‌توده میکروبی خاک (Lamei Harvani et al., 2014)؛ (SteenWerth & Belina, 2008; Ramos et al., 2010; Smith et al., 2014)، ممانعت از آب‌شویی نیتروژن (Jellum & Kuo., 2002)، کاهش فرسایش خاک (Baets et al., 2011؛ Fathi-Moghadam & Masjedi, 2009)، حفظ رطوبت خاک (Hajinia & Ahmadvand, 2015) و افزایش عملکرد گیاهان زراعی (Quemada & Gabriel, 2011)؛ (Jalilian & Heydarzadeh, 2014) اشاره نمود. علاوه بر موارد فوق، در خصوص پتانسیل این گیاهان در مهار علف‌های هرز نیز

مطلوبی برای روش‌های کنترل شیمیایی در مزارع علف‌های هرز باشد که در نهایت، موجب افزایش بهره‌وری نهاده‌ها و رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار خواهد شد. نجفی (Najafi, 2013) به‌منظور بررسی توان گیاهان پوششی در مزارع علف‌های هرز چغندرقد، دو آزمایش جداگانه در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور (کرج) در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به اجرا درآورد که در آزمایش اول، گیاهان پوششی چاودار (*Secale cereal*)، جو، گندم و تربیتی‌کاله در پاییز کاشت و اثرات آن‌ها در بهار بر جمعیت علف‌های هرز چغندرقد مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش دوم، نوع گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها تغییر داده شد. در هر دو آزمایش، اثر تیمار گیاه پوششی با سه شاهد (وجین کامل، عدم وجین و مزارع علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش) مقایسه شد. نتایج کلی این آزمایش نشان‌دهنده برتری گیاه پوششی جو در مزارع چغندرقد بود. آرمسین و همکاران (Armecin et al., 2005) طی آزمایشی شش ساله، اثر گیاهان پوششی بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه آباکا (*Musa txtilis*) را مثبت گزارش کردند.

با توجه به اهمیت توسعه کشت سویا و لزوم معرفی روش‌های اکولوژیک در مزارع علف‌های هرز این محصول، این تحقیق با هدف بررسی کارایی چند گیاه پوششی روی برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد سویا (رقم DPX) در شرایط آب‌وهوایی استان گلستان طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کارایی گیاهان پوششی مختلف در مزارع علف‌های هرز، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۶ در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در استان گلستان در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل نوع گیاهان پوششی در شش سطح یولاف زراعی (*Avena sativa* L.)، تربیتی‌کاله (*Triticosecale witmackx*)، یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* L.)، اسپرس (*Onobrychis sativa* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، پرکو (*Brassica napus* L. var. *sensolata*) و همچنین عدم کاشت گیاه پوششی (شاهد) بود که تأثیر آن‌ها بر جمعیت علف‌های هرز، عملکرد و

اجزاء عملکرد سویا در دو شرایط وجین و عدم وجین علف‌های هرز مورد بررسی قرار گرفت. برخی از ویژگی‌های گیاهان پوششی و رقم سویای مورد استفاده و همچنین برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. کاشت گیاه پوششی در اواسط آبان ماه سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌صورت خطی در کرت‌هایی به ابعاد ۳ × ۶ متر مربع انجام شد. مقدار بذر مورد استفاده برای هر گیاه، سه برابر مقدار توصیه‌شده (Namdari et al., 2010) در نظر گرفته شد (جدول ۱). لازم به ذکر است که در زمان کاشت و در طی فصل رشد گیاهان پوششی، هیچ نوع کودی استفاده نشد (Brast et al., 2014). در اواسط اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (یک هفته قبل از کاشت سویا)، تمامی گیاهان پوششی با استفاده از علف‌کش پاراکوات (سه لیتر در هکتار) سم‌پاشی و سپس کاشت سویا درون بقایای گیاهان پوششی در فواصل بین و روی ردیف ۵۰ و ۱۳ سانتی‌متر به‌صورت دستی انجام شد. در این آزمایش از رقم دی پی ایکس استفاده گردید. لازم به ذکر است که کل کرت به‌شکل عرضی به دو قسمت تقسیم و در یک قسمت عملیات وجین کامل علف‌های هرز (در طی چهار مرحله شامل ۵ برگی، ۸ برگی، ۱۲ برگی و شروع گرده‌افشانی) انجام و در قسمت دیگر این کار انجام نشد. کود مورد نیاز سویا نیز براساس آنالیز خاک و به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در زمان کاشت و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک در دو مرحله) مورد استفاده قرار گرفت. تا مرحله ظهور گل‌آذین، آبیاری به‌روش بارانی انجام شد، اما به‌دلیل رشد قابل توجه بوته‌ها و به‌دلیل عدم امکان آبیاری بارانی از این مرحله تا انتهای فصل رشد، آبیاری به‌شکل جوی پشته در دو مرحله انجام گرفت. همچنین در طی فصل رشد نیز اقدامات لازم برای مهار آفات و بیماری‌ها انجام شد. جهت تعیین ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک گیاه پوششی، ۳۰ روز بعد از کاشت گیاه پوششی نمونه‌برداری‌های لازم انجام شد. برای این کار، ابتدا تعداد کل بوته‌ها در کادری به ابعاد ۰/۲۵ × ۰/۲۵ متر شمارش و سپس ۱۰ بوته آن به‌طور تصادفی برداشت و جهت تعیین وزن خشک و سطح برگ به آزمایشگاه منتقل شد. این کار در پنج مرحله به فواصل ۲۰ روز انجام شد. قبل از سم‌پاشی گیاهان پوششی، تراکم علف‌های هرز و ماده خشک آن‌ها نیز در کوارت‌هایی به ابعاد ۰/۵ × ۰/۵ متر تعیین گردید. بعد از استقرار سویا، با فواصل ۱۵ روزه،

نتایج و بحث

در شکل ۱، آمار هواشناسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی در طول دو سال آزمایش نشان داده شده است. دوره رشد گیاهان پوششی هر دو سال از اواسط آبان تا اواسط اردیبهشت (نوامبر تا می) و دوره رشد سویا نیز در سال اول از اواسط اردیبهشت تا اواخر مهر (می تا اکتبر) و در سال دوم از اواسط اردیبهشت تا اواخر آبان (می تا نوامبر) بود. میانگین دماهای حداقل، حداکثر و بارش طی فصل رشد در سال اول به ترتیب ۱۳/۷۵، ۱۹/۲۲ سانتی‌گراد و ۳۲/۷۵ میلی‌متر و در سال دوم ۱۳/۲۸، ۱۸/۶۵ سانتی‌گراد و ۵۹/۲۸ میلی‌متر بود. میزان دما در طی فصل رشد گیاه پوششی سال اول نسبت به سال دوم به‌طور میانگین یکسان بوده است، ولی این میزان در طی فصل رشد سویا به‌ویژه در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور در سال اول بیشتر بود. همچنین بررسی میزان بارش طی فصل رشد هر دو سال گیاه پوششی و سویا نشان داد که میزان بارندگی سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود و به دلیل شرایط بارندگی در آخر فصل رشد سال دوم در سویا، زمان برداشت در حدود ۳۰ روز به تعویق افتاد. به‌طور کلی، در سال اول از لحاظ فنولوژیکی طی فصل رشد گیاه پوششی کمترین و بیشترین بارش به ترتیب در زمان کاشت و جوانه‌زنی و در سال دوم نیز به ترتیب در زمان رسیدگی کامل و سبز شدن سویا مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان دما طی فصل رشد گیاه پوششی در سال اول، اردیبهشت (زمان برگردان به خاک) و بهمن ماه و همچنین برای سال دوم، اردیبهشت و دی و بهمن ماه مشاهده شد. با توجه به داده‌های هواشناسی سال اول، یکی از دلایل بروز عارضه عدم غلاف‌بندی و ریزش گل را می‌توان به مصادف شدن زمان گل‌دهی با دمای بالای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بیان کرد. اما در سال دوم، چنین عارضه‌ای با توجه به دمای ۳۰ درجه در زمان گل‌دهی مشاهده نشد. محتشم امیری و همکاران (Mohtasham Amiri et al, 2018) در پژوهش خود بیان نمودند که با توجه به بررسی داده‌های هواشناسی و مدیریت مزرعه، بروز عارضه عدم غلاف‌بندی سویا به تنش‌های غیرزیستی مانند دمایی و رطوبتی و نیز مدیریت نامناسب آبیاری مزرعه بستگی داشتند.

این کار حداقل در پنج مرحله صورت گرفت، از هر کرت چهار بوته برای تعیین شاخص‌هایی مانند سطح برگ (با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل DELTA-t) و ماده خشک (با استفاده از دستگاه آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آزمایشگاه) نمونه‌برداری شد. همزمان در هر مرحله، نمونه‌برداری جهت تعیین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز نیز انجام شد. انتهای فصل رشد نیز بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، از مساحتی به ابعاد یک مترمربع نمونه‌برداری و جهت تعیین عملکرد و اجزاء عملکرد به آزمایشگاه منتقل گردید. از نرم‌افزارهای Excell و Sigmaplot 14 جهت ترسیم نمودار و اشکال، از نرم‌افزار SAS 9 و رویه mixed جهت تجزیه آماری داده‌ها و از آزمون LSD در سطح پنج درصد جهت مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

به جهت اهمیت فیزیولوژیکی پارامترهای مدل‌های رگرسیون غیرخطی در الگوهای کشت و برای توصیف روند سطح برگ گیاهان پوششی در طول فصل رشد، مدل لجستیک توسط راحمی کاریزکی، عرب عامری و قدیریان (Arab-Rahemi; Karyzaky, 2005; Ghdyryan et al., 2011Ameri, 2008) براساس معادله ۱ مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین، استفاده از مدل‌های ریاضی به‌عنوان یک روش ساده در تخمین سطح برگ به‌صورت تابعی از پارامترهای رشد معرفی شده است (kiynaz et al., 2016)

$$LAI = \frac{a \cdot \exp^{-a(x-b)(c)}}{(1 + \exp^{-a(x-b)})^2} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، a: میزان چرخش منحنی و یک ضریب ثابت می‌باشد، b: مدت زمان پس از کاشت که حداکثر شاخص سطح برگ اتفاق می‌افتد و c: یک ضریب ثابت می‌باشد. پس از برازش مدل، متغیرهای فوق با روند شاخص سطح برگ مثل حداکثر شاخص سطح برگ، به‌صورت حل عددی به‌دست آمد.

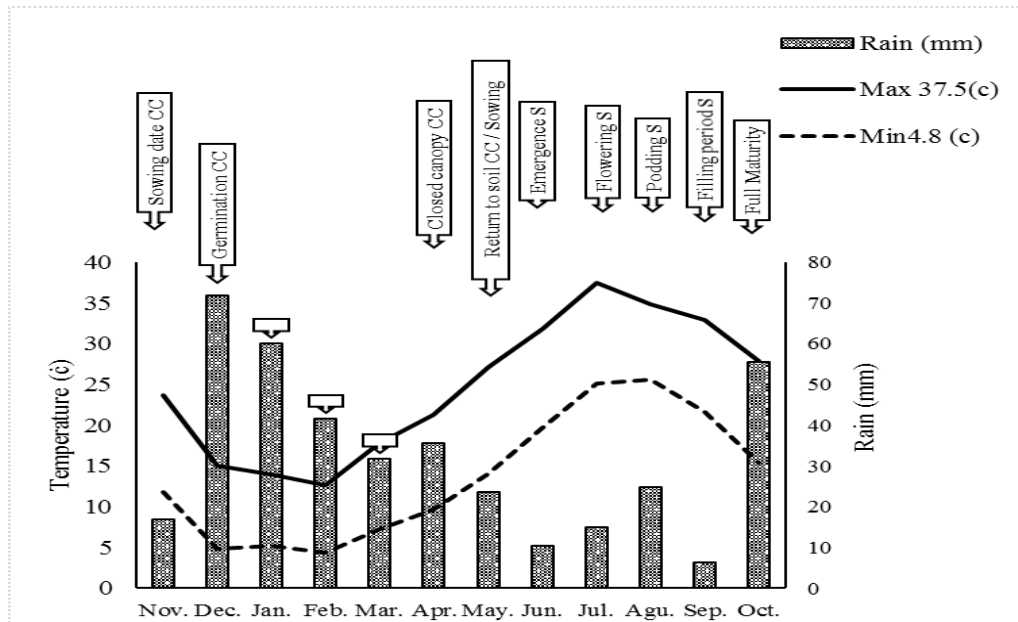
برای توصیف روند تغییرات وزن خشک گیاهان پوششی در طی فصل رشد از مدل سیگموئیدی سه پارامتره (معادله ۲) استفاده شد.

$$Y = \frac{a}{(1 + \exp^{-\frac{x-x_0}{b}})} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، a: حداکثر وزن خشک (گرم در مترمربع)، b: شیب در محل زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر وزن خشک گیاه و X_0 : زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر وزن خشک (روز) بود.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های گیاه پوششی، رقم سویا مورد استفاده و ویژگی‌های خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتیمتر)
Table 1- Some characteristics of the cover crops, soybean variety, and soil properties of the experimental site (0-30 cm depth)

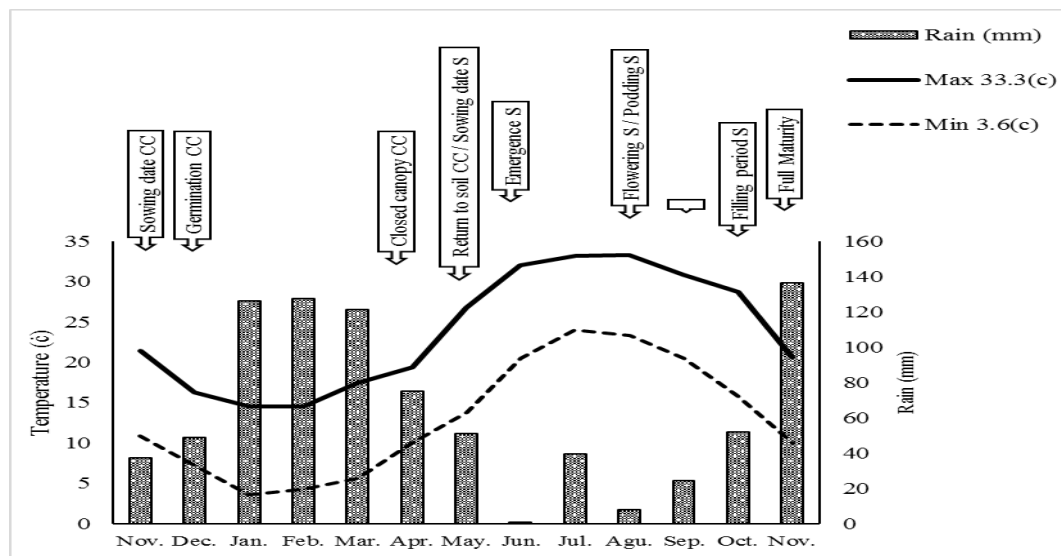
ویژگی‌های گیاه پوششی Properties of cover crop					
گیاه پوششی Cover crops	نام علمی Scientific name	خانواده Family	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	بذر توصیه‌شده در هکتار Seed recommended (kg.ha ⁻¹)	قوة نامیه Seed vigour (%)
تریتیکاله Triticale	<i>Triticosecale wimackx</i>	Poaceae گندمیان	44.80	150	90
یولاف زراعی Common oat	<i>Avena sativa L.</i>	Poaceae گندمیان	26.50	133	95
یونجه یک‌ساله Alfalfa	<i>Medicago scutellata L.</i>	Fabaceae بقولات	12.78	40	95
اسپرس Sain foin	<i>Onobrychis sativa L.</i>	Fabaceae بقولات	22.90	40	90
کلزا Canola	<i>Brassica napus L.</i>	Brassicaceae شب بو	4	10	85
پرکو Perko	<i>Brassica.sp.L.var.sensolata</i>	Brassicaceae شب بو	5	8	85
ویژگی‌های خاک Soil properties					
بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیترژن قابل جذب Available nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)
رسی لومی Loam clay	7.23	0.7	0.14	11	180
شناسنامه رقم دی پی ایکس Properties of DPX variety					
متوسط عملکرد (دانه) Average of grain yield (kg.ha ⁻¹)	تراکم کاشت Plant density (1000 plants.ha ⁻¹)	درصد روغن دانه Oil percentage of seed	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	طول دوره رشد Length of growth period (day)	نوع رقم Variety type
3300	200	20	2000-2200	150	DPX



شکل ۱- تغییرات دما و بارش طی فصل رشد گیاهان پوششی و سویا در سال اول

Fig. 1- Variation in temperature and precipitation during the cover crops and the soybean growth season in the first year

سویا گیاه پوششی
CC: Cover Crop, S: Soybean



شکل ۲- تغییرات دما و بارش طی فصل رشد گیاهان پوششی و سویا در سال دوم

Fig. 2- Variation in temperature and precipitation during the cover crops and the soybean growth season in the second year

سویا گیاه پوششی
CC: Cover Crop, S: Soybean

سطح برگ در گیاهان پوششی مورد مطالعه متفاوت بود (شکل ۳). حداکثر شاخص سطح برگ گیاهان پوششی در سال اول بیشتر از سال دوم بود. در بین گیاهان پوششی مورد پژوهش در سال اول، بیشترین و

تغییرات شاخص سطح برگ و وزن خشک گیاهان پوششی در طی زمان حداکثر شاخص سطح برگ و زمان رسیدن به حداکثر شاخص

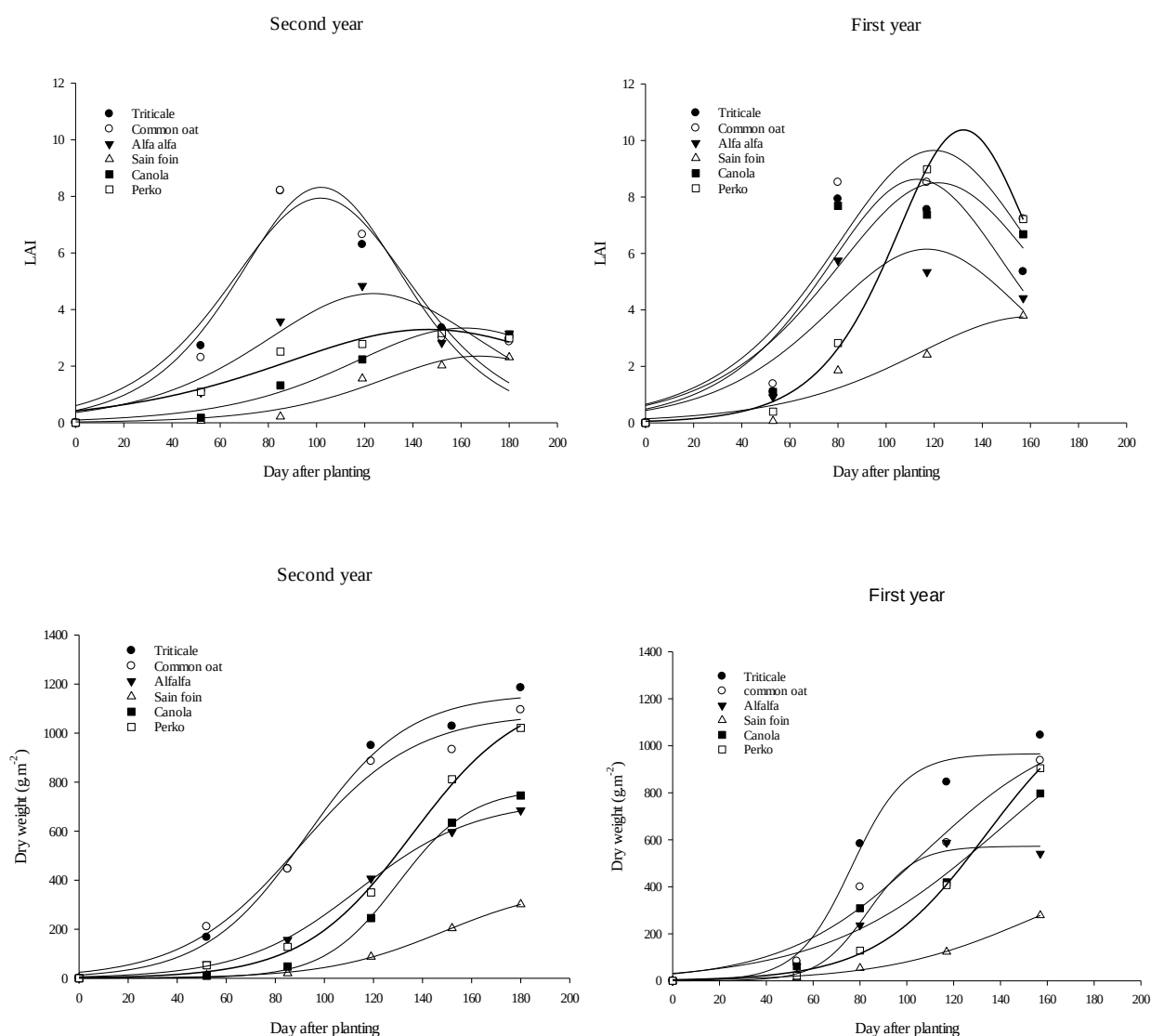
به تأخیر در بستن تاج پوشش این گیاه و آلودگی بیشتر به علف‌های هرز در این تیمار گردید (نتایج نشان داده نشد). بین سطح برگ، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه همبستگی بالایی وجود دارد (Karamanos & Gimenez, 1991). به نظر می‌رسد که مجموعه این عوامل در کاهش رشد و تولید ماده خشک توسط گیاه اسپرس مؤثر بوده است. به‌طور کلی، بررسی تغییرات سطح برگ و وزن خشک گیاه پوششی نشان می‌دهد که در سال اول آزمایش، شرایط برای رشد گیاهان پوششی مختلف مناسب‌تر بوده است (البته برخی از گیاهان پوششی مانند اسپرس در هر دو سال وضعیت مطلوب و قابل قبولی نداشتند). احتمالاً دلیل این امر، کاهش بارندگی در زمان جوانه‌زنی (در دسامبر (آذرماه) سال دوم، میزان بارندگی ۴۸/۸ میلی‌متر نسبت به سال اول که ۷۱/۸ میلی‌متر بود حدود ۵۰ درصد کاهش داشت) و رشد اولیه گیاه پوششی و همچنین وجود بقایای گیاهی در سطح کرت‌های آزمایشی در سال دوم آزمایش می‌باشد که باعث تأخیر در سبز شدن و به‌طور کلی، کاهش رشد گیاهان پوششی در سال دوم گردیده است.

علف‌های هرز غالب مزرعه سویا در دو سال آزمایش شامل گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*)، گوش بره (*Phlomis fruticosa*)، خربزه وحشی (*Cucumis melo* L.)، خرفه (*Portulaca villosa*)، پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis*)، شیرتیغ (*Sonchus asper*)، تاج خروس خوابیده (*Amaranthus blitoides s.watson*)، گاو چاق کن (*Sonchus arvensis*)، دم روباهی (*Alopecurus* sp.)، درمنه (*Artemisia* sp.)، شاه‌تره (*Famaria officinalis*) و چسبانک (*Setaria faberil Hernem*) بود. تغییرات وزن خشک علف‌های هرز در طی فصل رشد سویا تحت تأثیر نوع گیاه پوششی در سال اول و دوم آزمایش متفاوت بود. به‌طور کلی، با گذشت زمان، قابلیت بقایای گیاهان پوششی در مهار علف‌های هرز نمایان‌تر شد. در سال اول آزمایش در مرحله آخر نمونه‌برداری (۷۱ روز پس از کاشت سویا)، تأثیر بقایای دو گیاه پوششی تریتیکاله و یولاف زراعی در مقایسه با سایر بقایای گیاهان پوششی و همچنین شاهد در مهار علف‌های هرز قابل توجه بود، این در حالی بود که کمترین کارایی در مهار علف‌های هرز در بقایای یونجه یک‌ساله (۲۰۸/۱۳) گرم بر مترمربع در سال اول و ۱۸۷/۹۴ گرم بر مترمربع وزن خشک علف‌های هرز و اسپرس (۲۱۳/۸۶) گرم بر مترمربع در سال اول و ۲۱۸/۷۷ گرم بر مترمربع وزن خشک علف‌های هرز مشاهده شد.

کمترین شاخص سطح برگ به‌ترتیب در پرکو (۱۰) و اسپرس (۳) و در سال دوم در یولاف زراعی (۸) و اسپرس (۲) دیده شد. همچنین در بین گیاهان پوششی مختلف، بیشترین زمان تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ (b) در هر دو سال (به‌ترتیب با میانگین ۱۶۰ و ۱۶۸ روز) در گیاه اسپرس مشاهده شد (جدول ۲). کمترین زمان تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نیز در هر دو سال در گیاه تریتیکاله با ۱۱۳ و ۱۰۲ روز پس از کاشت مشاهده شد (جدول ۲). روند تغییرات ماده خشک در گیاهان پوششی مختلف طی زمان در هر دو سال از تابع سیگموییدی تبعیت کرد (شکل ۳ و جدول ۳). به‌طور کلی، در سال اول آزمایش، حداکثر ماده خشک تولیدشده توسط گیاهان پوششی (به‌استثنای تریتیکاله و یونجه یک‌ساله) بیشتر از سال دوم بود. در گیاهان پوششی تریتیکاله و یونجه یک‌ساله، زمان مورد نیاز برای رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر تجمع ماده خشک (X50) در سال اول کمتر از سال دوم آزمایش بود (جدول ۳). در گیاهان پوششی یولاف زراعی و کلزا، زمان مورد نیاز برای رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر تجمع ماده خشک در سال اول بیشتر از سال دوم آزمایش بود و مقدار عددی این پارامتر در گیاهان پوششی اسپرس و پرکو در سال‌های اول و دوم آزمایش به هم نزدیک بود. به‌طور کلی، در بین گیاهان پوششی مختلف، بیشترین مقدار تجمع ماده خشک در سال اول در کلزا و یولاف زراعی (به‌ترتیب با ۱۲۹۸ و ۱۱۰۷ گرم در مترمربع) و در سال دوم در پرکو و تریتیکاله (به‌ترتیب با ۱۱۷۰ و ۱۱۶۱ گرم در مترمربع) مشاهده شد (جدول ۳). کمترین مقدار تجمع ماده خشک نیز در هر دو سال در اسپرس (در سال اول و دوم به‌ترتیب ۳۸۱ و ۵۲۲ گرم در مترمربع که در سال اول تقریباً ۵۰ درصد وزن خشک تریتیکاله و ۳۵ درصد وزن یولاف زراعی، کلزا و پرکو و کمی کمتر از یونجه یک‌ساله و در سال دوم تقریباً ۵۰ درصد وزن خشک یونجه یک‌ساله و کلزا و ۳۵ درصد وزن تریتیکاله، یولاف زراعی و پرکو دیده شد (جدول ۳) که دلیل آن شاید به‌خاطر وزن خشک بالاتر علف‌های هرز در کرت اسپرس در هر دو سال باشد (عدم رقابت گیاه پوششی اسپرس برای مهار علف‌های هرز) که باعث رقابت بیشتر علف‌های هرز با سویا شده بود (شکل ۳). همچنین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر تجمع ماده خشک (X50) در این دو سال به‌ترتیب و به‌طور متوسط در ۱۵۳ و ۱۴۹ روز بعد از کاشت حاصل شد (جدول ۳). به‌طور کلی، اسپرس در مقایسه با سایر گیاهان پوششی، درصد و سرعت سبز شدن پایین‌تری داشت، این امر منجر

دوم آزمایش، بیشترین فراوانی علف هرز در تیمار بقایای گیاه پوششی اسپرس مشاهده شد. به استناد نتایج مربوط به تغییرات سطح برگ و وزن خشک گیاه پوششی (شکل ۳ و جداول ۲ و ۳)، سطح برگ و وزن خشک این گیاه در مقایسه با سایر تیمارهای گیاه پوششی کمتر بود که علت آن به درصد و سرعت سبز شدن پایین، تأخیر در بستن تاچ‌پوشش و در نهایت، کمتر بودن سطح برگ و وزن خشک این گیاه در مقایسه با سایر گیاهان پوششی ارتباط داده شد.

نکته قابل توجه در شکل ۴ و مقایسه تغییرات وزن خشک علف‌های هرز در نمونه‌برداری آخر این بود که در شاهد، حداکثر وزن خشک علف‌های هرز ثبت‌شده در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۲۱۳/۸۶ و ۳۱۰/۶۴ گرم در مترمربع بود (تقریباً در سال دوم دو برابر سال اول)، اما مقایسه وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای تحت کاشت گیاهان پوششی در سال اول و دوم آزمایش تقریباً مشابه بود. این امر حاکی از پتانسیل بالای گیاهان پوششی (صرف نظر از نوع آن) در مهار علف‌های هرز در مقایسه با شاهد در گذر زمان است. در سال



شکل ۳- تغییرات شاخص سطح برگ و وزن خشک گیاه پوششی در طی زمان در سال اول و دوم آزمایش

Fig. 3- Changes in leaf area index and dry weight of cover crops over time in the first and second years of the experiment

جدول ۲- ضرایب مدل غیرسیگموئیدی برازش داده‌شده به تغییرات شاخص سطح برگ گیاهان پوششی مختلف در دو سال مورد آزمایش
Table 2- The coefficients of a non-sigmoid model were applied to adjust for changes in leaf area index across different cover crops during a two-year experimental period

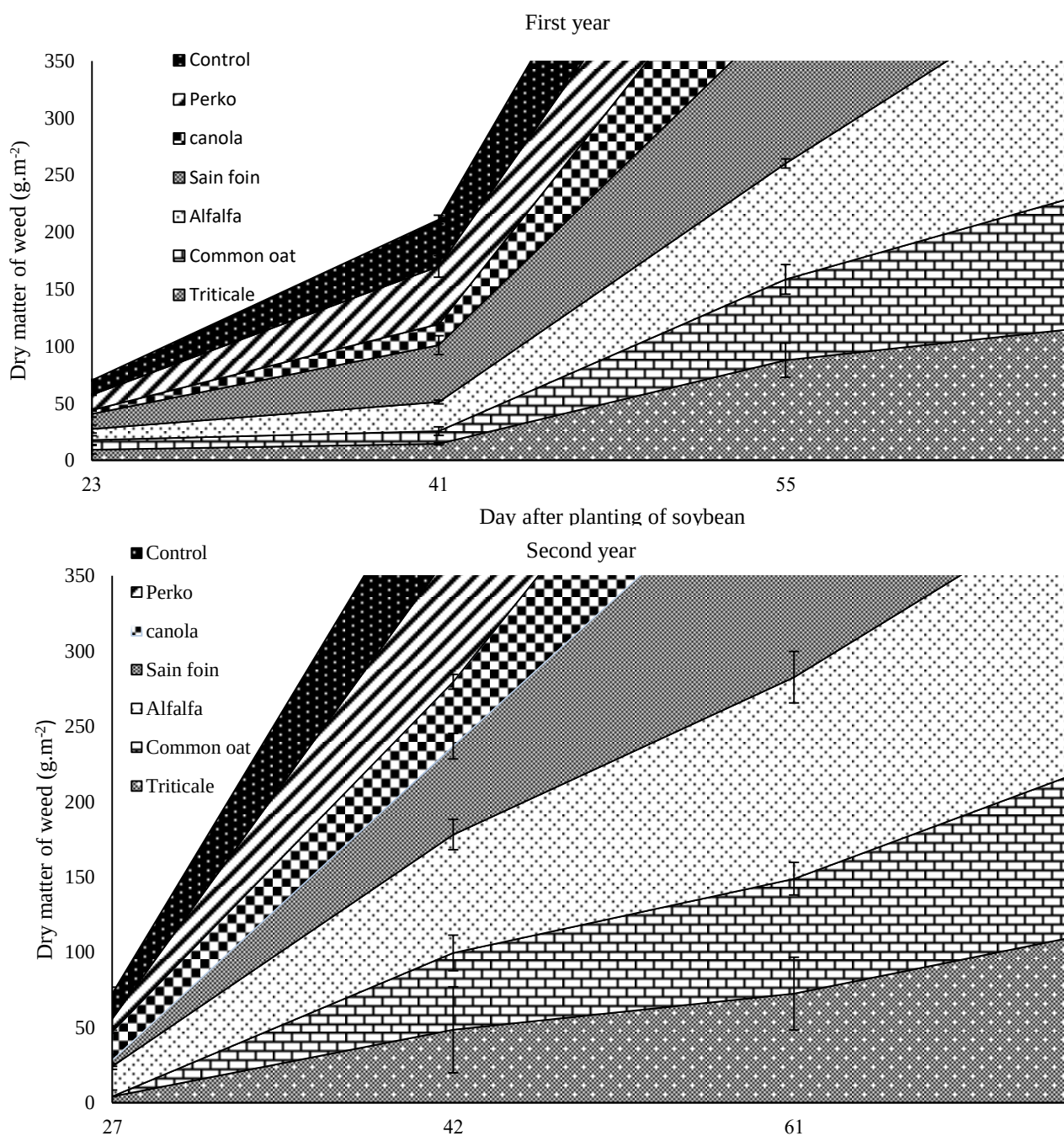
گیاه پوششی Cover crop	سال اول First year			سال دوم Second year			ضریب تبیین R^2
	حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	حداکثر شاخص سطح برگ b	زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ c	حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	حداکثر شاخص سطح برگ b	زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ c	
تریتیکاله Triticale	8.62	112.99±11.14	922.13±230.19	7.93	101.68±6.72	822.92±126.49	0.93
یولاف زراعی Common oat	9.64	119.92±12.24	1145.70±295.42	8.32	101.85±6.04	785.14±118.91	0.94
یونجه یکساله Alfalfa	6.15	116.95±12.92	721.07±198.00	4.56	123.59±8.81	581.59±102.24	0.92
اسپرس Saint foin	3.75	160.09±38.19	520.99±315.14	2.35	167.44±10.03	272.24±56.55	0.98
کنرا Canola	8.50	121.59±14.13	1039.9±304.22	3.34	161.45±5.63	441.13±45.92	0.99
پژگو Perko	10.37	132.15±1.02	828.23±27.93	3.29	146.67±10.60	571.65±92.78	0.97

LAI_{max} : حداکثر شاخص سطح برگ؛ b: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ (روز)؛ c: ضرایب معادله؛ R^2 : ضریب تبیین
 LAI_{max} : maximum leaf area index, b: time to reach the maximum leaf area index (day), c: coefficients of equation, R^2 : Explication coefficient

جدول ۳- ضرایب مدل سیگموئیدی برازش داده شده به تغییرات وزن خشک گیاهان پوششی مختلف در دو سال مورد آزمایش
Table 3- The parameters of the sigmoid model were estimated to fit the variations in dry weight observed across various cover crops during two experimental years

Cover crop	سال اول First year				سال دوم Second year			
	شیب در محل زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر وزن خشک		ضرب تینین		شیب در محل زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر وزن خشک		ضرب تینین	
	Wmax	X ₅₀	R ²	R ²	Wmax	X ₅₀	R ²	R ²
تربیکااله Triticale	966.64±72.67	11.56±4.81	0.99	0.99	1161.07±57.28	20.76±3.76	0.99	0.99
یولاف زراعی oat Commone	1107.84±315.78	30.00±12.70	0.98	0.98	1080.41±70.42	23.85±5.22	0.99	0.99
یونجه یکساله Alfalfa	572.62±35.27	10.30±4.79	0.99	0.99	724.72±15.14	23.73±1.21	0.99	0.99
سیرس Sain foin	522.46±197.26	31.15±6.03	0.99	0.99	381.91±21.19	23.77±1.65	0.99	0.99
کلزا Canola	1298.10±1110.75	37.96±21.75	0.98	0.98	775.21±12.96	14.96±0.76	0.99	0.99
پرکو Perko	1241.97±130.63	23.60±2.58	0.99	0.99	1170.76±74.40	22.24±2.53	0.99	0.99

W_{max}: maximum dry weight (g.m⁻²), b: slope at site time to reach 50% of maximum dry weight of plant, X₀: time to reach 50% of maximum dry weight (days), R²: Explanation coefficient



شکل ۴- تغییرات وزن خشک علف‌های هرز در طی فصل رشد سویا در تیمارهای مختلف گیاه پوششی

Fig. 4- The trend of weed dry matter throughout the soybean growth season under various cover crop treatments

می‌دهد که چهار گیاه پوششی تریتیکاله، یولاف زراعی، کلزا و پرکو در مقایسه با یونجه یک‌ساله و اسپرس (از خانواده نخود) ماده خشک بیشتری تولید کردند و این حجم بالای تولید بقایا توسط این گیاهان می‌تواند دلیل این رخداد باشد. در این راستا، خوجملی و همکاران

در سال دوم آزمایش، کمترین وزن خشک علف‌های هرز در کلیه مراحل نمونه‌برداری در بقایای گیاهان خانواده گندمیان (تریتیکاله و یولاف زراعی) مشاهده شد و از این جنبه، گیاهان خانواده شب‌بو (کلزا و پرکو) در رتبه دوم قرار گرفتند. داده‌های مندرج در جدول ۳ نشان

نسبت کربن به نیتروژن بالایی است (۸۲ به ۱).

عملکرد و اجزاء عملکرد سویا

در سال اول آزمایش، اثر گیاهان پوششی بر همه خصوصیات مورد بررسی به‌جز شاخص برداشت معنی‌دار نبود. در این سال، اثر مدیریت علف‌هرز بر میانگین تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار و بر تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه غیرمعنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل تیمار گیاه پوششی و مدیریت علف‌هرز بر میانگین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد غیرمعنی‌دار شد (جدول ۴). در سال دوم آزمایش، اثر گیاهان پوششی بر تعداد دانه در هر غلاف و عملکرد سویا معنی‌دار و بر سایر صفات غیرمعنی‌دار بود. اثر مدیریت علف‌هرز بر میانگین تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد سویا معنی‌دار و بر صفات تعداد دانه در هر غلاف غیرمعنی‌دار شد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین اثرات متقابل گیاهان پوششی و مدیریت علف‌های هرز بر صفات مورد مطالعه وجود نداشت (جدول ۴).

تعداد غلاف در بوته

بررسی میانگین تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر مدیریت علف‌های هرز (شکل ۵) نشان داد که مقدار عددی این صفت در تیمار وجین علف‌های هرز (در سال اول و دوم به‌ترتیب ۲۸ و ۲۷ غلاف در بوته) بیش از تیمار عدم وجین علف‌های هرز (در سال اول و دوم به‌ترتیب ۲۴ و ۲۳ غلاف در بوته) بود. اکبری و همکاران (Akbari et al., 2011) نیز در آزمایش‌های خود نشان دادند که با مدیریت علف‌های هرز، تعداد غلاف در بوته نخود افزایش یافت، به‌طوری‌که در تیمار دو مرحله وجین علف‌های هرز، تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد ۲۸ درصد افزایش داشت. ون آکر و همکاران (Van Acker et al., 2017) اظهار داشت که تعداد غلاف در بوته مهم‌ترین و حساس‌ترین جزء عملکرد دانه بوده و در شرایط رقابت با علف‌های هرز قرار می‌گیرد. کاربر و همکاران (Karbor et al., 2020) در مطالعه واکنش لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به داخل علف‌های هرز اظهار کردند که کمترین تعداد غلاف در بوته و همچنین تعداد دانه در غلاف در شاهد عدم وجین مشاهده شد.

(Khojamli et al., 2018) تولید ماده خشک زیاد را از خصوصیات یک گیاه پوششی مطلوب برشمردند، زیرا بقایای گیاه پوششی به‌صورت یک مانع فیزیکی عمل کرده و علاوه‌بر جلوگیری از نفوذ نور، مانع خروج سریع گیاهچه علف‌هرز از سطح خاک می‌شوند. ردی (Reddy, 2001) نیز حجم زیاد زیست‌توده تولیدشده توسط گیاهان پوششی را عامل اصلی کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در طی فصل رشد سویا عنوان کرد. همچنین طبق گزارش‌آقاپور و همکاران (Aghpour et al., 2020)، بیشترین وزن خشک و تراکم علف‌های هرز در تیمار گیاه پوششی ماشک و خلر (بقولات) دیده شد که به‌دلیل ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک تولیدشده کمتر نسبت به خانواده گرامینه (*Poaceae*) و شب‌بوئیان (*Brassicaceae*)، نقش مهمی در نفوذ نور به سطح زمین و ایجاد شرایط مساعد برای تحریک جوانه‌زنی بذرهای علف‌های هرز و افزایش رشد گیاهچه‌های آن داشته است. یکی از دیگر دلایل کاهش کارایی بقایای گیاهان پوششی یونجه یک‌ساله و اسپرس، علاوه‌بر تولید ماده خشک کمتر، ممکن است به دوام کمتر بقایای این دو گیاه در سطح خاک مرتبط باشد. یکی از فاکتورهای مهم مؤثر در سرعت تجزیه بقایای گیاهی توسط ریزجانداران به‌ویژه در هفته‌های اول پس از قطع گیاهان پوششی، نسبت کربن به نیتروژن آن‌ها است (Cabrera, 2005). به نظر می‌رسد که پایین بودن نسبت C/N در دو گیاه یونجه یک‌ساله و اسپرس، نقش مهمی در تند شدن فرآیند تجزیه و دوام کمتر بقایای این دو گیاه در سطح خاک داشته باشد. نسبت C/N در بقایای بقولات در مرحله رسیدگی بین ۹:۱ تا ۲۵:۱ متغیر بوده و به‌طور متوسط کمتر از ۲۰:۱ می‌باشد (Reeves, 1994); این درحالی است که نسبت C/N در گیاهان خانواده غلات مانند یولاف سیاه (*Avena fatua*)، چاودار و گندم، ۳۶:۱ گزارش شده است (Clark, 2007). در آزمایشی دیگر، خوجملی و همکاران (Khojamli et al., 2018) نتیجه گرفتند که دو گیاه ماشک گل خوشه‌ای و شبدر برسیم با سایر تیمارها به‌دلیل توانایی قابل توجه این گیاهان در تثبیت بیولوژیک نیتروژن و تقویت خاک و همچنین سرعت تجزیه بالاتر بقایای این گیاهان به‌دلیل پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن آن‌ها، نقش مؤثری در بهبود رشد و استقرار سریع‌تر ذرت کاشته شده در بقایای این گیاهان دارند. برخلاف این دو گیاه، چاودار علاوه‌بر عدم توانایی در تثبیت بیولوژیک نیتروژن، دارای

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد و اجزاء عملکرد سویا در سال اول و دوم تحت تأثیر گیاهان پوششی و مدیریت علف‌هرز
Table 4- The analysis of variance results for soybean yield and its components during the first and second years, considering the impact of cover crops and weed management practices

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سال اول First year				سال دوم Second year			
		تعداد غلاف در بوته Numbers of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Numbers of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100-seed (g)	عملکرد دانه Yield grain (kg.ha ⁻¹)	تعداد غلاف در بوته Numbers of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100-seed (g)	عملکرد دانه Yield grain (kg.ha ⁻¹)
بلوک Block	2	16.48	0.05	17.29	1202365.180	28.10	0.004	8.84	234507.151
مدیریت علف هرز Weed management	1	198.42**	0.27 ^{ns}	2.33 ^{ns}	3572883.433**	126.15*	0.008 ^{ns}	26.25*	1391183.489**
خطای اصلی Error A	12	9.66	0.03	4.83	132849.171 ^{ns}	12.09	0.01	4.26	211707.786
گیاه پوششی Cover crop	6	15.27 ^{ns}	0.04 ^{ns}	2.94 ^{ns}	348953.937 ^{ns}	47.21 ^{ns}	0.03*	3.54 ^{ns}	525899.638*
گیاه پوششی × مدیریت علف‌هرز Cover crop × weed management	6	13.58 ^{ns}	0.05 ^{ns}	4.17 ^{ns}	181617.940 ^{ns}	25.61 ^{ns}	0.003 ^{ns}	1.48 ^{ns}	144402.140 ^{ns}
خطا Error	14	7.86	0.07	2.47	110659.90	20.24	0.006	3.33	125178.24
ضریب تغییرات CV (%)	-	10.55	13.62	9.65	15.29	17.71	6.21	7.33	16.88

* و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
*, **, 5 and 1%, respectively, a significant, ns: No significant difference



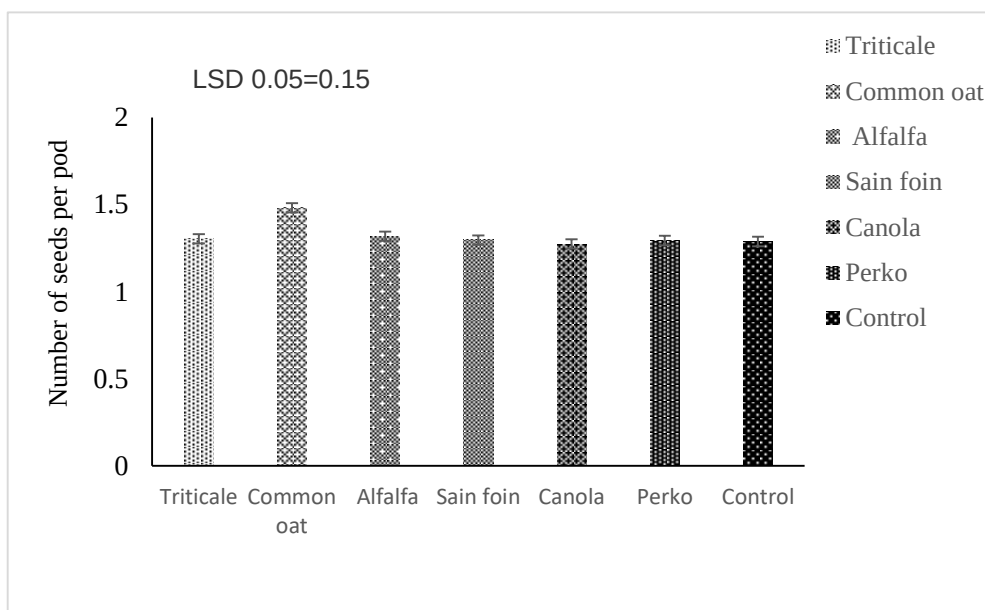
شکل ۵ - مقایسه میانگین تعداد غلاف در هر بوته در سال اول (A) و سال دوم (B) تحت تأثیر مدیریت علف‌هرز
 Fig. 5- Comparison of the average number of pods per plant in the first year (A) and the second year (B) under the influence of weed management

تعداد دانه در غلاف

همان‌گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است، فقط اثر ساده نوع گیاه پوششی در سال دوم بر صفت تعداد دانه در غلاف از لحاظ آماری معنی‌دار شده است. در این سال، بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار بقایای گیاه پوششی یولاف زراعی با (۱/۴۸ عدد در غلاف) مشاهده شد. سایر تیمارها از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند و به‌طور متوسط (۱/۳۰ عدد دانه در غلاف) در آن‌ها به ثبت رسید (شکل ۶). تعداد دانه در غلاف، یک ویژگی ارثی است و به‌میزان کمی تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد (Board & Ghiday et al., 2017; Harville, 1998). با وجود اینکه در برخی مطالعات بر کاهش تعداد دانه در غلاف در اثر رقابت علف‌های هرز تأکید شده است، اما در این مطالعه تداخل علف هرز بر صفت تعداد دانه در غلاف اثر معنی‌داری نداشت (Agha Alikhani et al., 2005; Lak et al., 2005). در آزمایش خواجه نبی و همکاران (khajehnavi et al., 2021)، مقایسه کلیه تیمارها با شاهد وجین و عدم وجین نشان داد که تیمارهای گیاهان پوششی تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد دانه پوک در طبق آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) نسبت به شاهد وجین و عدم وجین نداشتند.

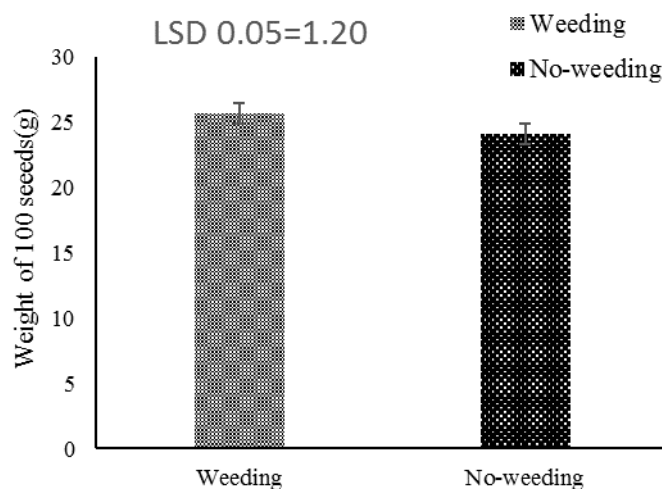
وزن ۱۰۰ دانه

در هر دو سال آزمایش، اثر ساده گیاه پوششی و اثر متقابل گیاه پوششی در مدیریت علف‌های هرز بر وزن ۱۰۰ دانه سویا اثر معنی‌داری نداشت. این صفت در سال اول تحت تأثیر اثر ساده مدیریت علف هرز قرار نگرفت؛ ولی در سال دوم، وزن ۱۰۰ دانه سویا در تیمار وجین علف‌های هرز با میانگین ۲۵ گرم، به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار عدم وجین علف‌های هرز با میانگین ۲۴ گرم بود (شکل ۷). شرتلیف و جانستون، رزلند و همکاران (Shurtleff & Johnston, 2002) و (Rosaland et al., 2000) ه‌ترتیب در لوبیا و سویا گزارش نمودند که وزن تک دانه صفتی است که بیشتر از ویژگی‌های ژنتیکی متأثر می‌گردد تا شرایط محیطی، همچنین تأثیر شرایط محیطی نیز می‌تواند به دامنه تغییرات آن عامل بستگی داشته باشد. هم‌راستا با نتایج این تحقیق کاربر و همکاران (Karbor et al., 2020) اظهار داشتند که وزن ۱۰۰ دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف تراکم، نوع گیاه و روش مدیریت گیاهان پوششی قرار نگرفت. همچنین کاشت گیاهان پوششی ماشک گل خوشه‌ای، یونجه، شبدر برسيم و چاودار در بین ردیف‌های ذرت اثری بر وزن هزار دانه ذرت در مقایسه با شاهد (بدون گیاه پوششی) نداشت (Mohammadi & Ghobadi, 2010).



شکل ۶- مقایسه میانگین تعداد دانه در هر غلاف سویا در سال دوم تحت تأثیر گیاهان پوششی مورد مطالعه

Fig. 6- Mean comparison for the number of seeds per pod in soybean during the second year, emphasizing the impact of cover crop variations



شکل ۷- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه سویا تحت تأثیر مدیریت علف‌هرز در سال دوم مطالعه

Fig. 7- Mean comparison of the weight of 100 soybean seeds under the influence of weed management in the second year of the study

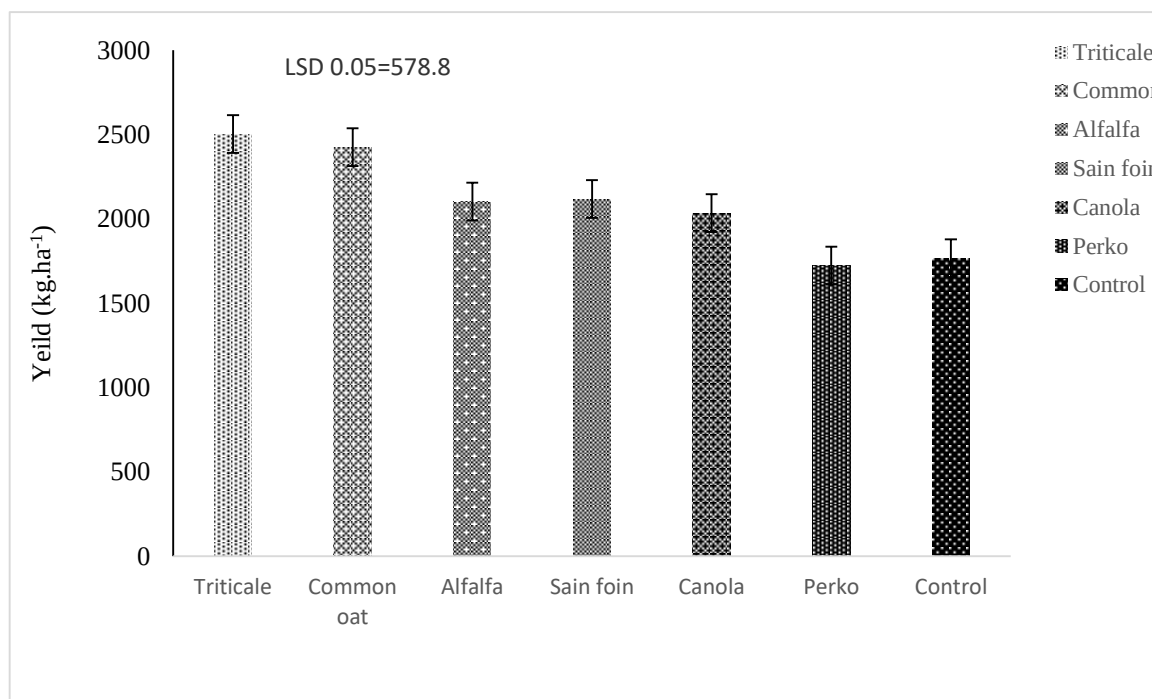
عملکرد دانه

به‌ترتیب با ۲۴۶۷ و ۲۲۷۸ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از شرایط عدم وجین علف‌های هرز (در سال اول و دوم به‌ترتیب با ۱۸۸۴ و ۱۹۱۴ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۹). در سال دوم، اثرات ساده گیاه پوششی بر عملکرد دانه نیز اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). به‌نحوی

در سال اول و دوم آزمایش، اثر ساده مدیریت علف‌های هرز بر عملکرد دانه سویا اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). به‌طور کلی، عملکرد دانه سویا در شرایط وجین علف‌های هرز (در سال اول و دوم

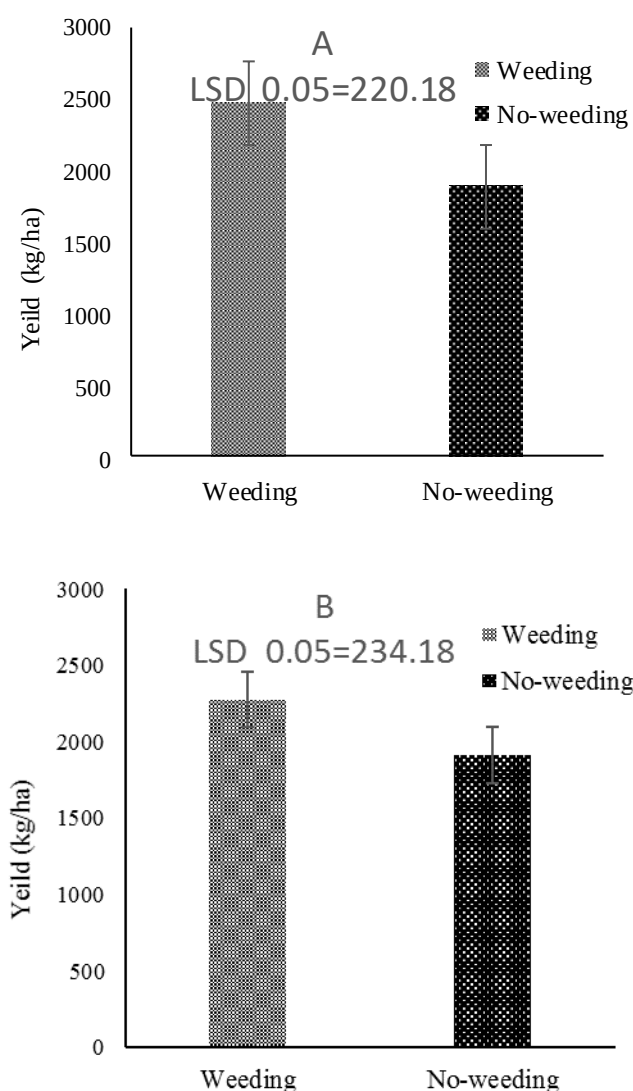
رطوبت خاک (Ahmadvand & Hajinia, 2015) می‌توانند افزایش عملکرد گیاهان زراعی را در پی داشته باشند. از این رو تشخیص این مورد که بهبود عملکرد ناشی از استفاده از گیاهان پوششی با تأثیر بر کدام عامل ایجاد شده است، بسیار مشکل خواهد بود (Abdalla et al., 2019). براساس نتایج این تحقیق، حداکثر ماده خشک توسط گیاهان پوششی خانواده شب‌بوئیان (کلزا و پرکو) < گندمیان) تریتیکاله و یولاف) < بقولات (اسپرس و یونجه یک‌ساله) بود. از لحاظ تأثیر بر علف‌های هرز، کارایی بقایای گیاهان پوششی خانواده گندمیان و شب‌بوئیان مشابه هم و بالاتر از بقایای گیاهان پوششی خانواده نخود بود. بنابراین، دلیل پایین بودن عملکرد سویا در بقایای گیاه پوششی پرکو و تا حدودی کلزا را باید در عوامل دیگر جستجو کرد. یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که در انتخاب گیاه پوششی لازم است که مد نظر قرار گیرد، این است که گیاه پوششی انتخاب‌شده اثرات فیتوتوکسینی بر گیاه زراعی اصلی نداشته باشد (Khojamli et al., 2018).

که بیشترین عملکرد دانه سویا در بقایای گیاه پوششی تریتیکاله و یولاف به‌ترتیب با ۲۵۰۳ و ۲۴۲۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. کمترین عملکرد دانه سویا نیز در بقایای گیاه پوششی پرکو و تیمار بدون گیاه پوششی به‌ترتیب با ۱۷۲۳ و ۱۷۶۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۸). همان‌گونه که در نتایج مشاهده می‌شود، در سال اول آزمایش عملکرد دانه سویا در تیمارهای مختلف بقایای گیاهان پوششی اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، ولی در سال دوم آزمایش تیمارهای بقایای گیاهان پوششی خانواده گرامینه (یولاف زراعی و تریتیکاله) نسبت به سایر تیمارهای گیاهان پوششی عملکرد بهتری داشتند. گیاهان پوششی به دلایل مختلفی می‌تواند در بهبود عملکرد گیاهان زراعی مؤثر باشند. براساس منابع موجود، این گیاهان با تأثیر بر جمعیت علف‌های هرز (Fadaei Shahri et al., 2011)، غنی‌سازی خاک از طریق تثبیت نیتروژن (Dabighi et al., 2015)، افزایش کربن، نیتروژن، زیست‌توده میکروبی خاک (Lamei et al., 2014; Harvani et al., 2014; McDaniel et al., 2014)، یا حفظ



شکل ۸- مقایسه میانگین عملکرد سویا سال دوم تحت تأثیر گیاهان پوششی مورد مطالعه

Fig. 8- Mean comparison of soybean yield during the second year under the influence of the studied cover crops in the second year of the study



شکل ۹- مقایسه میانگین عملکرد سویا در سال اول (A) و سال دوم (B) تحت تأثیر مدیریت علف‌هرز
 Fig. 9- Comparison of average soybean yield in the first year (A) and the second year (B) under the influence of weed management

امر، اثرات دگرآسیبی بقایای منداب (*Eruca sativa*) و خردل علوفه‌ای (*Brassica juncea* L.) (هر دو از خانواده شب‌بویان) روی ذرت به اثبات رسیده است (Khojamlı et al., 2018). در این میان، بقایای گیاهان پوششی خانواده بقولات شامل اسپرس و یونجه یک‌ساله، علی‌رغم تولید ماده خشک کمتر و آلودگی بیشتر علف‌هرز در مقایسه با سایر گیاهان پوششی، توانستند در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی، عملکرد سویا را ارتقاء دهند. در این راستا، حمزه‌ای و بوربور (Hamzei & Borbor, 2014) نیز اظهار داشتند که بقایای گیاهان پوششی ماشک گل خوشه‌ای و خلر (*Lathyrus latifolius*)

ال مسری و همکاران (El-Masry et al., 2015) اظهار داشتند که گیاهان تیره شب‌بو به دلیل داشتن ترکیبات فنولی و گلوکوزیلاتی، دارای اثرات دگرآسیبی هستند. این ترکیبات در طی فصل رشد این گیاهان در بافت‌های آن‌ها تجمع یافته و در زمان تجزیه بقایای گیاهی به صورت ترکیبات سمی از جمله ایزوتیوسیانات‌ها، نیتریل‌ها، تیوسیانات‌ها، اپی‌تیونیتریل‌ها و اکسازولیلین‌ها به محیط آزاد می‌شوند. به نظر می‌رسد که علی‌رغم کارایی بالای گیاهان این خانواده در تولید ماده خشک و همچنین مهار مطلوب علف‌های هرز توسط آن‌ها، بقایای این گیاهان روی سویا اثر دگرآسیبی داشته است. در تأیید این

باعث حدود ۱۰ درصد افزایش عملکرد دانه ذرت نسبت به عدم کشت گیاه پوششی شدند.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که گیاهان پوششی مختلف توانایی های متفاوتی در تولید زیست توده و کاهش وزن خشک علف های هرز دارند، اما در عین حال می توانند عملکرد سویا را نیز تحت تأثیر خود قرار دهند. در بین گیاهان مورد مطالعه در این تحقیق، استفاده از گیاهان پوششی خانواده گرامینه (تریتیکاله و یولاف زراعی) نسبت به سایر گیاهان، اثرات مهارکنندگی مطلوب تری بر جمعیت علف های هرز داشتند و در ادامه اثر منفی بر عملکرد سویا باقی

نگذاشتند، از این رو استفاده از مالچ بقایای این گیاهان در جهت بهبود عملکرد سویا قابل توصیه می باشد. با توجه به مزایای بسیار زیاد استفاده از گیاهان پوششی که معمولاً اثرات مفید آن در درازمدت ظاهر می شود، به کارگیری این گیاهان در الگوی کاشت می تواند در دستیابی به کشاورزی پایدار مفید واقع شود.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از تمامی اساتیدی که در انجام پژوهش فوق یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

References

1. Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R. M., & Smith, P. (2019). A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology*, 25(8), 2530-2543. <https://doi.org/10.1111/gcb.14644>
2. Abidin, O.A., Zhou, X.M., Cloutier, D., Coulman, D.C., Faris, M.A., & Smith, D.L. (2000). Cover crop and inter row tillage for weed control in short season maize (*Zea mays*). *European Journal of Agronomy*, 12, 93-102. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00049-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00049-0)
3. Aboutalebian, M., & Mazaheri, D. (2011). Effects of hilling time and cover crop on weed control and potato yield. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42, 255-264. (In Persian with English Abstract)
4. Abril, A., Baleani, D., Casado-Murillo, N., & Noe, L. (2007). Effect of wheat crop fertilization on nitrogen dynamics and balance in the Humid Pampas, Argentina FAO. *Production Year Book*, 51, 209. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.005>
5. Agha Alikhani, M., Yadavi, A.R., & Modares Sanavi, S.A.M. (2005). The critical period of weed control of colorado bean (*Phaseolus vulgaris*) in Lordegan. *The Scientific Journal of Agriculture*, 28(1), 111-126. (In Persian with English Abstract)
6. Aghpour, M., Siahmargui, A., Zinli, A., Qarakhlo, J., & Kazemi, H. (2020). Investigating the efficiency different cover crops and their elimination methods on weed populations and yield of maize forage (single-cross 444 variety). *Journal of Crop Production*, 13(1). (In Persian with English Abstract)
7. Ahmadvand, G., & Hajinia, S. (2015). The effect of cover crops and different tillage systems on soil physical properties and potato yield. *Electronic Journal of Crop Production*, 8(4), 163-182. (In Persian with English Abstract)
8. Akbari, A., Zand, E., & Mousavi, K. (2011). Evaluation the effect of row space and weed management approaches on biomass, chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield, and yield components in Khorramabad dryland conditions. *Crop Production*, 3(3), 1-21. (In Persian with English Abstract)
9. Arab-Ameri, R. (2008). Prediction of wheat grain and remobilization. M.Sc. Thesis, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agricultural Sciences and Plant Breeding, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian with English Abstract)
10. Armechin, R.B., Seco, M.H.P., Caintic, P.S., & Milleza, E.J.M. (2005). Effect of leguminous cover crops on the growth and yield of abaca (*Musa textilis* Nee). *Industrial Crops and Products*, 21, 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.028>
11. Baets, S., de, Poesen, J.J., Meersmans, J.J., & Serlet, L.L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, 85, 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009>
12. Behdani, M., & Fallahi, H.R. (2015). Saffron: Technical Knowledge-based on Reserch Approaches. Birjand

- University Press, Birjand, Iran. 412 pp. (In Persian)
13. Berglund, D.R. (2002). Soybean Production Field Guide for North Dakota and Northwestern Minnesota. In H. Kandel (Ed.), NDSU Extension Agronomist, 172. 172 p.
14. Board, J.E., & Harville, B.G. (1998). Late-planted soybean yield response to reproductive source/sink stress. *Crop Science*, 38, 763-771. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800030024x>
15. Brust, J., Claupein, W., & Gerhards, R. (2014). Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection*, 63, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.04.022>
16. Cabrera, M.L., Kissel, D.E., & Vigil, M.F. (2005). Nitrogen mineralization from organic residues. Research opportunities. *Journal of Environmental Quality*, 34, 75-79. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0075>
17. Clark, A.J. (2007). Managing Cover Crops Profitably (Third Ed.). Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD. 244 pp..
18. Dabighi, K., Esfandiar, F., & Aine band, A. (2015). Comparison of different green manure biomass the effects of different green manure on soil fertilization and weed density reduction. *Journal of Plant Production*, 39(2), 1-10. (In Persian with English Abstract)
19. Elmasry, R.R., Messiha, N.K., El-Rokieks, K.G., Ahmed, S.A., & Mohamed, S.A. (2015). The allelopathic effect of *Eruca sativa* Mill. Seed powder on growth and yield of *Phaseolus vulgaris* and associated weeds. *Current Science International*, 4(4), 485-490.
20. Fadaei Shahri, M.R., Najafi, H., Abdullah Yan Nougabi, M., & Mirhadi, M.H. (2011). Effect of winter cereal cover crop mulches on weeds of sugar beet (*Beta Vulgaris* L.). *Iranian Journal of Weed Science*, 7(1), 59-66. (In Persian with English Abstract)
21. Gabriel, J.L., & Quemada, M. (2011). Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertilizer fate. *European journal of Agronomy*. 34, 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.11.006>
22. Ghdyryan, R., Soltani, A., ZainAli, A., Chelated Arabi, M., & Bakhshandeh, A. (2011). Evaluation of nonlinear regression models for analyzing growth. *Electronic Journal of Crop Production*, 4, 55-77. (In Persian with English abstract)
23. Ghiday, T., Amogne, A., Tefera, G., & Malede, M. (2017). Heritability, genetic advance and path coefficient analysis for grain yield and its component characters in soybean (*Glycine max* L. Merrill). *International Journal of Agricultural Science and Research*, 3, 1-11. <https://doi.org/10.20431/2454-6224.0305001>
24. Haidarzadeh, S., & Jalilian, J. (2014). Changes in yield of cover crops in intercropping with safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under different fertilizer systems and weed infestation. *Crops Field in Research*, 1(2), 38-49'. (In Persian with English Abstract)
25. Hamzei, J., & Borbor, A. (2014). Effect of different soil tillage methods and cover crops on yield and yield components of corn and some soil characteristics. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(3), 35-47. (In Persian with English Abstract)
26. Karamanos, A.J., & Gimenez, C. (1991). Physiological factors limiting growth and yield of faba beans. *Options Mediterraneennes-Seminaires*, 10, 79-90.
27. Karbor, S., Rastgoo, M., Hajmohammadnia Ghalibf, K., & Ghanbari, A. (2020). Effects of rye (*Secale cereale* L.) and berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) cover crops management on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at the presence and absence of weeds. *Iranian Weed Science Society*, 16(2), 45-56. (In Persian with English Abstract)
28. Khajenabi, K., Siahmarguee, A., Dadashi, M.R., Alizzadeh Dehkordi, P., & Zeinali, E. (2021). Effect of type and planting date of cover crops on weed population structure, morphological characteristics and seed yield of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Journal of Agroecology*, 12(4), Serial Number 46, 741-761. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V13I2.83169>
29. Khojamli, R., Siahmarguee, A., Zeinali, E., & Soltani, A. (2018). Effect of different winter cover crops on the dynamics of weed populations and corn growth (Single 704). *Journal of Agroecology*, 11(2), 110-132. (In Persian with English Abstract)
30. Kiynaz, S., karadavut, U., & Ertek A. (2016). Leaf area estimation of the sugar beet at different irrigation regimes. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Resources*, 3(1), 8-16.
31. Kruidhof, H.M., Bastiaans, L., & Kropff, M.J. (2008). Ecological weed management by cover cropping: Effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research*, 48(6), 492-502.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00665.x>

32. Kuo, S., & Jellum, E.J. (2002). Influence of winter cover crop and residue management on soil nitrogen availability and corn. *Agronomy Journal*, 94, 501-508. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.5010>
33. Lak, M.R., Dorei, H.R., Ramazani, M.K., & Hadizadeh, M.K. (2005). Determination of the critical period of weed control in chitti bean (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Water and Soil Science*, 9(3), 161-169. (In Persian with English Abstract)
34. Lamei Harvani, J., & Esmaeli Aftabdari, M. (2014). Effect of green manure grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and common vetch (*Vicia sativa* L.) on some characteristics of soil and yields of potato and wheat in crop rotation. *Soil Science Researches (Soil and Water Sciences)*, 28(4), 607-616. (In Persian with English Abstract)
35. Latifi, N. (1994). Soybean Cultivation, Agriculture, Physiology, Uses (Translation). Publications University of Mashhad, Mashhad, Iran. 282 p. (In Persian)
36. Masjedi, A.R., & Fathi-Moghadam, M. (2009). A laboratory study of vegetation effects on preventing soil erosion in water catchments. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 1(3), 1-21. (In Persian with English Abstract)
37. McDaniel, M., Tiemann, L., & Grandy, A.S. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24, 560-570. <https://doi.org/10.1890/13-0616.1>
38. Mohammadi, G.R., & Ghobadi, M.E. (2010). The effects of different autumn-seeded cover crops on subsequent irrigated corn response to nitrogen fertilizer. *Agricultural Sciences*, 1(3), 148-153. <https://doi.org/10.4236/as.2010.13018>
39. Mohtasham Amiri, A., Dadashi, M.R., & Faraji, A. (2018). Investigation of affecting factors on soybean (*Glycine max* L.) pod abnormality in Gorgan. *Journal of Crop Ecophysiology*, 46(12), 337-354. (In Persian)
40. Mukhtarpour, H., Behram, R., & Ziadlou, P. (2005). Agriculture in Golestan Province (Technical Instructions for Crop and Garden Production in Golestan Province). Publications of Robat Amu Meszaman Agricultural Jihad of Golestan Province, Gorgan, Iran. 159 p. (In Persian)
41. Najafi, H. (2013). Effects of autumn and spring sown cover crops on weed control in sugar beet. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14, 370-382. (In Persian with English Abstract)
42. Namdari, T., Ahmadvand, G., & Jahedi, A. (2010). Allelopathic effect of barley, ray and canola cover crops on weed suppression of potato. In: Third Iranian Weed Science Congress, Babolsar, Iran, 11-14 February, p. 251-254. (In Persian with English abstract)
43. Nazari, S., Zafarian, F., Farahmandfar, E., Zand, E., & Bagheri Shirvan, M. (2012). Corn-weed interaction under different sowing dates of cover crops. *Iranian Journal of Weed Science*, 8, 63-78. (In Persian with English Abstract)
44. Parvizi, P., Najafi, H., & Gafar Zadeh, M. (2013). Survey of cover crop elimination date and type effect on sugar beet weeds. In Proceedings of the Fifth Weed Science Community, Tehran, Iran, 10-13 September 2013, pp. 200-207. (In Persian with English Abstract).
45. Pullaro, T.C., Marino, P.C., Jackson, D.M., Harrison, H.F., & Keinath, A.P. (2006). Effects of killed cover crop mulch on weeds, weed seeds, and herbivores. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.021>
46. Rahemi Karyzaky, A. (2005). Prediction of solar radiation received in pea plants. M.Sc. Thesis, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agricultural Sciences and Plant Breeding, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian with English abstract)
47. Ramos, M.E., Ben.tez, E., Garc.a, P.A., & Robles, A.B. (2010). Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 44, 6-14. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.08.005>
48. Reddy, K.N. (2001). Effects of cereal and legume cover crop residues on weeds, yield, and net return in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 15, 660-668. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2001\)015\[0660:EOCALC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0660:EOCALC]2.0.CO;2)
49. Reeves, D.W. (1994). Cover crops and rotations. In J. L. Hatfield & B. A. Stewart (Eds.), *Advances in Soil Science: Crops Residue Management*. CRC Press Inc. pp. 125-172.
50. Rosaland, A.B., Purcell, L.C., & Vories, E.D. (2000). Short season soybean yield compensation in response to

- population and water regime. *Crop Science*, 40, 1070-1078. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4041070x>
51. Rosario-Lebron, A., Leslie, A.W., Yurchak, V.L., Chen, G., & Hooks, C.R. (2019) Can winter cover crop termination practices impact weed suppression, soil moisture, and yield in no-till soybean. *Crop Protection*, 116, 132-141. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.10.020>
52. Samedani, B., & Montazeri, M. (2009). *Use of Cover Crops in Sustainable Agriculture*. National Plant Protection Research Institute Press, Iran. (In Persian)
53. Shirliffe, S.J., & Johnston, A.M. (2002). Yield density relationships and optimum plant populations in two cultivars of solid-seeding dry bean grown in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, 82, 521-529. <https://doi.org/10.4141/P01-156>
54. Smith, R., Bettiga, L., Cahn, M., Baumgartner, K., Jackson, L.E., & Bensen, T. (2008). Vineyard floor management affects soil, plant nutrition, and grape yield and quality. *California Agriculture*, 62, 184-199. <https://doi.org/10.3733/ca.v062n04p184>
55. Steen Werth, K., & Belina, K.M. (2008). Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40, 359-369. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.006>
56. Uchino, H., Iwama, K., Jitsuyama, Y., Yodate, T., & Nakamura, S. (2009). Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. *Field Crops Research*, 113, 342-351. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.013>
57. Van Acker, R.C., Swanton, C.J., & Weise, S.F. (2017). The critical period of weed control in soybean (*Glycine max*). *Weed Science*, 41, 194-200. <https://doi.org/10.1017/S0043174500076050>
58. Yeganehpur, F., Zehtab Salmasi, S., Abedi, G., Samadivan, F., & Beyginiva, V. (2015). Effects of cover crops and weed management on corn yield. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(2), 178-181. (In Persian with English Abstract)



Evaluation of Environmental Effects of Applied Pesticides on Canola (*Brassica napus* L.), Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.), and Potato (*Solanum tuberosum* L.) Fields in Ali Abad Katool County, Golestan Province by EIQ Model

Zahra Deilam¹, Hossein Kazemi^{2*}, Maral Neiazmoradi³, Javid Gherekholoo²

1. MSc. Student, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
 2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
 3. PhD, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- (* - Corresponding author's Email: hkazemi@gau.ac.ir)

Received: 01-08-2024
Revised: 01-01-2025
Accepted: 22-02-2025
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:

Deilam, Z., Kazemi, H., Neiazmoradi, M., & Gherekholoo, J. (2025). Evaluation of environmental effects of applied pesticides on Canola (*Brassica napus* L.), Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.), and Potato (*Solanum tuberosum* L.) fields in Ali Abad Katool county, Golestan province by EIQ model. *Journal of Agroecology*, 17(1), 61-90. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/Agry.2025.89160.1204>

Introduction

Considering the growth of the human population, limited resources in the agricultural sector, and the urgent need to increase production, it is essential to implement logical and principled pest control measures, with a strong emphasis on protecting the health of farmers, community members, and the environment. The Environmental Impact Quotient (EIQ) can show the risk of different agricultural pesticides by considering the amount of damage to the health of these three components. This study investigated the environmental effects of pesticides used in canola, sugar beet, and potato fields in Aliabad Katool County (Golestan province), during 2021-2022.

Materials and Methods

For this purpose, 21 canola fields, six potato fields, and five sugar beet fields were randomly selected and information related to pesticide spraying, field area, crop rotation, and crop yield with continuous monitoring, face-to-face interviews, and completed questionnaires was collected from farmers. Also, the EIQ values related to the pesticide use in these fields were collected through articles and reliable websites. 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. The amount of environmental damage of each field



©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.2025.89160.1204>

was calculated from the sum of EIQ-FURs of pesticides consumed in that field per hectare. Finally, a classification map of the extent of environmental damage to the studied crops was prepared in Ali Abad Katool county.

Results and Discussion

In general, among the pesticides used in these farms, the highest damage to farm workers is in the group of herbicides related to Gramaxone, in the group of insecticides related to Phosalone, Chlorpyrifos, and Thiacloprid, and in the group of fungicides, Mancozeb, Cyproconazole+Carbendazim, and Tebuconazole. Also, the fungicides Tebuconazole, Cyproconazole+Carbendazim, and Thiophanate-methyl showed more damage to consumers, and the risk of leaching in the environment compared to the group of herbicides, and insecticides. Investigating the pesticides used and damage to the ecological components, two insecticides, Diazinon and Chlorpyrifos, were introduced as the most dangerous pesticides on the organisms of the environment. Based on the average of these damages, or in other words, the EIQ index for each pesticide, Cyproconazole+Carbendazim, Chlorpyrifos and Diazinon, Tebuconazole and Imidaclopride 35 % and Imidaclopride 70 % were identified as the most dangerous pesticides in the studied fields. The highest environmental effect of pesticides per hectare belongs to Mancozeb fungicide with EIQ-FUR equal to 61.72. This fungicide has an average EIQ (25.72) compared to pesticides such as Cyproconazole+Carbendazim, Chlorpyrifos and Diazinon, etc., but due to the high percentage of the effective substance and the amount used in the potato fields of the region (3 liters per hectare), causes the most damage and toxicity to the environment. Also, the increase in the frequency and amount of Trifluralin herbicide consumption in potato fields (4 liters per hectare) has caused it to be introduced as the second most dangerous pesticide in the region. In addition, the insecticides chlorpyrifos (1.5 liters) and diazinon (one liter) and the fungicide methyl thiophanate (one liter) are respectively EIQ-FUR and have a higher environmental effect than other pesticides per hectare unit and therefore more planning should be done in their use or replacement.

Conclusion

The distribution map of the environmental effects of pesticides in the investigated crops showed that most of the canola and sugar beet fields were in the class of low and very low risk, while the potato fields were in the class of medium and high risk. In other words, the environmental effect and pollution caused by potato cultivation has been more than the other two crops. The increase in the consumption of fungicides and herbicides in potato cultivation has led to increased damage to organisms and the environment.

Acknowledgments

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

Keywords: Fungicide, Herbicide, Insecticide

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۶۱-۹۰

بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع کلزا (*Brassica napus* L.)،
چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شهرستان علی‌آباد

کتول استان گلستان با استفاده از شاخص EIQ

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴

چکیده

شاخص تأثیر زیست‌محیطی (EIQ) می‌تواند میزان خطر سموم مختلف کشاورزی را نشان دهد. این مطالعه به بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در ۲۱ مزرعه کلزا (*Brassica napus* L.)، شش مزرعه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و پنج مزرعه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در شهرستان علی‌آباد کتول (استان گلستان) در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. اطلاعات مربوط به سم‌پاشی آفت‌کش‌ها، تناوب زراعی و عملکرد محصول با پیش‌مستمر و مصاحبه چهره‌به‌چهره از کشاورزان جمع‌آوری شد. مقدار اثر محیط زیستی سموم در واحد هکتار (EIQ-FUR)، از حاصل ضرب مقدار EIQ آن‌ها در مقدار ماده مؤثره و مقدار مصرف در واحد هکتار به دست آمد. در نهایت، نقشه طبقه‌بندی میزان آسیب محیط زیستی مزارع تهیه گردید. در میان آفت‌کش‌های مصرف‌شده، بیش‌ترین میزان آسیب به کارگر مزرعه در گروه علف‌کش‌ها متعلق به گراماکسون، در گروه حشره‌کش‌ها مربوط به فوزالن، کلریپریفوس و تیاکلوپراید و در گروه قارچ‌کش‌ها به مانکوزب، سایپروکونازول + کاربندازیم و تبوکونازول تعلق گرفت. همچنین قارچ‌کش‌های تبوکونازول، سایپروکونازول + کاربندازیم و تیوفانات متیل 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 کلریپریفوس را به‌عنوان خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها برای موجودات محیط زیست معرفی کرد. بررسی نقشه‌ها نشان داد که اکثر مزارع کلزا و چغندر قند در طبقه آسیب کم و خیلی کم قرار گرفته‌اند، درحالی‌که مزارع سیب‌زمینی در طبقه آسیب محیط زیستی متوسط و زیاد قرار دارند. به عبارتی، اثر زیست‌محیطی و آلودگی ناشی از کشت سیب‌زمینی بیش‌تر از دو محصول دیگر بود.

واژه‌های کلیدی: حشره‌کش، علف‌کش، قارچ‌کش

مقدمه

آفت‌کش‌ها به‌طور کلی به حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، کنه‌کش‌ها، حلزون‌کش‌ها، نماتدکش‌ها و جونده‌کش‌ها اطلاق می‌شوند. نکته حائز اهمیت این است که این ترکیبات شیمیایی تنها آفات را از بین نمی‌برند، بلکه برای موجودات زنده دیگر مضره‌دار و بی‌مهره، از جمله خود انسان به‌خصوص از لحاظ پایداری در طبیعت دارای

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

تأثیرات نامطلوب هستند (Dehghani et al., 2012). سموم شیمیایی نقش مهمی را در تولید محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کنند. این نهاده‌ها باعث شده‌اند که با هزینه‌های کم‌تر، محصول بیش‌تری از هر هکتار از زمین‌های کشاورزی برداشت شود و همچنین بازده نهاده‌های نیروی کار و سرمایه افزایش یابد. پیامدهای منفی کاربرد این نهاده‌ها در بخش کشاورزی روی سلامتی انسان، محیط زیست، کیفیت آب‌های زیرزمینی در گذشته مورد غفلت قرار گرفته است؛ که این امر دستیابی به توسعه پایدار بخش کشاورزی را با تهدید روبه‌رو کرده است (Molaei et al., 2017). این سموم شیمیایی به دو طریق بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارند: اول، اثرهای مضر سموم شیمیایی بر سلامت کاربران سموم؛ دوم، تأثیر باقی‌مانده سموم شیمیایی در محصولات غذایی بر سلامت مصرف‌کنندگان. سروکار داشتن با این مواد شیمیایی اساساً سمی، از جمله آماده کردن و پاشیدن، نگهداری و انبار کردن، خطرهای زیادی برای کشاورزان و مزرعه‌داران و نگهدارندگان سموم در پی دارد (Barghi et al., 2017). هزینه‌ها و خطرات سلامتی ناشی از استفاده نالایم و بیش از حد آفت‌کش‌ها، به‌علت آلودگی محصولات کشاورزی، افزایش توسعه مقاومت علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها به آفت‌کش‌ها و تأثیر آن بر فرآورده‌های تولید کشاورزی، محیط زیست و سلامت انسان‌ها بسیار بالا است، زیرا کشاورزان در معرض آفت‌کش‌ها، هزینه‌های زیادی را ناشی از بستری شدن خود و خانواده خود، خدمات پزشکی و از دست دادن روزهای کاری را متحمل می‌شوند (Balali & Mohammadi, 2019; Sookhtanlou & Allahyari, 2021).

تماس مستقیم با سموم شیمیایی و حشره‌کش‌ها، موجب عوارض مزمن شده و در طولانی‌مدت انسان را به بیماری‌های متعددی مبتلا می‌کند. استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها روی زنان باردار و جنین تأثیرات جبران‌ناپذیری را دارد. هر ساله سه میلیون نفر در جهان با سموم مختلف مسموم می‌شوند که ۲۰۰ هزار نفر آن‌ها جان خود را از دست می‌دهند (Barzegar, 2019). در دو دهه گذشته، روش‌های متعددی برای ارزیابی خطرات آفت‌کش‌ها معرفی شده است. روش‌ها معمولاً کیفی یا نیمه‌کمی هستند و شامل رتبه‌بندی و وزن خطر، سمیت و عوامل مواجهه با مواد فعال آفت‌کش می‌شوند. مقایسه خطرات بین آفت‌کش‌ها برای تصمیم‌گیرندگان مفید است. این مقایسه‌ها علاوه بر ارزیابی خطر آفت‌کش‌های خاص، برای سازمان‌های نظارتی مانند آژانس نظارتی ایالت متحده آمریکا، مورد نیاز است.

باین‌حال، اگر قرار است از طرح‌های رتبه‌بندی برای مقایسه خطرات ناشی از آفت‌کش‌ها استفاده شود، باید از نظر مفهومی و ریاضی درست باشند (Peterson & Schleier, 2014). روش رتبه‌بندی آفت‌کش‌ها یکی از روش‌های قابل کاربرد در این زمینه است که بر مبنای معادلات ساده جبری ایجاد شده‌اند. اعتبار اکثر این مدل‌های جبری به کامل و در دسترس بودن داده‌های ورودی وابسته می‌باشد. از جمله مدل‌های جبری که به‌منظور برآورد سمیت خطرات زیست‌محیطی سموم دفع آفات شیمیایی از آن‌ها استفاده می‌شود، می‌توان مدل‌های متکالف^۱، پوکر^۲ و شاخص تأثیر زیست‌محیطی (EIQ)^۳ را نام برد. روش EIQ اساساً یک معادله ریاضی است که تأثیر محیط زیستی را برای مواد فعال آفت‌کش‌ها 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 & Schleier, 2014).

در کالیفرنیا بیش از ۹۰ درصد از آفت‌کش مصرف‌شده در مزارع، مستعد بادبردگی هستند. بر این اساس، اندازه‌گیری آفت‌کش‌های مصرفی در گردوغبار فرش مربوط به ۸۹ ساکن کالیفرنیا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۴، همبستگی معنی‌داری با نزدیکی به مکان‌های کاربرد آفت‌کش‌های کشاورزی داشته است (Gunier et al., 2001). در تحقیقی با استفاده از روش آزمایشگاهی، میزان غلظت سموم کشاورزی در بافت عضله ماهیان ایستگاه‌های جنوب غربی دریای خزر (آستارا، هشتر، انزلی، کیشهر و رامسر) اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش بیانگر آلودگی ماهیان دریای خزر به سموم کشاورزی بوده است (Vaezzadeh et al., 2008). گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی نشان می‌دهد که مصرف سموم کشاورزی در ایران بسیار بالا بوده و حدود دو برابر کشورهای اروپایی است (Norouzi & Shahbazi, 2011). اهمیت بالای اثر مخرب سموم موجب شده است که تلاش‌های زیادی در جهت کاهش مصرف سموم انجام بگیرد.

مقایسه اثرات محیط زیستی کاربرد آفت‌کش‌ها در نظام‌های سنتی، نیمه‌مکانیزه و مکانیزه تولید چغندرقد (*Beta vulgaris* L.)

1- Metcalf

2-Pesticide Occupational and Environmental Risk Indicator

3- Environmental Impact Quotient

4- Geographic Information System

مقایسه با سایر آفت‌کش‌ها، اثرات منفی بیش‌تری بر سلامت انسان و محیط زیست داشته‌اند (Bues et al., 2004). در بررسی مخاطرات زیست‌محیطی تولید پنبه در منطقه آنگان در ترکیه، نقش اثرات بوم-شناختی سموم مصرفی در شاخص EIQ از دو بخش کارگران مزرعه و مصرف‌کننده، بیش‌تر بوده است (Turgut & Erdogan, 2005).

بررسی و ارزیابی میزان اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در کشت کلم‌چینی (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) و سامانه‌های GAP^۱ و سامانه‌های زراعی رایج در شمال شرقی تایلند نشان داد که ۱۵ ماده فعال در سامانه GAP و ۱۹ ماده فعال در سامانه رایج وجود داشته است. در این مطالعه، میانگین اثر محیط زیستی مزارع GAP برابر با ۸۷/۴ و سامانه رایج ۱۳۶/۸۷ به دست آمده است، بنابراین کشت کلم چینی به‌روشن GAP در مقایسه با سامانه رایج، میزان اثر محیط زیستی کم‌تری داشته است (Prasopsuk et al., 2020). در مطالعه دیگری، اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در کشت گل داوودی (*morifolium* *Chrysanthemum x*) در منطقه بالادست دریاچه هانگ ژانگ در شهر دالات چین ارزیابی شد. طبقه‌بندی EIQ-FUR مزارع در این مطالعه نشان داد که ۸/۲ درصد از مزارع اثر محیطی خیلی کم، ۴۸ درصد متوسط، ۳ درصد اثر محیطی زیاد و ۴۱ درصد مقدار خیلی زیاد برخوردار بودند (Thanh Thuan & Hang, 2023). در بررسی اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم شهرستان بندرترکمن مشخص شد که تعداد پنج مزرعه آبی گندم، EIQ-FUR بالاتر از ۲۵ داشته و به‌عنوان بوم‌نظام‌هایی با اثر محیط زیستی متوسط شناخته شدند (Niazmoradi et al., 2024). ارزیابی اثرات کاربرد آفت‌کش‌ها در میان مزارع کاکائو (*Theobroma cacao* L.) 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 (Ansah, 2019).

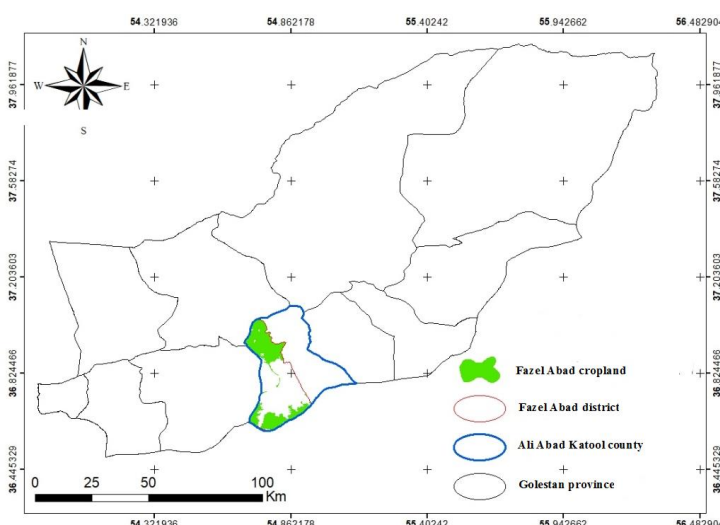
بررسی نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از روش EIQ می‌تواند به‌عنوان یک معیار کمی به کشاورزان و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی کمک کند تا بتوانند مقایسات مختلف را انجام داده و آفت‌کش‌هایی را در نظام تولید خود بگنجانند که ضمن داشتن میزان آسیب محیط زیستی کم‌تر، بیش‌ترین میزان تولید را در

در استان خراسان نشان داد که افزایش مکانیزاسیون منجر به افزایش آسیب‌های محیط زیستی مزارع می‌گردد؛ اما در مقایسه با میزان تولید عملکرد مزارع، به‌ازای تولید یک تن عملکرد اقتصادی چغندر قند، میزان آسیب محیط زیستی مزارع مکانیزه ۳۳ درصد کم‌تر از مزارع سنتی بود (Bazrgar et al., 2013). در ارزیابی محیط زیستی سموم مصرفی در مزارع پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) استان گلستان مشخص شد که مصرف سموم، بیش‌ترین تأثیر را در بین سه مؤلفه اصلی شاخص EIQ، بر بخش بوم‌شناختی (شامل اجزای آبزیان، زنبورها، موجودات مفید و پرندگان) داشت. در بین حشره‌کش‌های مورد استفاده، پروفنفوس (کواکرون) و تیودیکارپ (لاروین) دارای بیش‌ترین اثر محیطی مزرعه‌ای بودند (Arefi et al., 2017). محققان گزارش کردند که در ایران، سه استان شمالی به‌ازای یک واحد تن محصول زراعی، بیش‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی را متقبل می‌شوند و بیش‌ترین مخاطرات ناشی از مصرف حشره‌کش‌هاست (Moeinoddini et al., 2014). نتایج مطالعه‌ای در مزارع هشتگرد نشان داد که در میان حشره‌کش‌های مصرفی، سمیت بالقوه ایمیداکلوپراید (کنفیدور) و تأثیر محیطی مزرعه‌ای مالاتیون بیش‌تر است. همچنین بیش‌ترین خطر در هر سه جزء کارگران مزرعه، مصرف‌کننده و بوم‌شناختی مربوط به سم ایمیداکلوپراید بود که این سم به‌عنوان خطرناک‌ترین حشره‌کش عمده مصرفی مطرح شد (Yadollahi Nooshabadi et al., 2017). در پژوهشی، قارچ‌کش کاربندازیم پرمخاطره‌ترین سم مصرفی در بین سموم مورد استفاده در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) در شهرستان مشهد شناخته شد. همچنین کمترین میانگین وزنی شاخص EIQ مزرعه‌ای در کاربرد علف‌کش‌ها و بیش‌ترین مقدار این شاخص در کاربرد قارچ‌کش‌ها گزارش شد (Maleki et al., 2015). در تحلیل ادراک از خطر سلامتی آفت‌کش‌های شیمیایی و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی در میان کشاورزان ذرت‌کار استان اردبیل، نتایج نشان داد که علف‌کش توفوردی، خطرناک‌ترین آفت-کش برای کشاورزان محسوب می‌شود (Sookhtanlou & Allahyari, 2021). در تحقیقی در دوره سه ساله در مناطق مدیترانه‌ای اروپا، از دو شاخص Ipest و EIQ در ارزیابی مخاطرات محیط‌زیستی استفاده کرده و سموم قارچ‌کش، علف‌کش و حشره‌کش-های مصرفی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که قارچ‌کش‌ها در

واحد سطح داشته باشند و جایگزین آفت‌کش‌های پرخطر و با سمیت بالا گردند. در بیش‌تر نقاط استان گلستان و به‌خصوص شهرستان علی‌آبادکتول به‌علت بالا بودن میزان بارندگی و هوای مرطوب در بیش‌تر اوقات 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 سطح مزارع مورد مطالعه بالا است. بنابراین هدف این مطالعه، تعیین وضعیت اثرات زیست‌محیطی سموم مصرفی در زراعت گیاهان کلزا (*Brassica napus* L.)، چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول (استان گلستان) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه



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

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

این مطالعه در بخش فاضل‌آباد در شهرستان علی‌آبادکتول در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ 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. این منطقه از بخش‌های شهرستان علی‌آبادکتول در استان گلستان بوده و همسایگان این منطقه از غرب به شهرستان گرگان، از شرق به شهرستان علی‌آبادکتول، از شمال به شهرستان آق‌قلا و از جنوب به استان سمنان منتهی می‌شود (شکل ۱). محصولات عمده این منطقه شامل گندم، جو، کلزا، نخودفرنگی، باقلا، سویا، برنج، ذرت، پنبه، سیب‌زمینی و چغندر قند است. مجموع سطح زیرکشت محصولات پاییزه مورد بررسی در این منطقه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، ۱۴۶۰۰ هکتار بود که در این سطح ۱۳۵۵ هکتار کلزای آبی، ۲۹۸/۴ هکتار کلزای دیم، ۴۱۱ هکتار سیب‌زمینی آبی و ۹۰ هکتار چغندر قند آبی کشت شده بود (Fazel Abad Agricultural Service Center, 2022).

اطلاعات و داده‌های مربوط به کلیه آفت‌کش‌های مصرفی در این مزارع از جمله سموم قارچ‌کش، علف‌کش و حشره‌کش (براساس نوع سم، دفعات سم‌پاشی و غلظت ماده مؤثره) و همچنین میزان عملکرد اقتصادی محصول، مساحت مزارع و نوع نظام کشت، از طریق پایش مستمر، مصاحبه چهره‌به‌چهره با کشاورزان و مدیران مزرعه گردآوری

جمع‌آوری داده‌ها

در این مطالعه، تعداد ۲۱ مزرعه کلزا، شش مزرعه سیب‌زمینی و پنج مزرعه چغندر قند با پراکندگی یکنواخت در جهات مختلف جغرافیایی منطقه جهت ارزیابی تأثیر زیست‌محیطی سموم مصرفی آن‌ها انتخاب و موقعیت آن‌ها با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد.

و برای محاسبات شاخص در نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ ثبت شد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- مشخصات مزارع کلزا، سیب‌زمینی و چغندرقد بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Table 1- Characteristics of canola, potato and sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

محصول Crop	شماره مزرعه Field number	مختصات UTM Coordinate		مساحت Area (ha)	نظام System	تعداد سم‌پاشی Number of sprays	عملکرد Yield (ton.ha ⁻¹)
		X	Y				
کلزا Canola	1	295137	4092573	6	1	3	2.9
	2	300581	4088272	8	1	3	2.2
	3	301465	4089015	5	1	1	2.5
	4	299916	4088809	3	1	4	2.1
	5	302039	4087783	8	1	3	2.5
	6	299997	4087238	2	1	2	2.0
	7	300181	4087338	3	1	2	2.6
	8	294522	4093715	1	2	1	1.5
	9	298723	4098763	3	2	2	1.7
	10	293678	4098678	2	2	2	1.8
	11	293748	4099630	3	2	2	1.4
	12	297537	3087018	10	1	4	2.7
	13	295825	4098756	2	2	4	1.5
	14	302203	4093146	1	1	3	2.9
	15	299231	4093464	1	1	3	1.8
	16	302589	4083643	3	1	5	3.7
	17	295052	4090813	2	1	3	2.6
	18	303257	4087851	2	1	1	2.0
	19	297428	4095225	2	1	2	2.4
	20	302534	4085716	2	1	3	2.2
	21	295975	4089699	2	1	1	1.5
سیب‌زمینی Potato	1	297905	4096026	12	1	4	30
	2	301585	4085060	2	1	4	40
	3	298311	4088557	8	1	4	28
	4	298590	4089752	43	1	4	30
	5	300900	4086500	9	1	3	40
	6	299605	4094886	1	1	3	28
چغندرقد Sugar beet	1	302409	4084450	12	1	4	50
	2	296766	4089981	2	1	6	60
	3	297513	4089929	12	1	2	50
	4	302223	4088009	5	1	2	40
	5	297315	4101154	40	1	3	70

۱: نظام آبی و ۲: دیم

1: Irrigated, 2: Rainfed

محاسبه شاخص‌های EIQ و EIQ-FUR

ارزیابی مخاطرات محیط زیستی 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 است (معادله ۱). 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 آبی و خشکی‌زی (معادله ۴) را نشان می‌دهد (Kovach et al., 1992). بدین ترتیب، مدل EIQ مجموعه اطلاعات اثرات محیط زیستی مصرف آفت‌کش است که به‌صورت یک عدد از طریق معادله جبری ارائه‌شده در زیر محاسبه می‌گردد (معادله ۵) (Bazregar et al., 2013; Kovach et al., 1992; Gios et al., 2022).

$$EIQ_i = (X_1 + X_2 + X_3) / 3 \quad \text{معادله (۱)}$$

$$X1 = C [(DT \times 5) + (DT \times P)] \quad \text{معادله (۲)}$$

سمیت مزم، SY: سیستمیک بودن، F: سمیت برای ماهی ها، L: پتانسیل آب شویی، 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).

$$X2 = [(C \times P \times SY) + (L)] \quad \text{معادله (۳)}$$

$$X3 = [(F \times P) + (T \times P \times 5) + (Z \times P \times 3)] \quad \text{معادله (۴)}$$

$$EIQ_i = \frac{\{C[(DT \times 5) + (DT \times P)] + [(C \times P \times SY) + (L)] + [(F \times P) + (T \times P \times 5) + (Z \times P \times 3)]\}}{3} \quad \text{معادله (۵)}$$

$$EIQ_i = \frac{\{C[(DT \times 5) + (DT \times P)] + [(C \times P \times SY) + (L)] + [(F \times P) + (T \times P \times 5) + (Z \times P \times 3)]\}}{3}$$

در این معادله ها، I: آفت کش مصرفی، DT: سمیت پوستی، C:

جدول ۲- فهرست آفت کش های مصرفی در مزارع بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول، استان گلستان
Table 2- List of pesticides used in fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katoool county, Golestan province

محصول Crop	نام آفت کش Pesticide name	شماره مزرعه Field number	نام آفت کش Pesticide name	شماره مزرعه Field number
کلزا Canola	کربوکسین تیرام Carboxin Tiram	تمامی مزارع All fields	گانوچو Gaucho	3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15
	فولیکور Folicur	1, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19	گالانت سوپر Gallant Super	1, 2, 4, 5, 7, 8, 14
	سلکت سوپر Select Super	3, 9, 10, 12, 13, 16, 20, 21	بیسکایا Byscaya	2, 4, 5, 6
	توپسین ام Topsin M	2, 3, 4, 9, 13, 20	دiazینون Diazinon	12, 16, 17, 20
	مالاتیون Malathion	14, 18, 19	لونتال Lontrel	12, 15
	آلتوکمبی Altocombi	13	سایپر مترین Cypermethrin	15
	تیلت Tilt	20	دورسبان Dursban	8
	فوکوس Focus	11	کونفیدور Confidor	3
	زولون Zolone	6		
	کربوکسین تیرام Carboxin Tiram	تمامی مزارع All fields	سلکت سوپر Select Super	1, 2, 3, 5
چغندر قند Sugar beet	کونفیدور Confidor	1, 3, 4	ریدومیل Ridomil	2, 4
	دسیس Decis	2	سایپر مترین Cypermethrin	2
	دورسبان Dursban	5	دiazینون Diazinon	1
	بتانال پروگرس Betanal Progress	4	فوزیلید فورته Fusilade Forte	1
	توپاس Topas	5		
سیب زمینی Potato	پاراکوات Paraquat	1, 2, 4, 5, 6	دورسبان Dursban	1, 2, 3, 4, 5
	مانکوزب Mancozeb	1, 4, 5, 6	ریدومیل Ridomil	1, 2, 3
	دiazینون Diazinon	1	الیت Alite	3
	ترفلان Treflan	3	رورال تی اس Revral-TS	2

http://www.nysipm.cornell.edu/publication/eiq/files/EI_Q_values04.pdf (Ramezani, 2013). قابل‌دسترس می‌باشد

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 آفت-کش با استفاده از مدل EIQ در وبگاه

جدول ۳- اجزای شاخص محیط زیستی (EIQ) برای آفت‌کش‌های مصرفی در محصولات کلزا، سیب‌زمینی و چغندر قند بخش فاضل‌آباد شهر علی-آباد کتول، استان گلستان

Table 3- Components of Environmental Impact Quotient (EIQ) for pesticides used canola, potato and sugar beet 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	گالانت‌سوپر Gallant Super	هالوکسی‌فوپ-آر متیل‌استر Haloxyl Fop – R Methyl Ester	13.98	4.86	69.00	29.28
	سلکت‌سوپر Select Super	کلتودیم ۱۲٪ Clethodim 12 %	12.00	8.00	31.00	17.00
	لونت‌رال Lontrel	کلوپیرالید Cloparylalid	8.00	8.00	38.35	18.12
	فوکوس Focus	سیکلوکسیدیم Cycloxydim	11.50	4.77	48.01	21.44
	بتانال پروگرس Betanal Progress	فن مدیفام + دس مدیفام Fen Medifam + Des Medifam + Autofomazit	7.10	2.55	43.59	17.75
	فوزیلید فورته Fusilade Forte	فلوآزفوپ پی‌بوتیل Fluazifop-P-Butyl	10.65	3.32	72.15	28.71
	پاراکوات Paraquat	گراماکسون Gramaxone	31.95	6.63	35.91	24.73
	ترفلان Treflan	تری‌فلورالین Trifluralin	9.00	5.50	42.00	18.83
حشره‌کش Insecticide	بازودین Basudin	دiazinon 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
	سایپرمترین Cypermethrin	سایپرمترین Cypermethrin	9.00	4.00	69.00	27.30
	کونفیدور Confidor	ایمیداکلوپراید ۳۵٪ Imidaclopride 35 %	6.90	10.35	87.47	34.90
	بیسکایا Byscaya	تیاکلوپراید ۲۴٪ Thiacloprid 24 %	16.00	13.00	65.00	31.33
	گائوچو Gaucha	ایمیداکلوپراید ۷۰٪ Imidaclopride 70 %	6.90	10.35	87.47	34.90
	زولون Zolone	فوزالون Phosalone	37.50	2.75	58.25	32.80

مالاتیون Malathion	مالاتیون Malathion	9.00	4.50	58.00	23.83
فولیکور Folicur	تیبوکنازول ۲۵٪ Tebuconazole 25%	20.00	31.00	70.00	40.30
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
الیت Alite	فوزتیل آلومینیم Fosetyl aluminium	6.00	4.00	26.00	12.00
قارچ کش Fungicide	پنکونازول Penconazole	12.00	13.00	45.00	22.23
ریدومیل Ridomil	متالاکسیل Metalaxyl	8.10	12.15	36.95	19.07
توپسین ام Topsin M	تیوفانات متیل Thiophanate-Methyl	16.20	15.30	39.95	23.82
مانکوزب Mancozeb	مانکوزب Mancozeb	20.25	8.13	48.79	25.72
رورال تی اس Revral-TS	ایپرودیون Iprodione	16.20	9.10	47.45	24.25
	کاربندازیم Carbendazim	20.00	31.00	117.50	56.17
					18.31

معادله (۶)

$$\text{ingredient} \times \text{RA EIQ}_{\text{FUR}} = \text{EIQ} \times \% \text{ active}$$

که در آن، EIQ-FUR: اثر محیط زیستی در واحد هکتار، EIQ: شاخص تأثیر محیط زیستی آفت کش، RA: میزان مصرف آفت کش در واحد هکتار در مزرعه و ai: درصد ماده مؤثره آفت کش است.

تحلیل مکانی EIQ-FUR

به منظور ترسیم نقشه EIQ در زراعت گیاهان زراعی مورد بررسی در شهرستان، ابتدا یک پایگاه اطلاعاتی شامل مختصات مکانی ثبت شده هر مزرعه و مقدار عددی شاخص در صفحه Excel نسخه ۲۰۱۶ ایجاد شد. سپس لایه های کاربری اراضی کشاورزی و مرز شهرستان در نرم افزار ArcGIS در محیط ArcMap نسخه ۱۰/۸ فراخوانی و شاخص اثر محیط زیستی آفت کش ها برای هر محصول با استفاده از روش شبکه بندی تیسن^۱، به صورت نقشه خروجی گرفته شد. طبقه بندی مقادیر مختلف EIQ-FUR در این مطالعه، براساس کلاس بندی سایت دانشگاه کورنل انجام گردید (Kovach et al., 1992). بدین صورت، مقادیر EIQ-FUR زیر ۲۵ در طبقه خیلی کم، ۲۵-۵۰

در این مطالعه، اعداد مربوط به اثر محیط زیستی آفت کش های مصرفی از آخرین نسخه به روز رسانی شده مربوط به این سایت در سال ۲۰۲۳ و همچنین منابع علمی استفاده شد (Niazmoradi et al., 2018; Hoseini, 2018)؛ (جدول ۳).

با توجه به اینکه خطر محیطی یک آفت کش تابعی از میزان سمیت آن و مقداری است که در تماس با محیط، جاندار و یا انسان قرار می گیرد، بنابراین برای کمی کردن اثرات محیطی سموم آفت کش در مزارع، پس از محاسبه شاخص تأثیر محیط زیستی (اثر بالقوه)، میزان اثر محیطی هر آفت کش در واحد هکتار (EIQ-FUR)، با توجه به میزان مصرف و ماده مؤثره محاسبه و آفت کش های پرخطر برای سلامت انسان و محیط زیست شناسایی گردید (Moinoddini et al., 2014). برای اندازه گیری میزان شاخص محیط زیستی یک سم در واحد سطح (هکتار) در یک مزرعه، از حاصل ضرب مقادیر EIQ در میزان ماده مؤثره هر آفت کش و مقدار مصرف آفت کش در مزرعه استفاده شد. در نهایت، مقادیر EIQ-FUR برای هر آفت کش به کار رفته در هر مزرعه، برای تعیین اثر محیط زیستی تولید هر محصول در مدیریت آفات، جمع زده شدند (معادله ۶).

شدن بذور گواهی شده با آن و کاربرد این بذور در تمامی مزارع مورد مطالعه، بالاترین فراوانی مصرف در میان آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع کلزا را داشتند. این قارچ‌کش سیستمیک بوده و بذور را از حمله بیماری‌های قارچی و حتی جوندگان و حشرات محافظت می‌کند. به دلیل بارندگی و رطوبت بالای منطقه در سال مورد مطالعه، توجه کشاورزان به استفاده و تنوع بخشیدن به سموم قارچ‌کش بیش‌تر از آفت‌کش‌های دیگر بود. بیماری‌های قارچی شایع در منطقه، فوما یا ساق سیاه (*Phomalingam*) و اسکروتینایی ساقه (*Sclerotinia sclerotiorum*) است که در طی این تحقیق جهت مهار آن‌ها از قارچ‌کش‌های فولیکور یا تبوکونازول (۰/۵ تا ۱ لیتر در هکتار)، توپسین‌ام (تیوفانات متیل) (۰/۵ تا ۰/۶ لیتر در هکتار)، آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، تیلت (پروپیکونازول) استفاده می‌گردید (شکل ۲).

یکی از روش‌های کنترل مدیریتی آفات اوایل فصل رشد کلزا، مخصوصاً کک‌های نباتی (*Psylliodes chrysocephala*)، ضدعفونی بذر با سموم سیستمیک می‌باشد که تا حدود ۷ تا ۲۱ روز پس از سبز شدن، مهار این آفت را تأمین می‌کند (*Kihanian et al., 2023*). برای مهار این آفت در ابتدای فصل رشد کلزا در منطقه، از حشره‌کش گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) به میزان ۸۴ تا ۱۱۲ گرم در هکتار استفاده شده بود. برای مهار سایر آفات در طول دوره رشد از جمله سوسک گرده خوار سیاه (*Oxythyre acinctella*)، سوسک گرده‌خوار بور (*Epicometis hirta*) و کرم برگ‌خوار (*Sopdoptera spp.*) از حشره‌کش‌های بیسکایا (تیاکلوپراید) (۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌لیتر در هکتار) در چهار مزرعه، دیازینون (یک تا دو لیتر در هکتار) در چهار مزرعه، مالاتیون (یک لیتر در هکتار) در سه مزرعه، و حشره‌کش‌های کونفیدور یا ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد (۰/۵ لیتر در هکتار)، سایپروکونازول (یک لیتر در هکتار)، فوزالن یا زولون (یک تا دو لیتر در هکتار) و دورسبان (کلروپیریفوس) (۱ تا ۱/۵ لیتر در هکتار) هرکدام در یک مزرعه استفاده شده بودند. به طور کلی، بیش‌ترین میزان مصرف آفت‌کش‌ها در مزارع کلزا به ترتیب مربوط به کربوکسین تیرام، فولیکور (تباکونازول) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) بود (شکل ۲).

شاخص EIQ

بررسی شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع کلزای منطقه مطالعاتی نشان داد که قارچ‌کش آلتوکمبی (سایپروکونازول +

در طبقه کم، ۵۰-۱۰۰ در طبقه متوسط، ۱۵۰-۱۰۰ در طبقه زیاد و بیش از ۱۵۰ در طبقه خیلی زیاد قرار گرفتند (*Kovach et al., 1992*).

رابطه بین عملکرد و EIQ-FUR

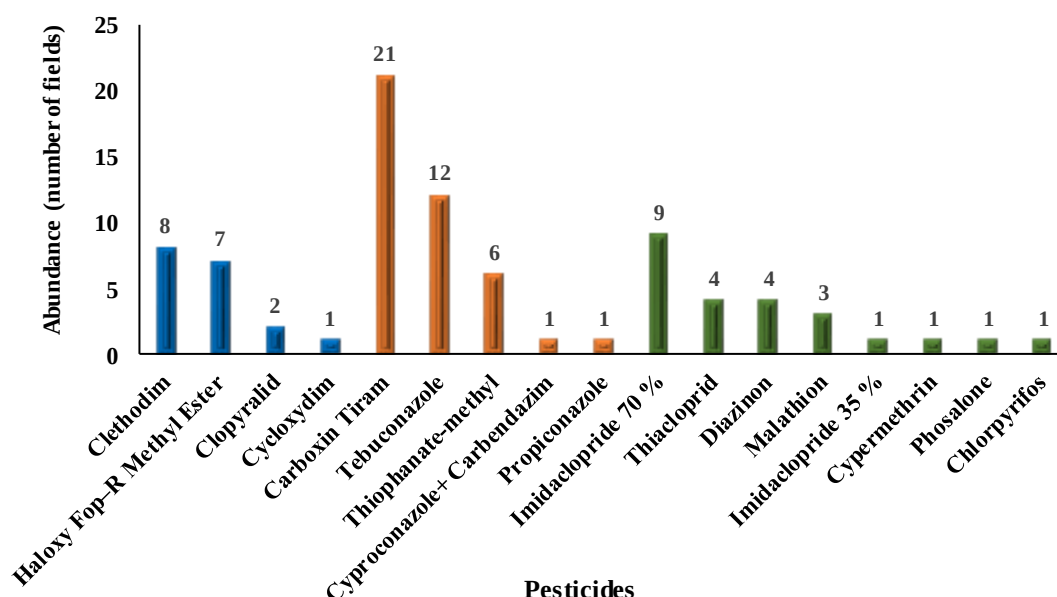
به منظور بررسی رابطه بین استفاده از سموم شیمیایی و اثر آن بر میزان عملکرد گیاهان مورد مطالعه، از معادله‌های رگرسیونی بین EIQ-FUR و عملکرد گیاهان استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های مورد بررسی جهت یافتن این معادله، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

کلزا: در منطقه مورد مطالعه ۷۶/۱۹ درصد از مزارع کلزای مورد مطالعه، به صورت آبی و ۲۳/۸۱ درصد به صورت دیم کشت شده بودند. مساحت این مزارع از یک تا ۱۰ هکتار متغیر بود و دامنه عملکردی معادل ۳/۷-۱/۵ تن در هکتار داشتند (جدول ۱). در این مطالعه، ۱۸ آفت‌کش در مزارع کلزای منطقه ثبت شد. از این تعداد سموم، ۲۲/۲۲ درصد علف‌کش‌ها، ۳۳/۳۳ درصد قارچ‌کش‌ها و ۴۴/۴۵ درصد از حشره‌کش‌ها تشکیل دادند (شکل ۲). یولاف وحشی (*Avena spp.*) و علف‌خونی (*Phalaris spp.*) از گیاهان هرز باریک‌برگ شایع در مزارع کلزای منطقه مطالعاتی بودند که جهت مدیریت آن‌ها، کشاورزان از علف‌کش‌های سلکت‌سوپر (کلتودیم)، گالانت سوپر (هالوکسی‌فوپ‌آرمتیل‌استر) و فوکوس (سیکلوکسیدیم) استفاده می‌کردند. علف‌کش‌های سلکت‌سوپر (۰/۷ تا ۱ لیتر در هکتار) و گالانت سوپر (یک تا دو لیتر در هکتار) در هشت و هفت مزرعه یا به عبارتی در ۳۸/۰۹ و ۳۳/۳۳ درصد از مزارع مصرف شده بودند. همچنین جهت مهار علف‌های هرز پهن‌برگ کلزا از جمله خردل-وحشی (*Sinipisarvensis*)، شلمی (*Rapistrum rugosum*)، پیچک‌صحرایی (*Convolvulus arvensis*) و کنگر وحشی (*Cirsium arvense*) از علف‌کش لونتال (کلوپیرالید) به میزان ۰/۸ تا ۲ لیتر در هکتار در دو مزرعه استفاده شده بود (شکل ۲). بررسی علف‌کش‌های مورد استفاده نشان داد که شیوع گیاهان هرز باریک‌برگ در مزارع کلزا بیش‌تر از گیاهان هرز پهن‌برگ مشکل‌ساز است. قارچ‌کش کربوکسین تیرام (ویتاواکس ۷۵ درصد) به دلیل بذرمال

۴۳/۴ در رتبه دوم آفت‌کش‌های خطرناک و با سمیت بالا در مزارع کلزا قرار گرفتند.

کاربندازیم) با EQI معادل ۴۶/۴، بالاترین میزان آسیب و سمیت برای محیط زیست را در میان آفت‌کش‌های مورد استفاده داشت. حشره-کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون با EQI برابر با ۴۳/۵ و



شکل ۲- توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

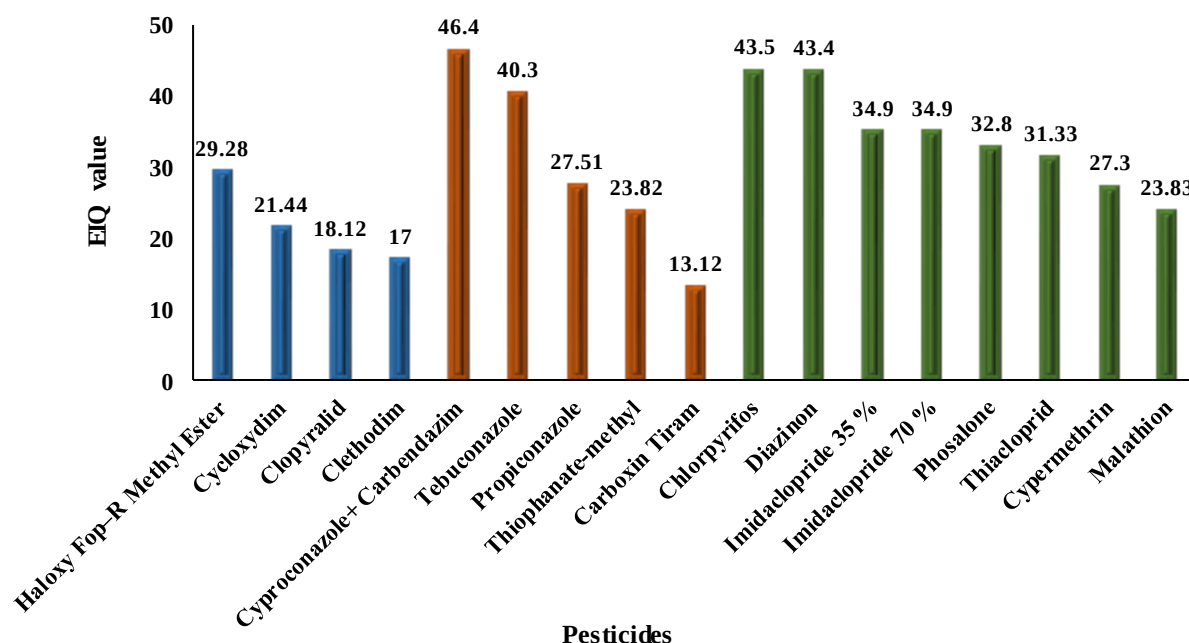
Fig. 2- Distribution of the abundance of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

فولیکور (تبوکونازول) در رتبه دوم سم پرخطر برای کارگران مزرعه کلزا در نظر گرفته شدند. بررسی میزان آسیب به کارگران مزرعه در گروه علف‌کش‌های مصرفی کلزا نشان داد که این گروه میزان آسیب متوسطی داشته و از میان آن‌ها گالانت‌سوپر (هالوکسی‌فوپ آرمیتیل-استر) میزان آسیب بیش‌تری را نشان داده است. در گروه قارچ‌کش‌ها نیز آلتوکمی (سایپروکونازول + کاربندازیم) در رتبه اول، فولیکور (تبوکونازول) در رتبه دوم و توپسین‌ام (تیوفانات متیل) در رتبه سوم سمیت برای کارگران مزرعه قرار گرفتند. در گروه حشره‌کش‌های مصرفی مزارع کلزا نیز دورسبان (کلرپیریفوس) و بیسکایا (تیاکلوپراید) با میزان آسیب ۱۸ و ۱۶، پس از فوزالن در رتبه‌های دوم و سوم حشره‌کش‌های خطرناک برای کارگر مزرعه معرفی شدند (شکل ۴). بیش‌ترین میزان آسیب و خطر به جزء مصرف‌کننده و خطر آب‌شویی به منابع آب زیرزمینی و منابع آبی در میان سموم مصرفی در مزارع کلزا، متعلق به گروه قارچ‌کش‌ها بود، به‌طوری‌که قارچ‌کش فولیکور (تبوکونازول) با نمره ۳۱ در رتبه اول، آلتوکمی (سایپروکونازول + کاربندازیم) (نمره ۲۹/۴) در رتبه بعدی و توپسین‌ام (تیوفانات متیل) و

رتبه سوم آفت‌کش خطرناک به قارچ‌کش فولیکور (تبوکونازول) با EQI ۴۰/۳ تعلق گرفت. در بررسی گروه‌های مختلف آفت‌کشی، سم گالانت‌سوپر (هالوکسی‌فوپ آرمیتیل‌استر) با EQI برابر با ۲۹/۲۸، سمیت بالاتری نسبت به علف‌کش‌های مصرفی دیگر نشان داد. در میان قارچ‌کش‌های مصرفی، آلتوکمی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، فولیکور (تبوکونازول) و تیلت (پروپیکونازول) از قارچ‌کش‌های خطرناک شناخته شدند و قارچ‌کش بذرمال کربوکسین تیرام میزان سمیت کم‌تری را نشان داد. در گروه حشره‌کش‌های مصرفی، دورسبان (کلرپیریفوس)، دیازینون، کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) به‌عنوان ترکیبات خطرناک در نظر گرفته شدند. کم‌ترین سمیت در گروه حشره‌کش‌ها متعلق به سم مالاتیون بود که مقدار EQI آن برابر با قارچ‌کش توپسین‌ام (تیوفانات متیل) به دست آمد (شکل ۳). در میان آفت‌کش‌های مصرفی مزارع کلزا، بالاترین میزان خطر و سمیت برای کارگران مزرعه به حشره‌کش فوزالن با میزان آسیب ۳۷/۵ تعلق گرفت. همچنین قارچ‌کش‌های آلتوکمی (سایپروکونازول + کاربندازیم) و

به این بخش نشان دادند. همچنین حشره‌کش‌های بیسکایا (تیاکلوراید) بالاترین میزان آسیب (۱۳) و دیازینون (۲/۴) کم‌ترین میزان آسیب به مصرف‌کنندگان را دارا بودند (شکل ۵).

تیلت (پروپیکونازول) (نمره ۱۵) در رتبه سوم قرار گرفتند. در این گروه، کربوکسین تیرام دارای کم‌ترین میزان سمیت به مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی در نظر گرفته شد. در گروه علف‌کش‌های مصرفی نیز سلکت‌سوپر (کلتودیم) و لونتال (کلوپیرالید) میزان آسیب مشابهی



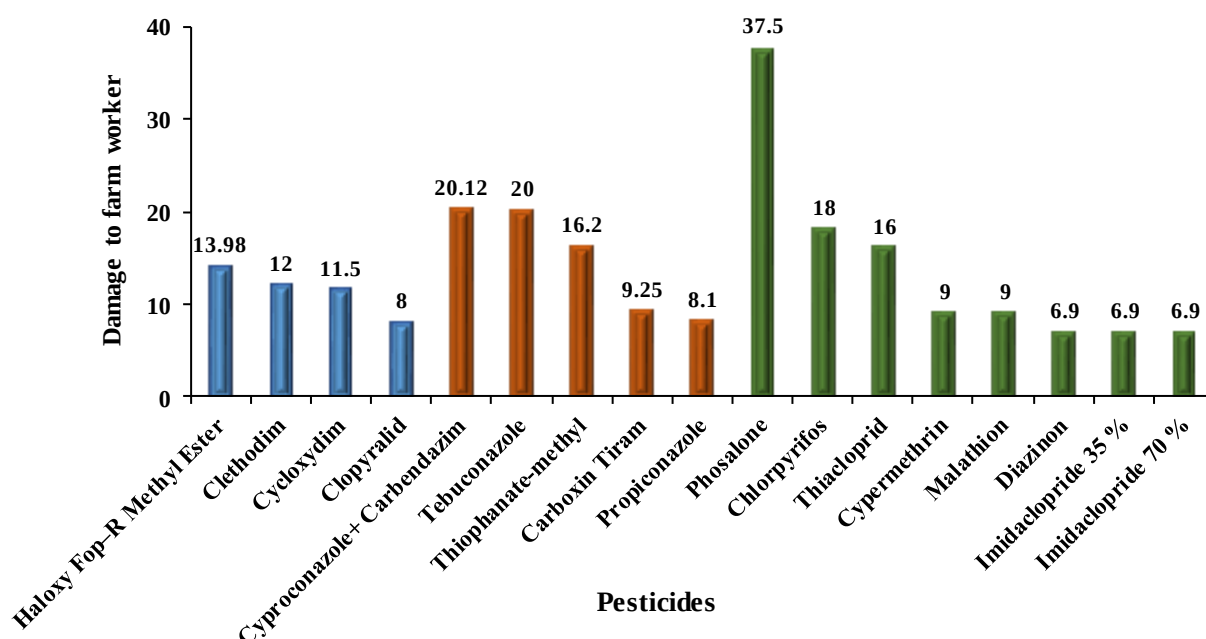
شکل ۳- مقادیر EQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 3- EQ value of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

کش‌های دیازینون و ایمیداکلوپراید کم‌ترین آسیب به کارگران مزرعه را نشان دادند. قارچ‌کش‌ها بیش‌ترین اثر را در جزء مصرف‌کنندگان و آب‌شویی داشتند. حشره‌کش پرمترین و علف‌کش پروپاکوئیزافوپ نیز بیش‌ترین آسیب بر اجزای بوم‌شناختی را در میان آفت‌کش‌های مصرفی دارا بودند (Hoseini, 2018).

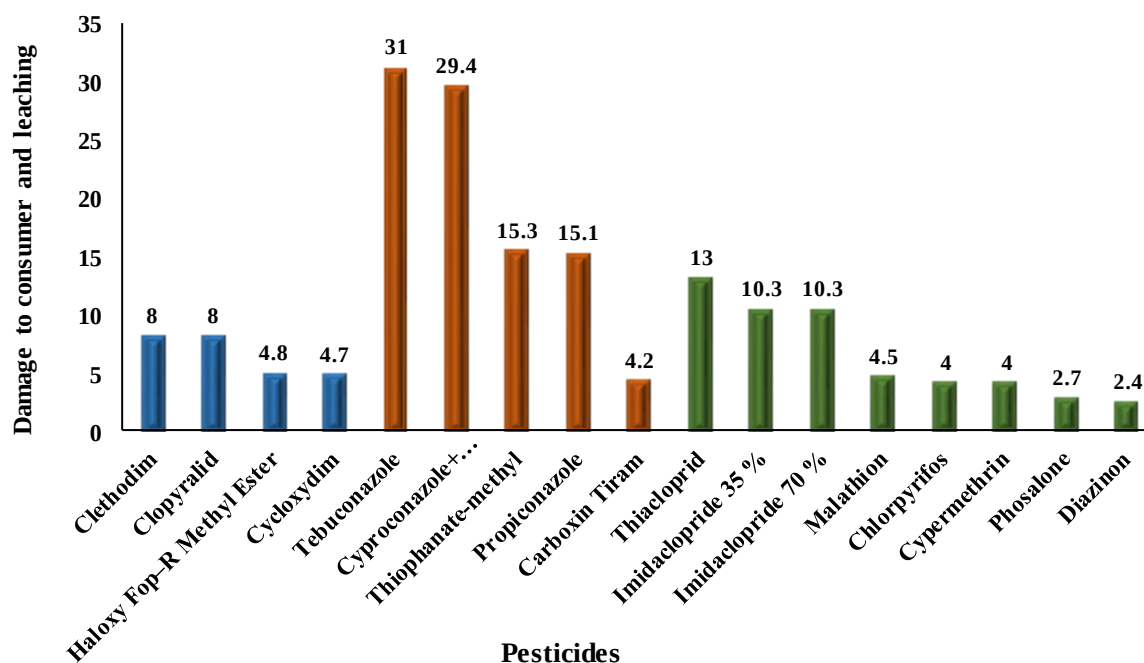
شاخص EQ-FUR

از آنجاکه میزان آسیب و سمیت سموم آفت‌کش در محیط به مقدار مصرف آن در واحد هکتار بستگی دارد، بنابراین در شکل ۷ رابطه بین مقدار مصرف در مزرعه و میزان سمیت آن در واحد هکتار بررسی شده است. مطابق این شکل، بیش‌ترین میزان مصرف آفت‌کش برابر با ۱/۵ لیتر در هکتار مربوط به حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) و علف‌کش سلکت‌سوپر (کلتودیم) بوده است که با مقایسه EQ-FUR آن‌ها، مشخص می‌شود که حشره‌کش کلرپیریفوس بالاترین میزان سمیت (۲۶/۷۵) را نسبت به کلتودیم (۳/۱۲) ایجاد می‌کند.

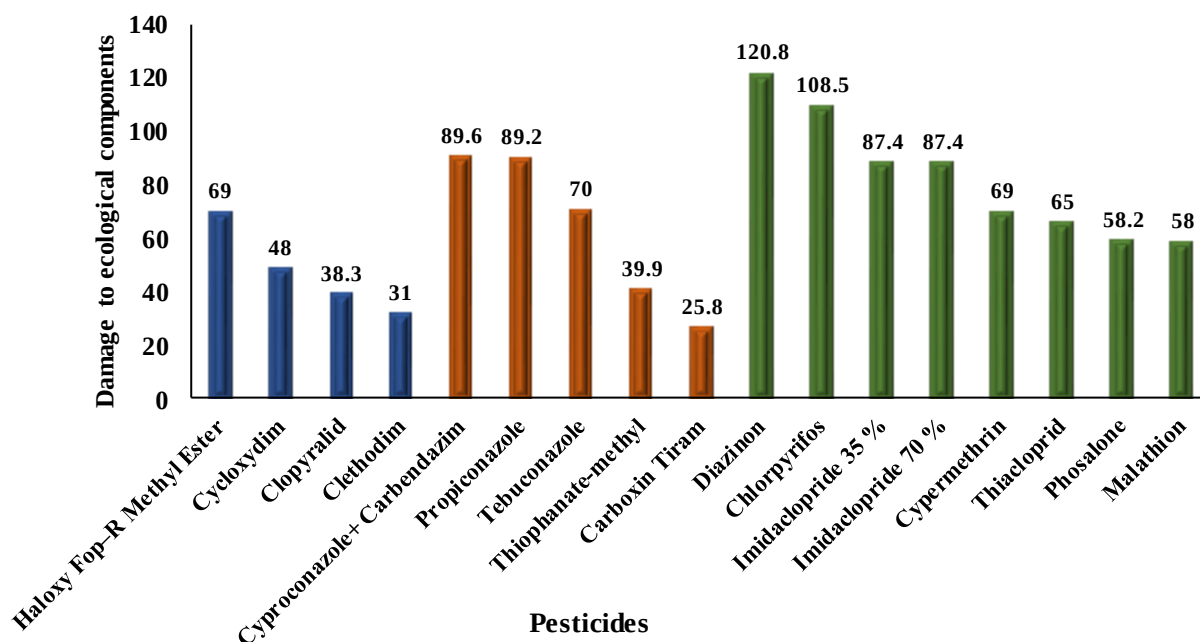
بررسی میزان آسیب آفت‌کش‌های مصرفی کلزا بر اجزای بوم‌شناختی نشان داد که در مجموع، حشره‌کش‌ها بیش‌ترین آسیب را بر بخش بوم‌شناختی وارد می‌کنند که در این میان، حشره‌کش دیازینون با میزان ۱۲۰/۸ بالاترین سمیت را بر اجزای محیط زیست داشت. حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) (۱۰۸/۵)، قارچ‌کش‌های آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم) و تیلت (پروپیکونازول) (۸۹)، حشره‌کش‌های کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) (۸۴/۴)، قارچ‌کش‌های فولیکور (تبوکونازول) (۷۰) به‌ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم آفت‌کش‌های خطرناک بر بخش بوم‌شناختی معرفی شدند. کربوکسین تیرام از گروه قارچ‌کش‌های بذرمال و علف‌کش سلکت‌سوپر (کلتودیم) از میزان سمیت کم‌تری برخوردار بودند (شکل ۶). ارزیابی اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع کلزا در شهرستان‌های گرگان و علی‌آبادکتول نشان داد که حشره‌کش پرمترین و قارچ‌کش کاربندازیم بیش‌ترین و علف‌کش‌های کلتودیم و کلوپیرالید کم‌ترین میزان EQ را در میان آفت‌کش‌های مصرفی داشتند. قارچ‌کش بنومیل بیش‌ترین و حشره-



شکل ۴- میزان آسیب به کارگران مزرعه در مصرف انواع آفت کش ها در مزارع کلزا بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول، استان گلستان
Fig. 4- Damage to farm worker of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۵- میزان آسیب به مصرف کنندگان و آب شویی در مصرف انواع آفت کش ها در مزارع کلزا بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول، استان گلستان
Fig. 5- Damage to consumer and leaching of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۶- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 6- Damage to ecological components of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

های متوالی و عدم تناوب این آفت‌کش‌ها می‌تواند منجر به مقاومت آفات به این سموم شود. کم‌ترین میزان مصرف سموم و به تبع آن، پایین‌ترین اثر محیط زیستی در مزارع کلزا مربوط به سموم بذرمال کربوکسین تیرام و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) می‌باشد که منجر به برآورد EIQ-FUR برابر با ۰/۱۱ و ۰/۳۱ در واحد هکتار شده است (شکل ۷).

نقشه EIQ-FUR

شکل ۸، پراکنش طبقات در مزارع کلزای منطقه نمونه‌برداری بخش فاضل‌آباد را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، ۵۷/۱۴ درصد از مزارع کلزا (۱۲ مزرعه) در سطح منطقه، اثر محیط زیستی کم‌تر از ۲۵ را داشته و در طبقه مزارعی با خطر آسیب خیلی کم در نظر گرفته شدند. در این مزارع از سمومی با سمیت پایین‌تر، مقادیر کم‌تر و تنوع پایین‌تر آفت‌کش‌ها به کار برده شده است. همچنین ۳۸/۱ درصد از مزارع کلزا (هشت مزرعه) به دلیل استفاده از سمومی با سمیت بیش‌تر از جمله آلتوکمبی (سیپروکونازول + کاربندازیم)، فولیکور (تبوکونازول)، توپسین‌ام (تیوفانات متیل)، مالاتیون و دیازینون و غیره (شکل ۸)، همچنین استفاده همزمان از چندین نوع قارچ‌کش و حشره‌کش و یا

این تفاوت ناشی از مقدار EIQ هر سم و مقدار ماده مؤثره آن‌ها می‌باشد. حشره‌کش دیازینون با اینکه به مقدار کم‌تر (۰/۸۷ لیتر در هکتار) استفاده شده، اما در رتبه دوم سمیت قرار گرفته است. مقدار ماده مؤثره (۰/۶ درصد) و EIQ بالای این سم منجر به سمیت و خطر بالای آن شد. در صورت مصرف ۱/۵ لیتر از این سم در واحد هکتار، بیش‌ترین میزان سمیت در میان آفت‌کش‌ها (۳۹/۰۶) به دست خواهد آمد. در بررسی اثرات محیط زیستی مصرف دو حشره‌کش ایمیداکلوپراید و دیازینون در محصول کلزا در منطقه هشتگرد، حشره-کش دیازینون با میزان مصرف دو لیتر در هکتار و میزان ماده مؤثره ۶۰ درصد، سمیت و خطر بیش‌تری (۴۱/۷۶) داشت (Yadollahi et al., 2017).

قارچ‌کش‌های توپسین‌ام (تیوفانات متیل) با مقدار مصرف یک لیتر و EIQ-FUR برابر ۱۶/۶۷ و فولیکور با متوسط میزان مصرف ۱/۳۹ و اثر محیط زیستی ۱۴، به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم آفت‌کش-های خطرناک در واحد هکتار مزارع کلزا شناخته شدند (شکل ۷). بنابر نتایج به دست آمده، توصیه می‌شود که میزان مصرف حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون را کم‌تر در نظر گرفته شود، زیرا روند افزایشی مقادیر مصرف آفت‌کش‌ها، تکرار مصرف آن‌ها در سال-

کیفیت و تاریخ مصرف گذشته، مصرف در زمان و روش نادرست، فرسودگی و کارایی پایین دستگاه‌های سم‌پاشی، سختی و یا اسیدیته نامطلوب آب مصرفی در سم‌پاشی، عدم تناوب در استفاده از سموم مختلف و سایر عملیات مدیریت زراعی از قبیل کوددهی، تنظیم تاریخ کاشت، اجرای تناوب زراعی، آبیاری، استفاده از رقم و ژنوتیپ‌های مناسب و غیره اشاره کرد.

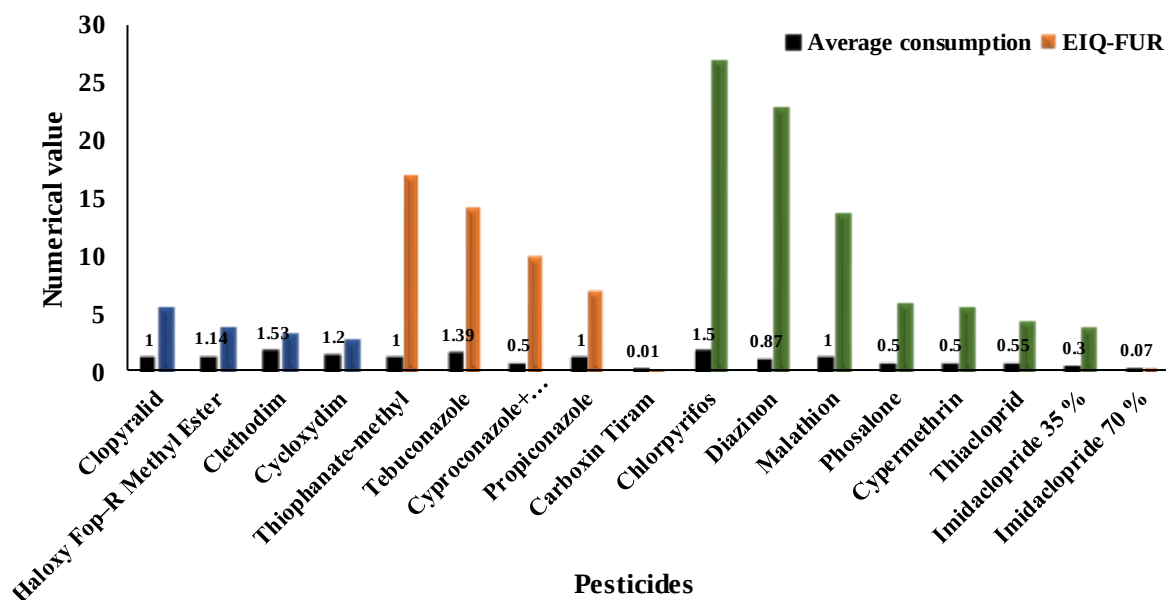
چغندر قند: مزارع چغندر قند مورد مطالعه در منطقه با مساحت

۲-۴۰ هکتاری به صورت آبی مدیریت شدند. تناوب‌های گندم - آیش و باغ - آیش به اجرا در آمده و تولیدی در دامنه ۴۰ تا ۷۰ تن در هکتار به دست آمد. در مجموع، ۱۱ نوع آفت‌کش در مزارع چغندر قند مورد مطالعه استفاده شده است. در چهار مزرعه، از علف‌کش سلکت-سوپر (کلتودیم) به میزان ۱-۱/۵ لیتر در هکتار و یک مزرعه از علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوب‌پی‌بوتیل) به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار جهت مهار گیاهان هرز باریک‌برگ از جمله یولاف وحشی و علف‌خونی به کار برده شده است. همچنین برای مهار گیاهان هرز پهن‌برگی همچون کنگر وحشی، پنیرک و خردل وحشی، از علف‌کش بتانال پروگر (فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت) به میزان ۱/۵-۲ لیتر در هکتار مصرف شده است (شکل ۱۰).

کاربرد در دفعات و مقادیر مصرف بیش‌تر، در طبقه EIQ-FUR ۲۵-۵۰ و طبقه اثر محیط زیستی کم قرار گرفتند. تنها یک مزرعه در منطقه نمونه‌برداری در طبقه اثر محیط زیستی ۵۰-۱۰۰ درصد جای گرفت. مزرعه شماره ۱۲ به دلیل استفاده از حشره‌کش دیازینون به میزان یک لیتر در هکتار و کاربرد قارچ‌کش فولیکور (توکونازول) در دو نوبت و به میزان یک لیتر در هکتار که از جمله سموم با سمیت بیش‌تر شناخته می‌شوند، در این طبقه قرار گرفت (جدول ۲ و شکل ۸).

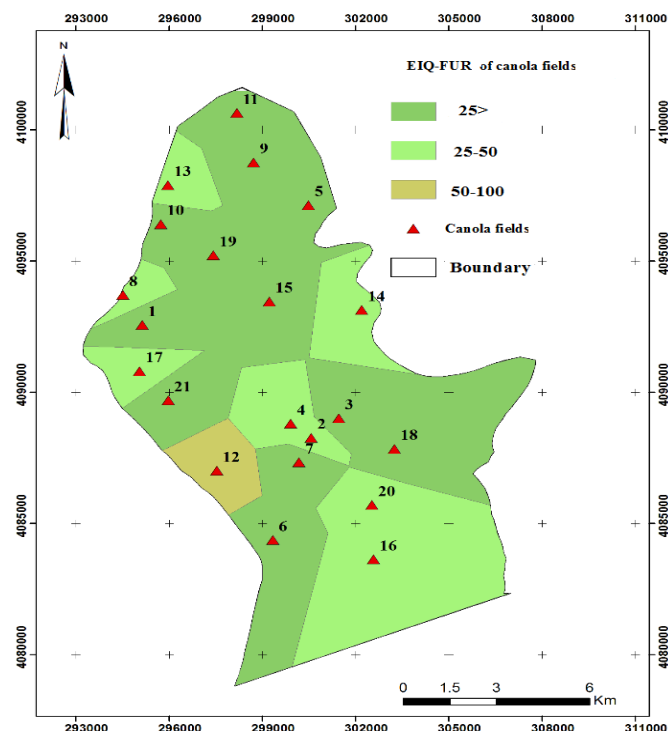
رابطه شاخص EIQ-FUR و عملکرد کلزا

بررسی میزان اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی و عملکرد تولیدی مزارع کلزای بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول با توجه به پراکندگی نقاط اندازه‌گیری شده و پایین بودن ضریب همبستگی ($R^2=0/۲۹$) بین این دو متغیر نشان داد که افزایش مصرف سموم شیمیایی با افزایش عملکرد، رابطه مستقیم و قوی نداشته است (شکل ۹). به عبارتی، باید سایر متغیرهای دیگر دخیل در عملکرد محصول زراعی، در کنار استفاده از سموم شیمیایی مورد توجه قرار گرفته و در مزرعه اعمال شوند. از دلایل و عوامل عدم ارتباط مستقیم بین عملکرد و میزان آفت‌کش‌های مصرفی می‌توان به عدم بازدید از مزارع جهت شناسایی حشرات آفت و گیاهان هرز، مصرف سموم بی-

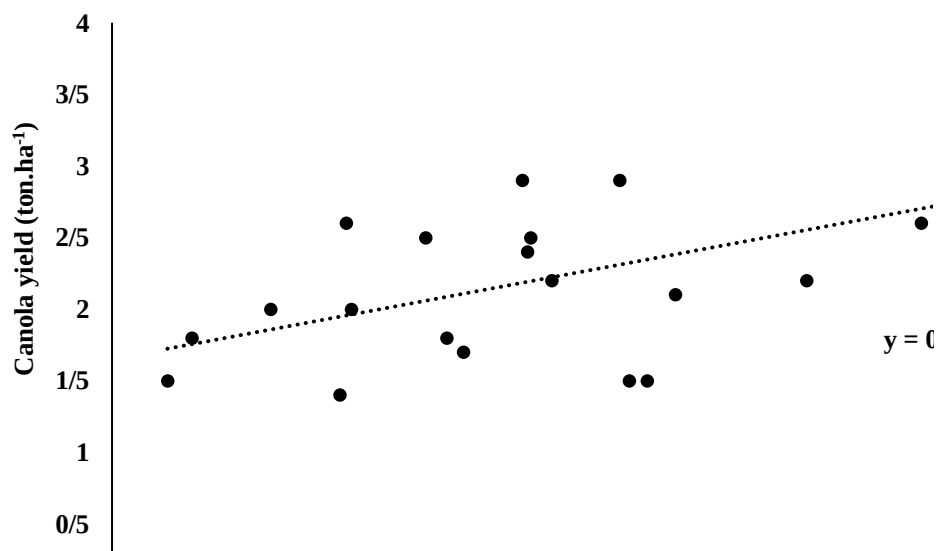


شکل ۷- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌های مصرفی و مقادیر EIQ-FUR محاسباتی در واحد هکتار مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان

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



شکل ۸- طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مزارع کلزا (EIQ-FUR) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 8- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



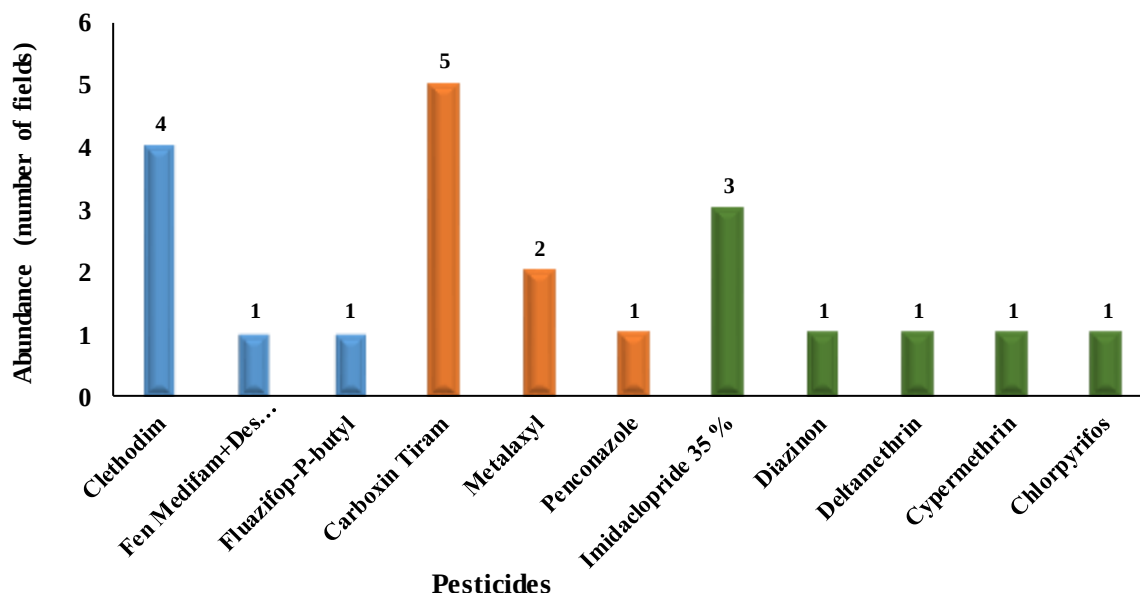
شکل ۹- رابطه EIQ-FUR با میزان عملکرد کلزا (تن در هکتار) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 9- The relationship between EIQ-FUR and canola yield in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

به‌میزان ۰/۵ لیتر در هکتار جهت مهار بیماری‌های قارچی از قبیل پوسیدگی غده، لکه برگی‌ها و فوزاریوم طوقه مصرف شده است. بیش‌ترین تنوع آفت‌کش‌های مصرف‌شده در این مزارع، مربوط به

مطابق شکل ۱۰، کربوکسین تیرام به‌عنوان قارچ‌کش ضدعفونی قبل از کاشت استفاده شده است. همچنین قارچ‌کش ریدومیل (متالاکسیل) به‌میزان ۱-۲ لیتر در هکتار و توپاس (پنکونازول)

سایپرمترین (۰/۵ لیتر در هکتار) و دورسبان (کلریپیفوس) (۱/۵ لیتر در هکتار) هر کدام در یک مزرعه به کار برده شدند.

گروه حشره‌کش‌ها بود، به‌طوری‌که سه مزرعه از حشره‌کش کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) به‌میزان یک لیتر در هکتار، حشره‌کش‌های دیازینون (۰/۷ لیتر در هکتار)، دسیس (دلتامترین) (یک لیتر در هکتار)،



شکل ۱۰- توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرچند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 10- Distribution of the abundance of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

شاخص EIQ

۱۸ در رتبه اول، علف‌کش سلکت‌سوپر (کتودیم) و قارچ‌کش توپاس (پنکونازول) با میزان سمیت ۱۲ در رتبه دوم و علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) با میزان خطر ۱۰/۶۵ در رتبه سوم آسیب‌رسانی به کارگران مزرعه قرار گرفتند. همچنین در میان آفت‌کش‌های مورد بررسی، حشره‌کش دسیس (دلتامترین) کم‌ترین میزان خطر را برای این جزء شاخص EIQ نشان داد (شکل ۱۱).

شکل ۱۲، میزان سمیت آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرچند را بر جزء مصرف‌کننده و خطر آب‌شویی آن‌ها نشان می‌دهد. مطابق این شکل، قارچ‌کش‌های توپاس (پنکونازول)، ریدومیل (متالاکسیل) و حشره‌کش کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) با مقادیر آسیب ۱۳، ۱۲/۱۵ و ۱۰/۳۵ به‌ترتیب خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها برای مصرف‌کنندگان و همچنین خطر آب‌شویی قرار گرفتند. در مقابل، حشره‌کش دیازینون و علف‌کش بتانال پروگرس (فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت) کم‌ترین آسیب را برای مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی در مزارع چغندرچند منطقه نشان دادند.

مقایسه شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرچند مورد مطالعه نشان داد که بیش‌ترین اثرات منفی محیط زیستی مربوط به گروه حشره‌کش‌های مصرفی بوده است. در این میان، حشره‌کش‌های دورسبان (کلریپیفوس) و دیازینون با EIQ معادل ۴۳/۵ و ۴۳/۴ در رتبه اول و کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) اثر محیط زیستی برابر ۳۴/۹ در رتبه دوم سمیت و خطر قرار گرفتند. در گروه علف‌کش‌ها، فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) با EIQ معادل ۲۸/۷۱ در رتبه سوم و حشره‌کش سایپرمترین به رتبه چهارم جای گرفت. در مجموع، آفت‌کش‌های مصرفی، قارچ‌کش کربوکسین‌تیرام دارای کم‌ترین میزان آسیب محیط زیستی شناخته شد (شکل ۱۱).

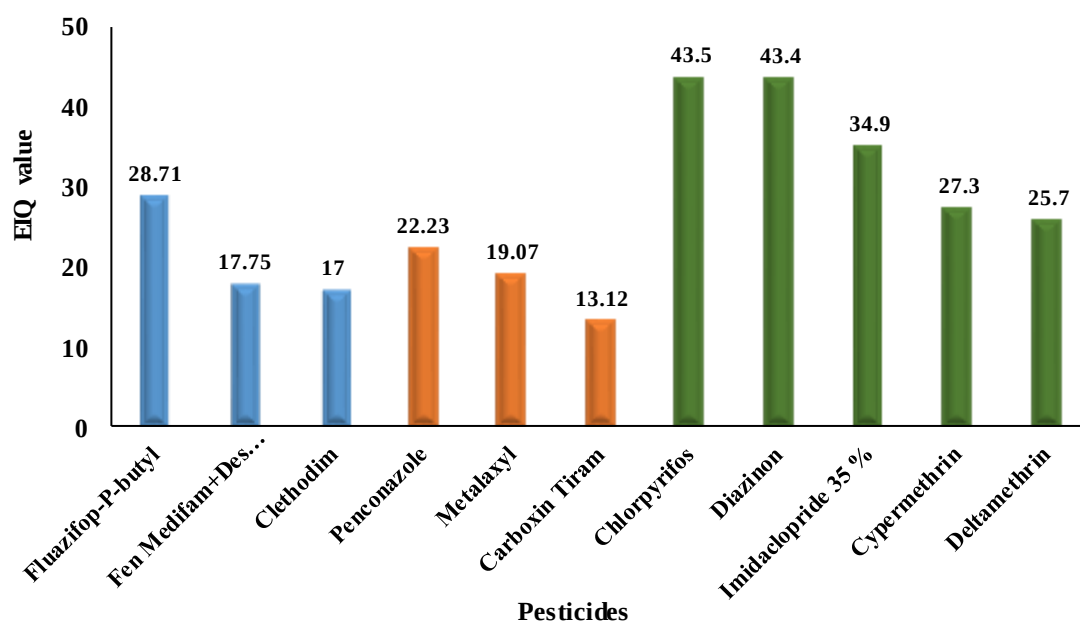
بررسی جزء آسیب به کارگران مزرعه در شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی مزارع چغندرچند نشان داد که بیش‌ترین آسیب و خطر برای کارگران مزرعه در سم‌پاشی حشره‌کش دورسبان (کلریپیفوس) ایجاد شده است. این آفت‌کش با میزان آسیب به کارگر مزرعه معادل

جزء مصرف‌کننده داشتند و دو حشره‌کش متاسیستوکس-آر و بازودین نیز پراثرترین ترکیبات روی جزء محیط زیست بودند (Bazrgar et al., 2013).

شاخص EIQ-FUR

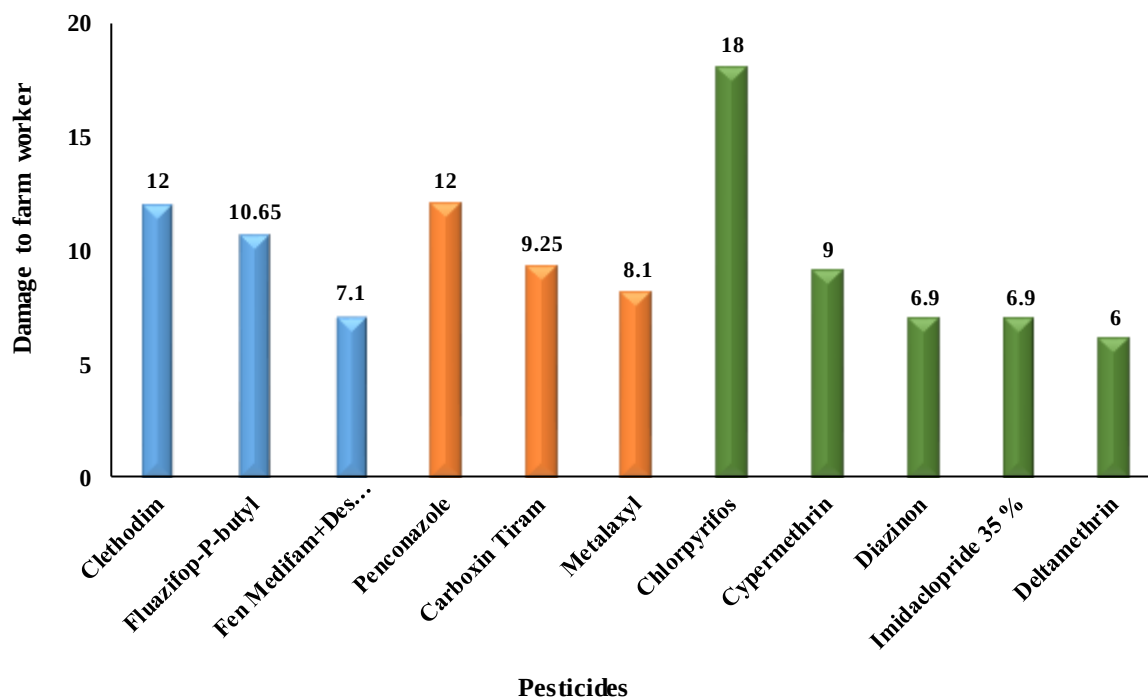
بررسی میزان اثر محیط زیستی به‌ازای متوسط مقدار مصرف آفت‌کش‌های مصرفی در واحد هکتار مزارع چغندرقد در شکل ۱۵ نشان داد که مصرف ۱/۵ لیتر از حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) بیش‌ترین سمیت و خطر ($EIQ-FUR = 26/75$) را در یک هکتار ایجاد می‌کند. حشره‌کش دیازینون با وجود مصرف کم‌تر (۰/۷ لیتر در هکتار) نسبت به آفت‌کش‌های دیگر همچون علف‌کش‌های فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) (سه لیتر در هکتار)، بتانال پروگرس (فن-مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت) (دو لیتر در هکتار)، سلکت سوپر (کلتودیم) (۲/۳۷ لیتر در هکتار) و قارچ‌کش ریدومیل (متلاکسیل) (۱/۵ لیتر در هکتار) میزان $EIQ-FUR$ بالاتری را داشت. این مطلب، سمیت و میزان خطر بالای این آفت‌کش را حتی در مقادیر مصرف پایین نشان می‌دهد.

بررسی و مقایسه آفت‌کش‌های مصرفی چغندرقد در میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در شکل ۱۳ نشان داد که آفت‌کش‌های گروه حشره‌کش بیش‌ترین خطر و سمیت را داشتند. در میان آفت‌کش‌ها، دیازینون، دورسبان (کلرپیریفوس) و کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) با مقادیر آسیب به اجزای بوم‌شناختی برابر با ۱۲۰/۸۵، ۱۰۸/۵۵ و ۸۷/۴۷ در رتبه اول تا سوم جای گرفتند. در گروه علف‌کش‌ها، سم فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) و در گروه قارچ‌کش‌ها، سم توپاس (پنکونازول) دارای سمیت بالا در مزارع چغندرقد منطقه شناخته شدند. مصرف قارچ‌کش کربوکسین تیرام به-صورت بذرمال در مزارع چغندرقد کم‌ترین آسیب محیط زیستی بر اجزای بوم‌شناختی را نشان داشت. ارزیابی اثرات محیط زیستی کاربرد آفت‌کش‌ها در تولید چغندرقد در استان‌های خراسان نشان داد که بیش‌ترین مقدار EIQ برای حشره‌کش متاسیستوکس-آر و بازودین بود و علف‌کش پیرامین و حشره‌کش مچ نیز به‌ترتیب دارای کم‌ترین مقدار این شاخص بودند. همچنین حشره‌کش متاسیستوکس-آر و کلرپیریفوس به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین اثر بر جزء کارگران مزرعه بودند. طبق نتایج این تحقیق، قارچ‌کش‌ها بیش‌ترین اثر را روی

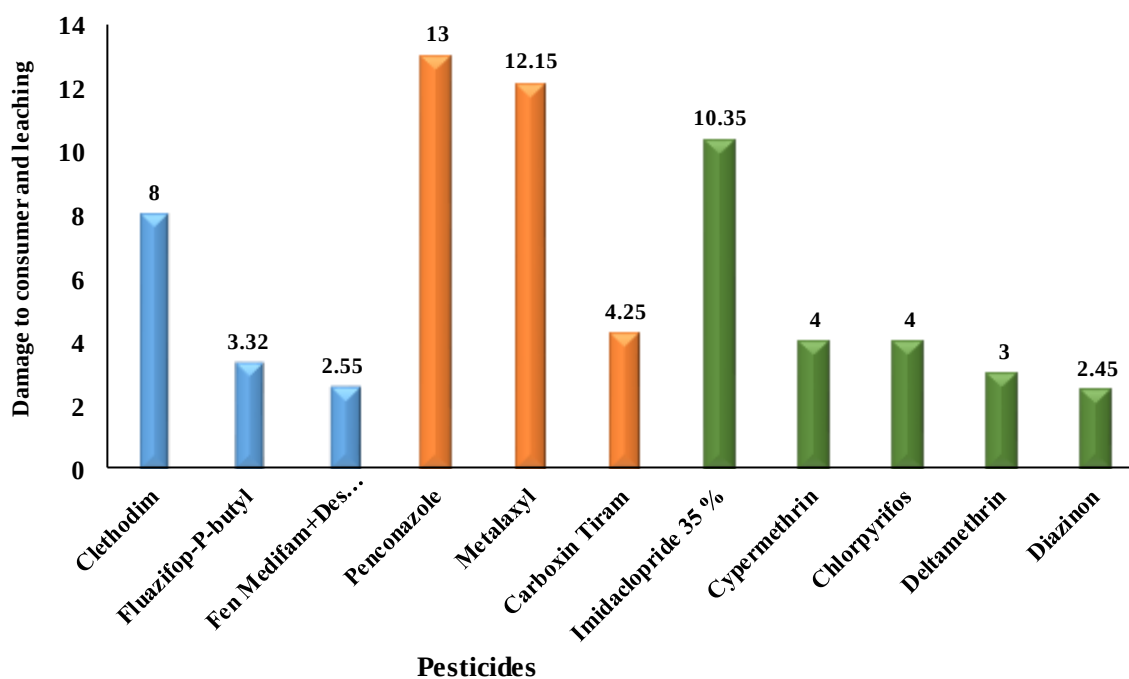


شکل ۱۱- مقادیر EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرقد بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول

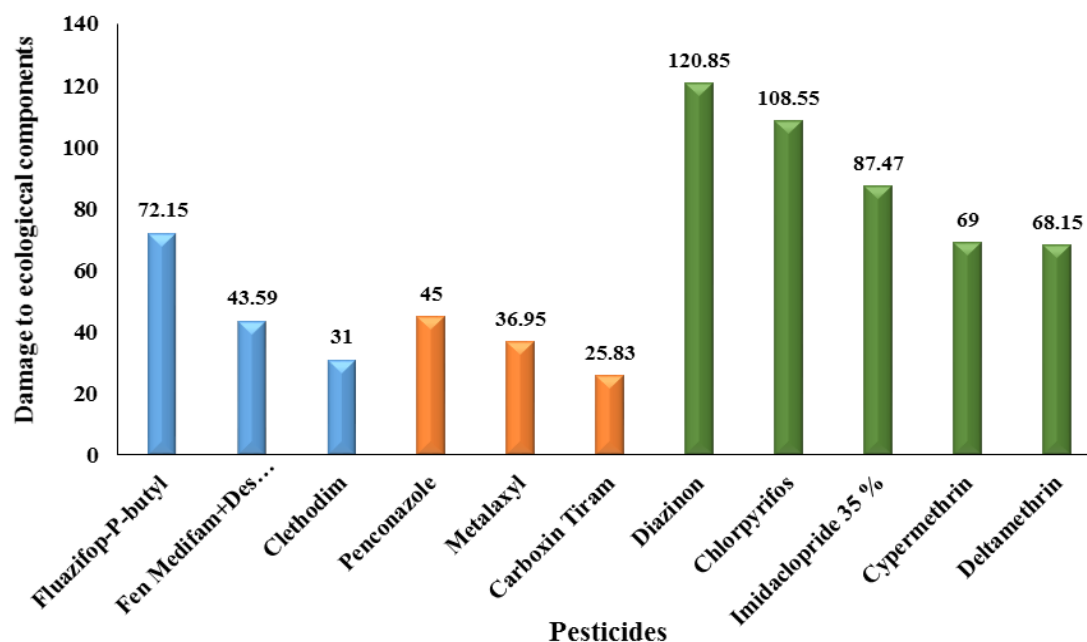
Fig. 11- EIQ value of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



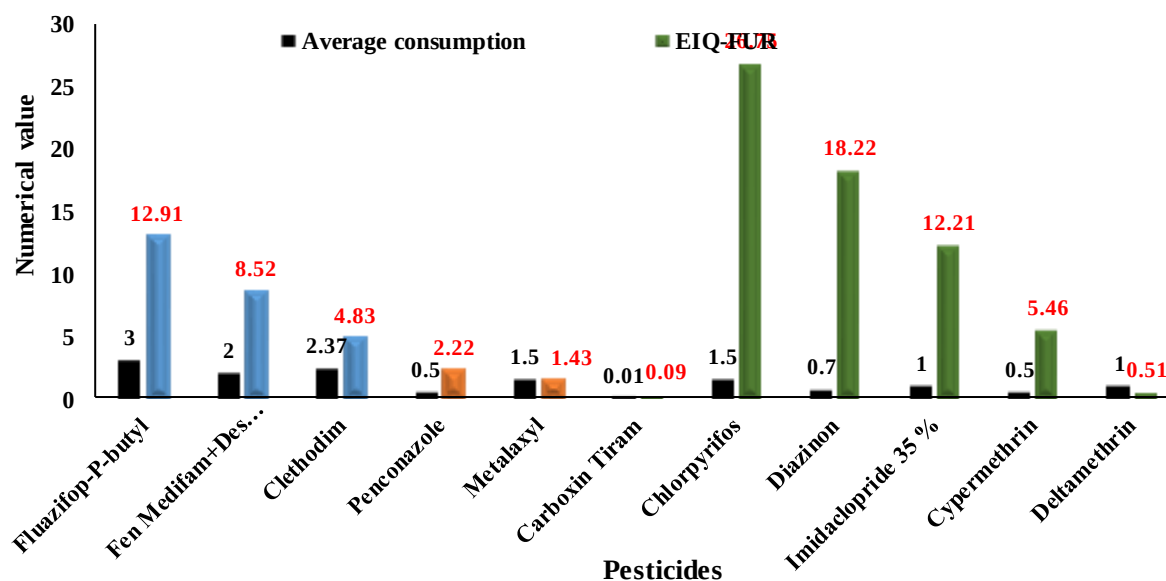
شکل ۱۲- میزان آسیب به کارگران مزرعه در مصرف انواع آفت کش ها در مزارع چغندر قند بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول
Fig. 12- Damage to farm worker of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۱۳- میزان آسیب به مصرف کنندگان و آب شویی در مصرف انواع آفت کش ها در مزارع چغندر قند بخش فاضل آباد شهرستان علی آباد کتول
Fig. 13- Damage to consumer and leaching of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۱۴- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع چغندر قند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول
Fig. 14- Damage to ecological components of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad District of Ali Abad Katool Township



شکل ۱۵- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌های مصرفی و مقادیر EIQ-FUR محاسباتی در واحد هکتار مزارع چغندر قند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان

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

برآورد شده برای حشره‌کش کونفیدور حاصل یک لیتر در هکتار و برای علف‌کش فوزیلید فورته ماحصل سه لیتر در هکتار از این آفت‌کش بود. بدین معنی که سمیت حشره‌کش کونفیدور سه برابر بیش‌تر از

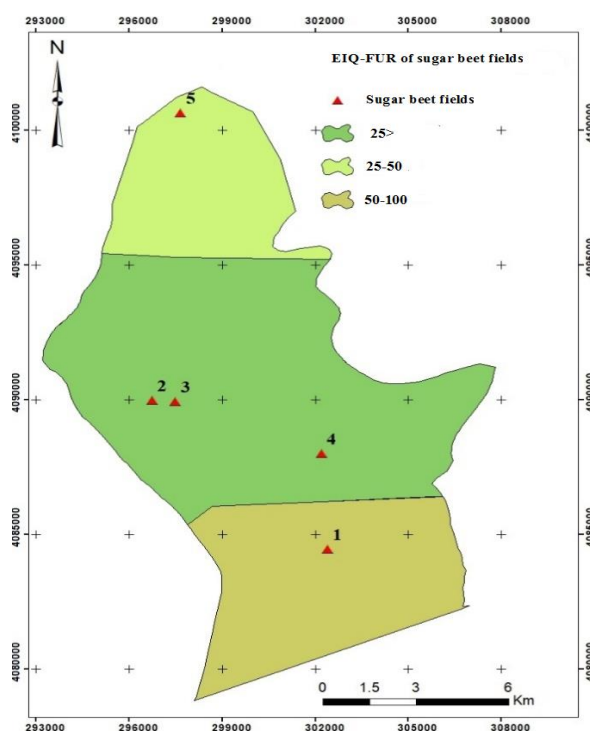
میزان EIQ-FUR محاسبه شده برای علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) و حشره‌کش کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) به‌طور تقریب مشابه بوده است، با این تفاوت که اثر محیط زیستی

گرفت. مزارع ۲، ۳ و ۴ ضمن استفاده از آفت‌کش‌های کم‌خطر و یا مقادیر مناسب از آفت‌کش‌هایی مانند کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد)، توانسته‌اند که مقدار EIQ-FUR خود را در طبقه خیلی کم (کمتر از ۲۵) حفظ کنند. مزرعه شماره ۴ نیز از آفت‌کش‌های کم‌خطری همچون سلکت‌سوپر (کلتودیم) و توپاس (پنکونازول) در مقدار استاندارد مصرف کرده است، اما به دلیل استفاده از آفت‌کش مضر دورسبان (کلرپیریفوس) به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار، مقدار EIQ-FUR آن افزایش یافته و در طبقه آسیب کم قرار گرفت. همان‌طور که در قسمت‌های قبل گفته شد، حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) بیش‌ترین آسیب را بر اجزای بوم‌شناختی دارد. بنابراین لازم است که در استفاده از آن برنامه‌ریزی بیش‌تری شود و با حشره‌کش‌های کم‌خطر همچون مالاتیون و دسیس (دلتامترین) جایگزین گردد.

این علف‌کش می‌باشد. قبلاً محققان گزارش کرده بودند که در سه استان شمالی ایران به‌ازای یک واحد تن محصول زراعی، بیش‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف حشره‌کش‌ها است (Moeinoddini et al., 2014).

نقشه EIQ-FUR

شکل ۱۶، طبقه‌بندی مزارع چغندرچند مورد مطالعه در منطقه را از نظر آسیب محیط زیستی بررسی کرده است. مطابق این شکل، مزرعه شماره یک در جنوب منطقه، به دلیل مصرف آفت‌کش‌های مضر همچون دیازینون (۰/۷ لیتر در هکتار)، کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) (یک لیتر در هکتار) و مصرف مقدار بالاتر علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) (سه لیتر در هکتار) در کنار استفاده از علف‌کش‌های سلکت‌سوپر (کلتودیم) و بتانال‌پروگرس (فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت)، در طبقه آسیب متوسط (۵۰-۱۰۰) قرار



شکل ۱۶- طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مزارع چغندرچند (EIQ-FUR) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 16- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

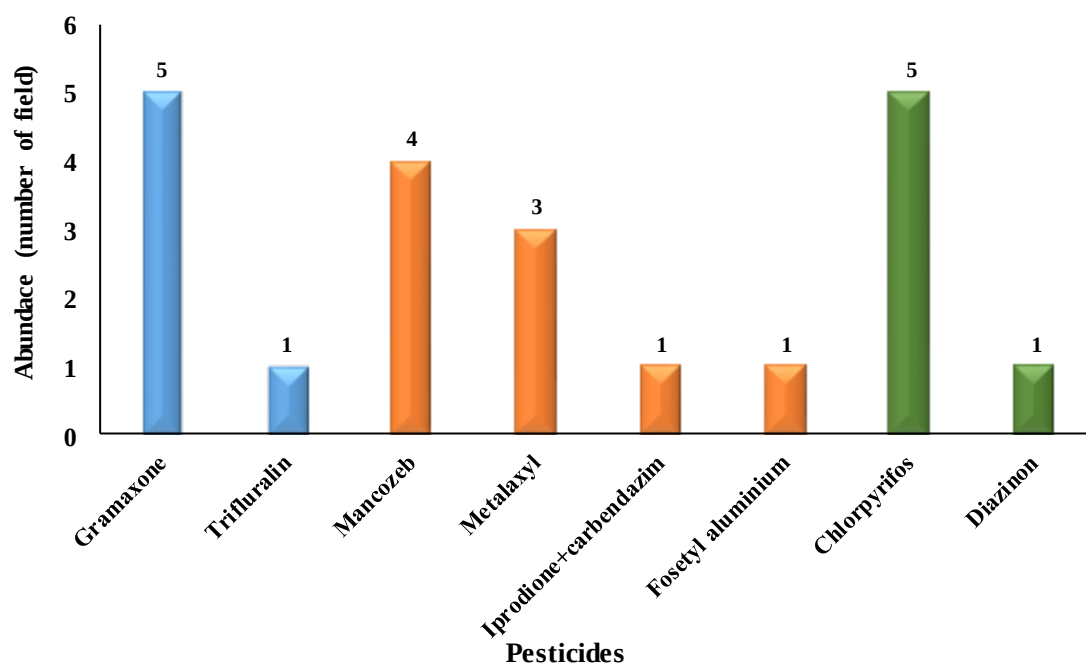
علف‌خونی و غیره استفاده شده است. بیماری‌های برگ‌ی و بادزدگی سیب‌زمینی در منطقه، کشاورزان را به مصرف سموم قارچ‌کش سوق می‌دهد. سم مانکوزب به میزان ۱-۴ لیتر در هکتار و در چهار مزرعه

سیب زمینی: از مجموع شش مزرعه سیب‌زمینی مورد بررسی، در پنج مزرعه از علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) به میزان ۳-۵ لیتر در هکتار جهت مهار گیاهان هرز باریک‌برگ از جمله یولاف وحشی،

در میان آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی، حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیرفوس) و دیازینون با مقادیر EQI معادل ۴۳/۵ و ۴۳/۴ به‌ترتیب بیش‌ترین سمیت و خطر را برای محیط زیست نشان دادند (شکل ۱۸). قارچ‌کش مانکوزب و علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) با اثر محیط زیستی برابر با ۲۵/۷۲ و ۲۴/۷۳ در رتبه‌های بعدی سمیت برای محیط زیست در نظر گرفته شدند. همچنین مقادیر EQI آفت‌کش‌های ترفلان (تریفلورالین)، ریدومیل (متالاکسیل) و رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) در دامنه متوسط قرار گرفتند. با توجه به این شکل، مصرف قارچ‌کش الیت (فوزتیل-آلومینیم) کم‌ترین میزان خطر را برای محیط زیست ایجاد می‌کند، البته ناگفته نماند که میزان خطر به محیط زیست توسط هرکدام از آفت‌کش‌ها به‌میزان مصرف آن‌ها در واحد هکتار بستگی دارد.

جهت ضدعفونی غده‌ها و همچنین سم‌پاشی روی برگ‌ها برای جلوگیری از نفوذ بیماری‌های قارچی استفاده شده است. همچنین قارچ‌کش ریدومیل (متالاکسیل) به‌میزان ۱-۲ لیتر در هکتار در سه مزرعه به کار برده شده است. قارچ‌کش‌های رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) به‌میزان یک لیتر در هکتار و قارچ‌کش الیت (فوزتیل آلومینیم) به‌میزان دو لیتر در هکتار در یک مزرعه استفاده شدند. جهت مهار حشرات آفت سیب‌زمینی در منطقه از حشره دورسبان (کلرپیرفوس) به‌میزان ۱/۵ - ۲ لیتر در هکتار در پنج مزرعه و حشره‌کش دیازینون به‌میزان یک لیتر در هکتار جهت مهار حشرات آفت‌مکنده در یک مزرعه استفاده شدند (شکل ۱۷).

شاخص EQI

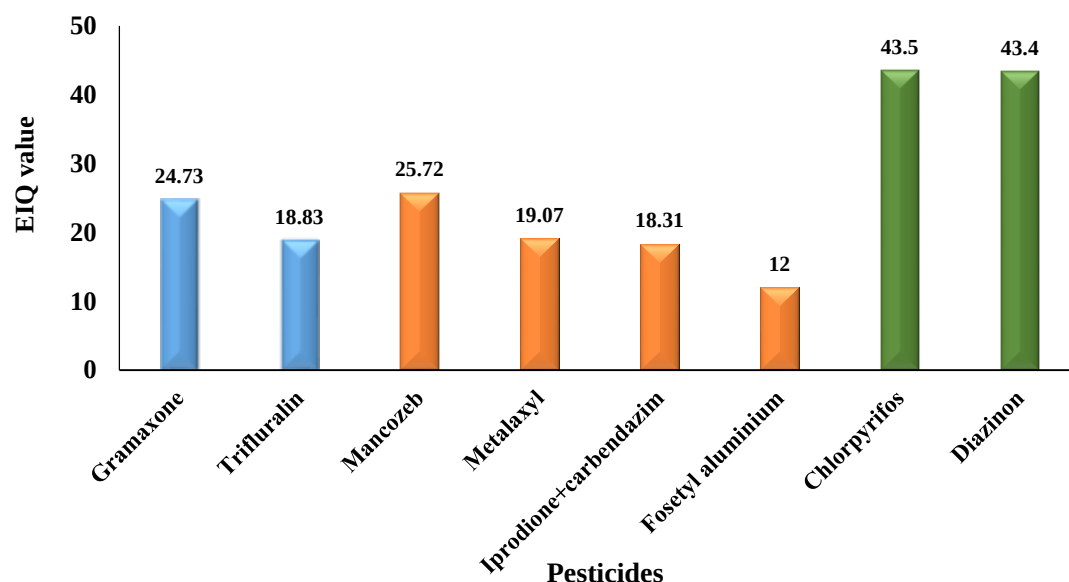


شکل ۱۷- توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 17- Distribution of the abundance of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

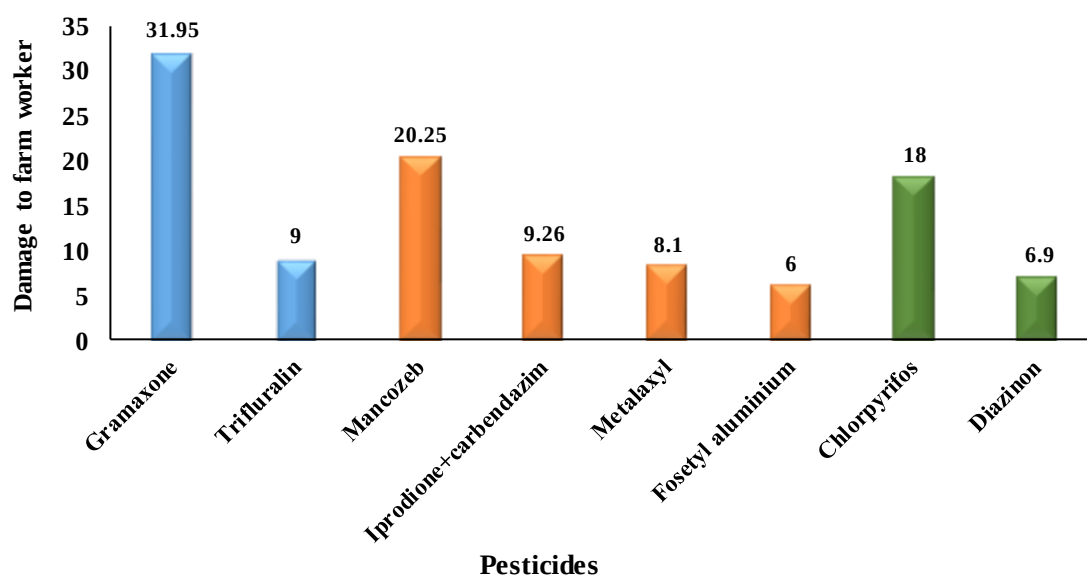
(کلرپیرفوس) از گروه حشره‌کش‌ها با مقادیر آسیب به کارگر مزرعه معادل ۲۰/۲۵ و ۱۸ به‌ترتیب به‌عنوان دومین و سومین آفت‌کش خطرناک برای کارگران مزرعه شناخته شدند. مطابق این شکل، قارچ‌کش الیت (فوزتیل‌آلومینیم) کم‌ترین سمیت را برای کارگران مزرعه نشان داده، بنابراین می‌توان آن را با اطمینان خاطر بیش‌تری

بررسی و مقایسه میزان آسیب به کارگران مزرعه در میان آفت‌کش‌های مصرفی مزارع سیب‌زمینی مورد مطالعه در شکل ۱۹ نشان داد که سم‌پاشی علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) با میزان EQI برای جزء کارگر مزرعه برابر ۳۱/۹۵، بیش‌ترین خطر و سمیت را برای آن‌ها ایجاد می‌کند. سم مانکوزب از گروه قارچ‌کش‌ها و دورسبان

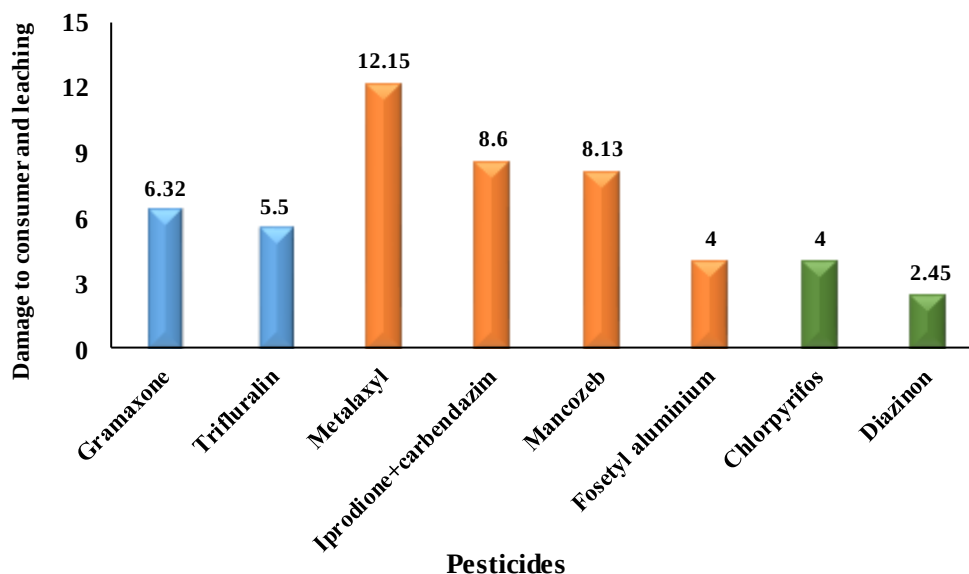
در مزرعه استفاده و توصیه کرد (شکل ۱۹). گروه قارچ‌کش‌ها به‌جز قارچ‌کش الیت (فوزتیل‌آلومینیم)، بیش‌ترین خطر و آسیب را برای مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی نشان دادند.



شکل ۱۸- مقادیر EQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 18- EQ value of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

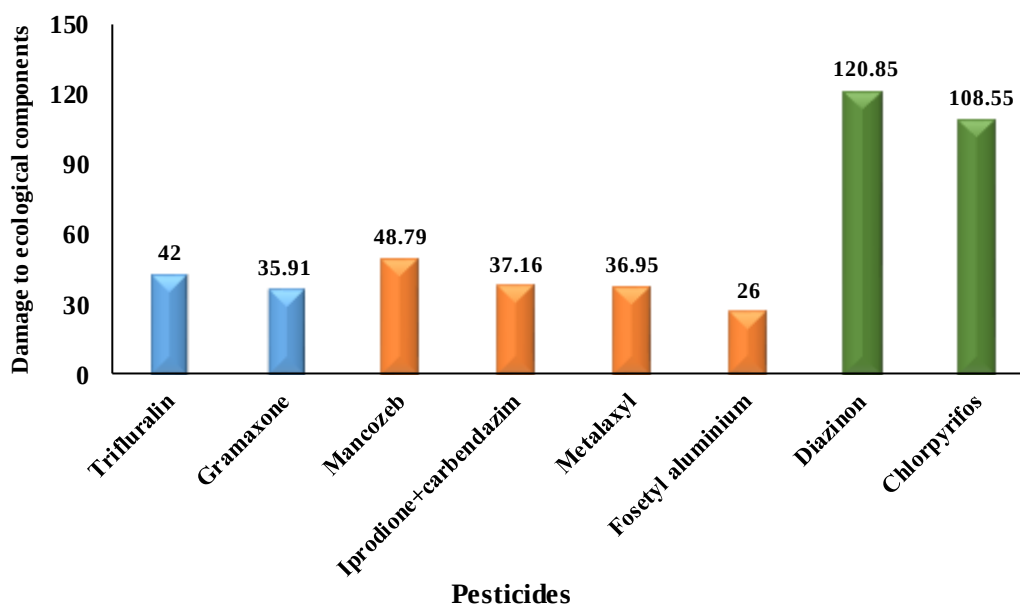


شکل ۱۹- میزان آسیب به کارگران مزرعه در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان
Fig. 19- Damage to farm worker of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۲۰- میزان آسیب به مصرف‌کنندگان و آب‌شویی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان

Fig. 20- Damage to consumers and leaching of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۲۱- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان

Fig. 21- Damage to ecological components of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

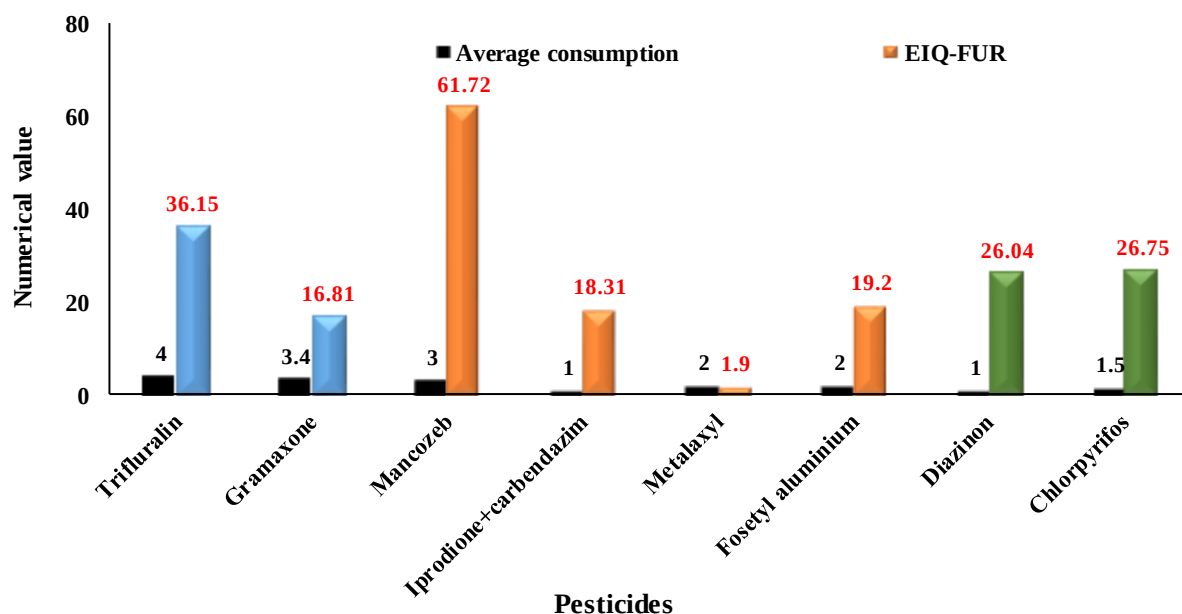
در این گروه، ریدومیل (متالاکسیل)، رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) و مانکوزب با میزان آسیب ۱۲/۱۵، ۸/۱۶ و ۸/۱۳ در رتبه-های اول تا سوم آفت‌کش‌های خطرناک برای مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی قرار گرفتند. در مقابل، حشره‌کش دیازینون با میزان آسیب

ماده مؤثره کم‌تر آن نسبت به قارچ‌کش مانکوزب می‌باشد و در رتبه دوم آفت‌کش‌های مضر برای محیط زیست در مزارع سیب‌زمینی منطقه قرار گرفت. مصرف ۱/۵ لیتر در هکتار حشره‌کش کلریپیرفوس (دورسبان)، اثر محیط زیستی تقریباً نزدیکی به EQ-FUR حاصل از یک لیتر در هکتار حشره‌کش دیازینون ایجاد کرده است و در واقع، این نشان دهنده میزان سمیت بالاتر دیازینون بر محیط زیست می‌باشد. اگر فرض شود که از تمامی این آفت‌کش‌ها به اندازه یک لیتر در هکتار استفاده شده باشد، بیش‌ترین سمیت برای محیط زیست به-ترتیب مربوط به آفت‌کش‌های دیازینون، مانکوزب، رورال‌تی‌اس (ایپروادیون + کاربندازیم) و کلریپیرفوس (دورسبان) خواهد بود. در مقابل، مصرف دو لیتر از قارچ‌کش متالاکسیل (ریدومیل) کم‌ترین میزان EQ-FUR را به دست آورده است؛ پایین بودن ماده مؤثره این سم، نقش بسزایی در کاهش اثر محیط زیستی این آفت‌کش داشته است (شکل ۲۲). در مطالعه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید سیب-زمینی در کشور اکوادور و پرو مشخص شد که مقدار عددی اثرات محیط زیستی برای مزارع دارای مدیریت تلفیقی آفات، حداقل میزان (حدود ۴۰) و برای مزارع با مدیریت رایج حداکثر میزان این شاخص (حدود ۱۲۳۵) به دست آمد (Kromann et al., 2011).

۲/۴۵، کم‌ترین میزان آسیب را بر این بخش نشان داد (شکل ۲۰). حشره‌کش‌های دورسبان (کلریپیرفوس) و دیازینون با میزان اثر بر اجزای بوم‌شناختی برابر با ۱۲۰/۸۵ و ۱۰۸/۵۵ به‌عنوان سمی‌ترین و خطرناک‌ترین آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی منطقه شناخته شدند. قارچ‌کش مانکوزب و علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) در رتبه‌های بعدی آفت‌کش‌های دارای اثر منفی بالا بر اجزای محیط زیست معرفی شدند. کم‌ترین میزان آسیب بر اجزای بوم‌شناختی در قارچ‌کش الیت (فوزتیل‌آلومینیم) مشاهده شد (شکل ۲۱).

شاخص EQ-FUR

شکل ۲۲، متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌ها و مقادیر EQ-FUR حاصل از آن‌ها را در واحد هکتار مزارع سیب‌زمینی نشان می‌دهد. مطابق این شکل، قارچ‌کش مانکوزب به دلایل مصرف مقادیر بالاتر از حد استاندارد (یک لیتر در هکتار) در چند نوبت سم‌پاشی و همچنین درصد بالای ماده مؤثره موجود در این سم، میزان اثر محیط زیستی بالایی را نشان داده است. علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) با وجود مصرف مقادیر بالاتری از سم نسبت به مانکوزب، EQ-FUR کم‌تری را برآورد کرده است که دلیل آن پایین‌تر بودن مقدار EQ



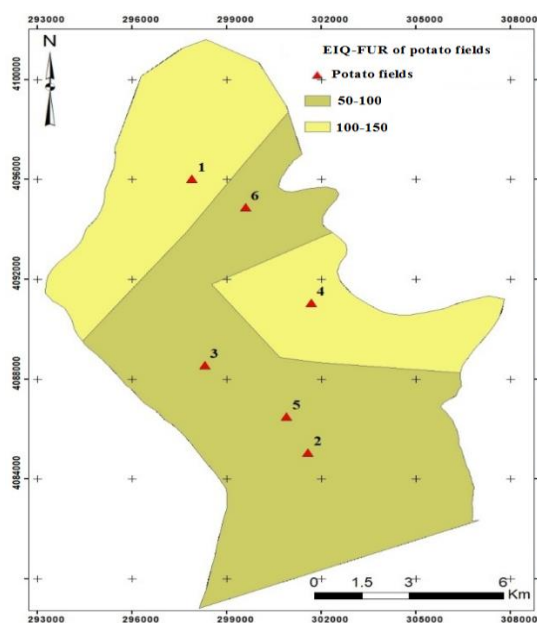
شکل ۲۲- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌ها و مقادیر EQ-FUR محاسباتی در واحد هکتار مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول، استان گلستان

Fig. 22- The average consumption of pesticides and EQ-FUR values per hectare of potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

بهتر از حالتی است که تنها از یک نوع آفت‌کش در مقدار بالا استفاده شود. مزرعه شماره ۶ تنها از دو نوع آفت‌کش پاراکوات (گراماکسون) و مانکوزب به میزان سه و چهار لیتر در هکتار استفاده کرده و میزان EIQ-FUR معادل ۹۷/۱۴ را داشته است، اما در مقابل، مزرعه شماره ۲ از دو نوع قارچ‌کش ریدومیل (متلاکسیل) و رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) به میزان یک لیتر در هکتار استفاده کرده و EIQ-FUR آن در حدود ۶۹ به دست آمده است. در تحقیقی، اثرات محیطی (EI) تولید سیب‌زمینی در ایتالیا در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ روند کاهشی نشان داد. محققان دلیل آن را به استفاده بیش‌تر از آفت‌کش‌های انتخابی، توسعه فناوری‌های دوست‌دار محیط زیست، مهار آفات و توسعه روش‌های زراعی نسبت دادند (Ioriatti et al., 2011).

نقشه شاخص EIQ-FUR

شکل ۲۳، طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مجموع آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، دو مزرعه شماره ۱ و ۴ در شمال و مرکز منطقه، به دلیل استفاده از آفت‌کش‌های خطرناکی از جمله حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس)، دیازینون و مقادیر بیش از حد علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) و قارچ‌کش مانکوزب، در طبقه ۱۰۰-۱۵۰ یا کلاس آسیب محیط -زیستی زیاد قرار گرفتند. همچنین سه مزرعه در بخش مرکزی و جنوبی منطقه در طبقه آسیب متوسط به محیط زیست در نظر گرفته شدند. تنوع دادن به سموم مصرفی و استفاده از انواع مختلف سموم در یک گروه آفت‌کشی مانند قارچ‌کش‌ها، به مراتب



شکل ۲۳- طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مزارع سیب‌زمینی (EIQ-FUR) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 23- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

نتیجه‌گیری

های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون، قارچ‌کش فولیکور (تبوکونازول) و حشره‌کش‌های کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها در مزارع مورد بررسی معرفی شدند. بیش‌ترین میزان آسیب به کارگر مزرعه در گروه علف‌کش‌ها متعلق به پاراکوات (گراماکسون)، در گروه حشره-کش‌ها مربوط به فوزالن، کلرپیریفوس و بیسکایا (تیاکلوپراید) و در

به‌طور کلی، در میان محصولات مورد مطالعه در منطقه، می‌توان نتیجه گرفت که اثر محیط زیستی و آلودگی ناشی از کشت سیب-زمینی بیش‌تر از محصولات دیگر می‌باشد. به‌طور کلی، براساس میانگین این آسیب‌های ذکرشده یعنی شاخص EIQ برای هر آفت-کش، قارچ‌کش آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، حشره‌کش-

مدیریت اشتباه در زراعت سیب‌زمینی منطقه می‌باشد که آن را به‌عنوان دومین آفت‌کش خطرناک منطقه معرفی کرد. همچنین حشره‌کش‌های دورسبان (کلریپیفوس) (۱/۵ لیتر) و دیازینون (یک لیتر) و قارچ‌کش توپسین‌ام (تیوفانات متیل) (یک لیتر) در واحد هکتار به‌ترتیب EIQ-FUR و اثر محیط زیستی بالاتری نسبت به سایر آفت‌کش‌ها ایجاد کردند و بنابراین، در استفاده یا جایگزینی آن‌ها لازم است که برنامه‌ریزی بیش‌تری شود. با توجه به ضرورت برنامه‌ریزی جهت استفاده سموم و آگاه‌سازی کشاورزان از مخاطرات مصرف و توجه به استفاده از آفت‌کش‌های کم‌آسیب، پیشنهاد می‌شود که این شاخص در خصوص کلیه آفت‌کش‌های مورد استفاده منطقه محاسبه گردد و انتخاب سموم در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات با توجه به این شاخص صورت پذیرد.

گروه قارچ‌کش‌ها به مانکوزب، آلتوکمی (سایپروکونازول + کاربندازیم) و فولیکور (توکونازول) تعلق گرفت و به‌طور کلی، در مصرف علف‌کش پاراکوات، بیش‌ترین آسیب متوجه کارگران مزرعه خواهد بود. بیش‌ترین اثر محیط زیستی در واحد یک هکتار متعلق به قارچ‌کش مانکوزب با EIQ-FUR برابر با ۶۱/۷۲ می‌باشد. این قارچ‌کش EIQ متوسطی (۲۵/۷۲) در مقایسه با آفت‌کش‌هایی همچون آلتوکمی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، دورسبان (کلریپیفوس) و دیازینون و غیره دارد، اما به‌دلیل بالا بودن درصد ماده مؤثره آن (۰/۸ درصد) و همچنین مصرف بیش از حد استاندارد آن در مزارع سیب‌زمینی منطقه (سه لیتر در هکتار)، بیش‌ترین آسیب و سمیت را بر محیط زیست وارد می‌کند. همچنین افزایش دفعات و مقدار مصرف علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) در مزارع سیب‌زمینی (چهار لیتر در هکتار) نیز هشدار بر آلودگی محیط زیست ناشی از

References

1. Arefi, R., Soltani, A., & Ajam Noroozi, H. (2017). Environmental assessment of agricultural pesticides used in cotton fields in Golestan province. *Journal of Agroecology*, 10(4), 1135-1148. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V10I4.61847>
2. Ansah, B. (2019). Assessment pesticides application and impacts among smallholder cocoa farmers in western Region-Ghana. Thesis submitted to the Department of Environmental Science of the School of Biological Sciences, College of Agriculture and Natural Sciences, University of Cape Coast, in partial fulfilment of the requirements for the award of Master of Philosophy degree in Environmental Science.
3. Balali, H., & Mohammadi, M. (2019). Investigating the economic behavior of wheat farmers in Kermanshah to reduce the negative environmental impacts of chemical fertilizers (Application of Contingent Valuation Method). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50(4), 643-657. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJAEDR.2019.275898.668722>
4. Barghi, H., Hassaninezhad, A., & Shayan, M. (2017). Evaluate the effect of agricultural inputs and chemical pesticides on rurals' environment (Case study: Zarindasht city rural area). *Environmental Hazards Management*, 4(3), 247-262. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/JHSCI.2018.248113.306>
5. Barzegar, S.M.M. (2019). Piece toxinx and chemical fertilizers on the soil and the health of the biologists. 16th Iranian soil science Congress University of Zanjan, Iran, August 27-29. (in Persian)
6. 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>.
7. Bues, R., Bussi res, P., Dadomo, M., Dumas, Y., Garcia-Pomar, M.I., & Lyannaz, J.P. (2004). Assessing the environmental impacts of pesticides used on processing tomato crops. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 102, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.08.007>
8. Dehghani, R., Limoe, M., & Zarghi, I. (2012). The review of pesticide hazards with emphasis on insecticide resistance in arthropods of health risk importance. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*, 17(1), 82-98. (in Persian with English abstract): <http://sjku.muk.ac.ir/article-1-742-fa.html>
9. Fazel Abad Agricultural Service Center. (2022). Management of crops and horticulture. <https://www.ajgol.ir>
10. 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>.
11. Gunier, R.B., Harnly, M.E., Reynolds, P., Hertz, A., & Von Behren, J. (2001). Agricultural pesticide uses in

- California: Pesticide prioritization, use densities, and population distributions for a childhood cancer study. *Environmental Health Perspectives*, 109(10), 1071-1078. <https://doi.org/10.2307/3454963>
12. 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. College of Plant Production. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requierments for the Degree of M.Se. in Agro-Ecology. Gorgan University of Agriculuyural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (in Persian with English abstract)
13. Ioriatti, C., Agnello, A.M., Martini, F., & Kovach, J. (2011). Evaluation of 330 the environmental impact of apple pest control strategies using pesticide risk indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(4), 542-9. <https://doi.org/10.1002/ieam.185>
14. Kihanian, A.K., Berari, H., & Taghi Mubasheri, M. (2023). Investigating the efficiency of some new insecticides to control rapeseed fleas. *Oilseed Plant Promotion Journal*, 3(1), 44-49. (in Persian).
15. 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. <https://hdl.handle.net/1813/55750>
16. Kromann, P., Pradel, W., Cole, D., Taïpe, A., & Forbes, G.A. (2011). Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impact of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production. *Journal of Environmental Protection*, 2, 581-591. <https://doi.org/10.4236/jep.2011.25067>
17. Molaei, M., Javanbakht, O., & Hesari, N. (2017). The estimation input-oriented environmental efficiency of agricultural products (Case study: Environmental efficiency of rice production). *Aricultural Economics Journal*, 11(2), 157-172. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/IAES.2017.26798>
18. 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>
19. 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>
20. 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>
21. Norouzi, A., & Shabbazi, I. (2011). The role of extension education in development of organic agriculture in Iranian villages. *Journal of Community Development*, 2(2), 1-22. (in Persian with English abstract)
22. 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. *PeerJ*, 2(1), e364. <https://doi.org/10.7717/peerj.364> .
23. Prasopsuk, J., Promkhambut, A., Laohasiriwong, S., & Boonthai Iwai, CH. (2020). Risk assessment of pesticide use in Chinese kale cultivation of GAP and conventional practice by EIQ in North-East Thailand. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 11(2), 7-11.
24. 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 with English abstract)
25. Sookhtanlou, M., & Allahyari, M.S. (2021). Farmers' health risk and the use of personal protective equipment (PPE) during pesticide application. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12502-y>
26. Thanh Thuan, N., & Hang, H.T. (2023). Assessment of the health and ecological risks caused by fungicides in *Chrysanthemum* cultivation by environmental impact quotient. *Dalat University Journal of Science*, 13(2), 63-75. [https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.13.2.1079\(2023\)](https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.13.2.1079(2023))
27. Turgut, C., & Erdogan, O. (2005). The environmental risk of pesticide in cotton production in Aegean region, Turkey. *Journal of Applied Science*, 5(8), 1391-1393. <https://doi.org/10.3923/jas.2005.1391.1393>
28. Vaezzadeh, V., Mashinchian Moradi, A., Esmaili Sari, A., & Fatemi, A.M. (2008). Study of organochlorine pesticides in muscle tissue of two commercial fish species (*Cyprinus carpio* & *Rutilus frisii kutum*) in Southwest of the Caspian Sea. *Environmental Sciences*, 5(3), 33-40. (in Persian with English abstract)
29. Vercruysee, F., & Steurbaut, W. (2002). POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator.

- Crop Protection*, 21, 307-315. [https://doi.org/10.1016/s0261-2194\(01\)00102-8](https://doi.org/10.1016/s0261-2194(01)00102-8)
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 area using EIQ. *Journal of Agroecology*, 9(4), 1020-1030. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.50487>



The Effect of Different Levels of Vermicompost and Chemical Fertilizer on some Quantitative and Qualitative Traits of Three Maize (*Zea mays* L.) Cultivars

Mohammad Akbari¹, Gholamreza Heidari^{2*}, Shiva Khalesro² and Mohammad Majidi³

1- M.Sc. Graduated, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandajm, Iran

2- Associate Professor, Department of Engineering of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- Assistant professor, Agricultural Jihad Organization of Kurdistan Province, Sanandaj, Iran

(* - Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 03-08-2024
Revised: 25-11-2024
Accepted: 26-44-2024
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:

Akbari, M., Heidari, G., Khalesro, S., & Majidi, M. (2025). The effect of different levels of vermicompost and chemical fertilizer on some quantitative and qualitative traits of three maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Agroecology*, 17(1), 91-107. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.89207.1205>

Introduction

Maize is a primary source of food for humans, livestock and industrial purposes. Silage maize is a crucial feed crop on livestock farms worldwide, primarily used to enhance livestock productivity and performance. The high utilization of maize for silage is attributed to its substantial green fodder mass production, high energy content in dry matter, quality biomass, low buffering capacity, and high soluble carbohydrate levels. However, improper use of chemical fertilizers in maize cultivation has led to soil and environment pollution and soil quality degradation. Continuous use of these fertilizers can result in soil toxicity and deficiencies in essential macro and micronutrients. Sustainable agriculture aims to reduce chemical fertilizer usage and enhance soil nutrient cycling by substituting chemical inputs with organic fertilizers, thereby increasing yield per unit area and improving agricultural product quality. Vermicompost, an organic fertilizer, enhances elements absorption by crops by increasing root cell membrane permeability, stimulating root growth, and promoting root hair proliferation. This experiment aimed to investigate the response of maize cultivars to different levels of vermicompost and chemical fertilizers to optimize crop nutrition management and reduce chemical fertilizers consumption, supporting sustainable agriculture.

Materials and Methods

This research was conducted at the Grizeh Agricultural Jihad Organization farm in Kurdistan Province during the 2022 cropping season. The experiment was designed as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications. The main factor included different fertilizer levels: Control (no fertilizer), vermicompost at 5 ton.ha⁻¹, vermicompost at 3.75 ton.ha⁻¹ + 25% recommended chemical fertilizer, vermicompost at 2.5 ton.ha⁻¹ + 50% recommended chemical fertilizer, and 100% recommended chemical fertilizer (150 kg.ha⁻¹ of urea + 200 kg.ha⁻¹ of superphosphate + 50 kg.ha⁻¹ of potassium sulfate). The subfactor



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

 <https://doi.org/10.22067/agry.2024.89207.1205>

included three maize cultivars: SC 704 (120 days, mid-ripe), ZP 600 (110-120 days, mid-ripe) and Album (90-95 days, early). Data were analyzed using SAS 9.1 software, and mean comparisons were made using the LSD test. Graphs were created using Excel software.

Results and Discussion

Results showed that the highest contents of grain nitrogen, phosphorus, oil and starch were observed in the treatment of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer. The highest grain yield (8.85 ton.ha^{-1}) and dry forage yield ($20.24 \text{ ton.ha}^{-1}$) were also observed in this treatment. The highest amount of silage fodder protein content was obtained from the treatment of 100% recommended chemical fertilizer. The highest forage protein yield was observed in the treatment with 100% of the recommended chemical fertilizer which did not show a significant difference compared to the treatment with a combined application of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer. Additionally, the highest percentage of silage fodder ash and neutral detergent fibers were found in the treatment of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer. No significant difference was observed between the studied cultivars in terms of grain and forage yield; however, the grain oil and starch content in the SC 704 cultivar was higher than in the other cultivars studied. Among the reasons for the increase in grain and forage yield in the integrated treatments of chemical fertilizer and vermicompost, we can mention the greater compatibility between available soil nitrogen and plant needs in integrated levels. So that at the beginning of growth, when the nutritional requirement is low, the amount of inorganic nitrogen in organic fertilizers is lower than that of chemical fertilizers, but in the stages of reproductive growth, due to the continuation of the mineralization process, absorption continues for a longer period of time.

Conclusion

The combined fertilizer treatment of 2.5 tons of vermicompost per hectare + 50% of the recommended chemical fertilizer was superior to other fertilizer treatments concerning most traits related to the quality and yield of maize grain and forage. In general, the use of organic manures such as vermicompost, while significantly reducing the consumption of chemical fertilizers, can reduce the harmful environmental effects caused by their use.

Keywords: Crude protein, Grain starch, Neutral insoluble fibers, Organic matter

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۹۱-۱۰۷

اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر برخی صفات کمی و کیفی سه رقم ذرت
(*Zea mays* L.)محمد اکبری^۱، غلامرضا حیدری^{۲*}، شیوا خالص رو^۳ و محمد مجیدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶

چکیده

به منظور بررسی اثر مقادیر کودهای ورمی کمپوست و شیمیایی بر برخی صفات کمی و کیفی سه رقم ذرت، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه سنج اجرا شد. پنج سطح مختلف کود شامل شاهد (عدم مصرف کود)، ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار، ۳/۷۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده (۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) به کرت‌های اصلی و سه رقم ذرت شامل SC 704، ZP 600 و والیوم به کرت‌های فرعی اختصاص یافتند. بیشترین مقادیر نیتروژن، فسفر، روغن، نشاسته و عملکرد دانه در تیمار ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده گردید. در بین ارقام مورد مطالعه، از نظر عملکرد دانه و علوفه تفاوت معنی داری مشاهده نشد، ولی میزان روغن و نشاسته دانه در رقم SC 704 بیشتر از سایر ارقام بود. بیشترین درصد و عملکرد پروتئین علوفه سیلویی در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده به دست آمد. علاوه بر این، بالاترین درصد خاکستر علوفه سیلویی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده حاصل گردید. نتایج آزمایش نشان داد که تیمار ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده از لحاظ اکثر صفات مرتبط با کیفیت و عملکرد دانه و علوفه نسبت به سایر تیمارهای کودی برتری داشت.

واژه‌های کلیدی: الیاف نامحلول در شوینده خنثی، پروتئین خام، کود آلی، نشاسته دانه

مقدمه

L. شناخته می‌شود. این محصول در بسیاری از کشورها به عنوان منبع اصلی کالری برای انسان‌ها و همچنین خوراک دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایالات متحده، چین و برزیل از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان ذرت در جهان هستند. این محصول همچنین به عنوان ماده اولیه در تولید سوخت‌های زیستی و محصولات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Erenstein et al., 2022). در ایران نیز، ذرت به عنوان محصولی با قدرت رشد زیاد و مقاوم در برابر تنش‌های محیطی مورد توجه بسیاری از کشاورزان و کارشناسان کشاورزی قرار گرفته است. کشت ذرت در ایران به منظور تولید دانه، علوفه و مواد غذایی دیگر

ذرت در سطح جهانی به عنوان یکی از سه محصول اصلی زراعی به همراه گندم (*Triticum aestivum* L.) و برنج (*Oryza sativa*)

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- استادیار، سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، سنندج، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: g.heidari@uok.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.89207.1205>

(مانند ذرت شیرین) به‌کار می‌رود. در حال حاضر، نزدیک به ۱۱۶۳/۳ میلیون تن ذرت توسط بیش از ۱۷۰ کشور جهان در مساحت حدود ۲۰۳/۴ میلیون هکتار با میانگین عملکرد ۵/۷۱ تن در هکتار تولید می‌شود (FAOSTAT, 2022). سطح زیر کشت ذرت در ایران ۱۵۹۱۰۶ هکتار به‌صورت دانه‌ای و ۳۸۵۸۸۲ هکتار به‌صورت علوفه می‌باشد و متوسط عملکرد دانه و علوفه به‌ترتیب ۷۱۳۹ و ۴۸۱۹۱ کیلوگرم در هکتار است (Anonymous, 2022). ذرت در غرب ایران به‌عنوان مهم‌ترین محصول بعد از غلات زمستانه مانند گندم و جو (*Hordeum vulgare* L.) کشت می‌شود (Sadeghi & Mahrokh, 2020). سطح زیر کشت آن در استان کردستان ۲۸۵۱ هکتار با میانگین عملکرد دانه ۶۴۴۲ کیلوگرم در هکتار و میانگین علوفه تر ۵۶۵۱۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Anonymous, 2022). ویژگی‌هایی نظیر کیفیت قابل قبول علوفه، عملکرد بالای علوفه در واحد سطح و قابلیت هضم بالا توسط دام‌ها در ذرت (*Zea mays* L.) موجب شده است که این گیاه به‌عنوان یکی از مطلوب‌ترین گیاهان علوفه‌ای مورد کشت و کار قرار گیرد (Mahmud & Rahouma, 2021). خوش‌خوراکی و ارزش غذایی گیاهان گوارش‌پذیری از جمله فاکتورهای مورد بررسی در کیفیت علوفه می‌باشند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تعیین کیفیت علوفه، خوش‌خوراکی آن است که میزان مصرف علوفه توسط دام را تحت تأثیر قرار می‌دهد، علاوه‌براین ارتباط مستقیم با ترکیبات شیمیایی علوفه دارد. به عبارت دیگر، مجموع عواملی که موجب می‌شود یک علوفه در مقابل علوفه دیگر برای دام قابل قبول‌تر باشد، خوش‌خوراکی علوفه نامیده می‌شود (Mohammadi et al., 2020). یکی از راهکارهای کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و آثار مخرب آن‌ها بر چرخه‌های حیات و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی، استفاده از کودهای آلی می‌باشد (Kannayan, 2020; Akintoye et al., 2008). در طی دوره گذار از کشاورزی متداول به کشاورزی پایدار، کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی، به‌عنوان روشی برای کشاورزی جایگزین، در راستای حفظ عملکرد محصول در سطح قابل قبول و حداقل آثار مخرب زیست‌محیطی مطرح گردیده است. در واقع، کودهای آلی و استفاده تلفیقی از کودهای معدنی و آلی از جمله فناوری‌های اصلی جایگزین در مدیریت حاصلخیزی خاک هستند که برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی استفاده می‌شوند (Sharma, 2015). ورمی‌کمپوست متشکل از

ورمی (کرم‌های خاکی) و کمپوست (کود آلی حاصل از ضایعات صنعتی، شهری و کشاورزی) بوده و یک کود آلی زیستی محسوب می‌شود. بهبود ساختمان خاک و افزایش تهویه، همچنین جذب رطوبت و نگهداری آب از جمله مزایای استفاده از ورمی‌کمپوست می‌باشد. کربن آلی موجود در ورمی‌کمپوست، موجب آزادسازی آرام و یکنواخت عناصر غذایی در حوزه گسترش ریشه گیاه می‌شود و از این‌رو، قابلیت دسترسی گیاه به این عناصر افزایش می‌یابد (Laegreid et al., 2008).

استفاده از مواد آلی در ترکیب با کودهای معدنی، مفیدتر از کاربرد آن به‌تنهایی است و گنجاندن آن‌ها در سیستم‌های تولید محصولات زراعی اثرات منفی تنش‌های خشکی و شوری را کاهش می‌دهد. این نوع مدیریت تغذیه‌ای، مواد آلی خاک را افزایش و pH خاک را کاهش می‌دهد، دسترسی به مواد مغذی خاک را بهبود می‌بخشد، سطح ریزمغذی‌ها را در خاک افزایش داده و سبب افزایش عملکرد محصول می‌شود (Silva et al., 2017). کود ورمی‌کمپوست حاصلخیزی خاک، خواص فیزیکوشیمیایی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) را افزایش می‌دهد. علاوه‌براین، ورمی‌کمپوست به‌طور قابل‌توجهی ساختار خاک، تخلخل، دمای خاک، هوادهی و حفظ آب را بهبود می‌بخشد (Sigaye, 2022). استفاده ترکیبی از کودهای آلی (مانند ورمی‌کمپوست) با کودهای معدنی اهمیت قابل‌توجهی در مدیریت حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد گیاهان زراعی دارد (Ahmed et al., 2007). مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف، نتایج مثبت مدیریت یکپارچه مواد مغذی را در بسیاری از زمینه‌ها نشان می‌دهد (Laekemariam & Gidago, 2012). در یک مطالعه، کاربرد تلفیقی کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در تیمار تلفیقی ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی توصیه‌شده (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) حاصل شد (Karimi et al., 2012). در مطالعه‌ای دیگر روی ذرت، استفاده تلفیقی از کود شیمیایی نیتروژن و فسفر و کود دامی منجر به تولید عملکرد دانه بالاتری نسبت به کاربرد منفرد کود شیمیایی و یا کود دامی گردید (Negassa et al., 2005). فرانسس و همکاران (Francis et al., 2021) گزارش کردند که کارایی دریافت نیتروژن و عملکرد در گیاهان زراعی، در صورتی که

کیلوگرم گوگرد خالص در هکتار) بودند. مقادیر کود ورمی کمپوست انتخاب شده در تیمارهای کودی براساس درصد عناصر غذایی موجود در آن و معادل کود شیمیایی توصیه شده بود. ارقام ذرت نیز شامل سینگل کراس SC 704 (۱۳۰ روزه، دیررس)، ZP 600 (۱۱۰-۱۲۰ روزه، میان‌رس) و والبوم (۹۵-۹۰ روزه، زودرس) بودند. نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش قبل از اجرای پژوهش و ورمی کمپوست مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. مساحت هر واحد آزمایشی فرعی ۱۵ مترمربع به طول پنج متر و عرض سه متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر منظور شد. در هر کرت، پنج ردیف کاشت به طول پنج متر در نظر گرفته شد. فاصله بین بلوک‌ها نیز دو متر بود. تیمارهای کودی آزمایش قبل از کاشت اعمال شدند. کاشت گیاه در تاریخ ۱۴ خرداد سال ۱۴۰۱ به صورت مسطح انجام گردید. فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر منظور گردید. آبیاری به صورت بارانی انجام شد. دور آبیاری معادل هفت روز یک‌بار بود. در طول فصل رشد، مراقبت‌های لازم برای گیاه مانند وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد.

به منظور اندازه‌گیری کیفیت علوفه ذرت در هر یک از تیمارها، از هر کرت سه بوته کامل شامل شاخ و برگ و بلال در مرحله شیری شدن دانه (رقم سینگل کراس SC 704 ۹۵ روز، رقم ZP 600 ۸۵ روز و رقم والبوم ۷۵ روز پس از کاشت) از محل طوقه در سطح خاک قطع گردید و پس از اینکه به قطعات کوچک خرد شد، در سیلوی آزمایشی سیلو گردید. بعد از سپری شدن ۴۰ روز از زمان ذخیره‌سازی، سیلوهای آزمایش باز شد و از سیلاژ هر تیمار، نمونه‌ای برای بررسی اثر تیمارهای آزمایشی برداشت گردید. در مرحله بعد، نمونه‌ها در آن با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. بعد از خشک شدن نمونه‌ها به وسیله آسیاب دارای الک دو میلی‌متری الک گردید و صفات مربوط به کیفیت علوفه اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های کیفی علوفه شامل درصد پروتئین خام علوفه^۱ با استفاده از دستگاه کجلدال (Nelson & Sommers, 1973)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی^۲ به روش ون سوست و همکاران (Van Soest et al., 1991) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی^۳ به روش استاندارد انجمن شیمی

ترکیب مناسبی از کود شیمیایی و آلی دریافت کرده باشند، بیشتر از زمانی است که هر یک از آن‌ها به صورت منفرد و در مقادیر بالا مصرف شوند و دلیل این امر را به نقش مؤثر کود شیمیایی در تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در مراحل ابتدایی و کود آلی در دوره‌های بعدی نسبت دادند. در پژوهشی، کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی سبب بهبود شاخص‌های کیفی علوفه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) از لحاظ پروتئین خام و فیبر نامحلول در شوینده‌های خنثی و اسیدی گردید (Sher et al., 2022). در آزمایش قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2018)، منابع مختلف کود اثر معنی‌داری بر درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه ذرت داشتند. این محققان گزارش کردند که در تیمارهای کودی تلفیقی، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در وضعیت بهتری در مقایسه با شاهد یا کاربرد جداگانه کودها بوده و استفاده توأم کودهای شیمیایی و آلی باعث بهبود کیفیت علوفه ذرت شده است. هدف از اجرای این آزمایش، بررسی واکنش ارقام ذرت علوفه‌ای به مصرف همزمان ورمی کمپوست و کود شیمیایی به منظور مدیریت صحیح تغذیه‌ای گیاه و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی سازمان جهاد کشاورزی گریزه واقع در استان کردستان (با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۰۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا شد. میانگین درجه حرارت ماهیانه و مجموع بارندگی ماهیانه در سال اجرای تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. پنج سطح مختلف کود به عنوان عامل اصلی و سه رقم ذرت به عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار، ۳/۷۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده براساس آزمایش خاک، ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده براساس آزمایش خاک و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده براساس آزمایش خاک (۱۵۰ کیلوگرم اوره معادل ۶۹ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار + ۲۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات معادل ۹۲ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم معادل ۲۵ کیلوگرم پتاسیم خالص و ۹

1- CP (Crude protein)

2- NDF (Neutral detergent fiber)

3- ADF (Acid detergent fiber)

داناتان کشاورزی (AOAC, 1999) اندازه‌گیری شدند. همچنین برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک در هکتار، مساحتی معادل دو مترمربع برداشت و بر حسب تن در هکتار ثبت گردید.

برای تعیین تأثیر مصرف کودهای اعمال شده بر عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی موجود در دانه، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه (رقم سینگل کراس 704 SC ۱۳۰ روز، رقم ZP 600 ۱۲۰ روز و رقم والبوم ۱۰۵ روز پس از کاشت) از هر کرت آزمایشی به مساحت یک مترمربع نمونه‌برداری انجام شد. استخراج نشاسته دانه به‌روش مک‌کریدی (McCready et al., 1950) انجام شد. در این روش، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاوی نشاسته با نه میلی‌لیتر از معرف آنترون مخلوط و به‌مدت ۵۰ دقیقه در دمای ۱۲ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از سرد شدن لوله‌ها، جذب نور آن‌ها در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت شد. نیتروژن دانه به‌روش نلسون و سامرس (Nelson & Sommers, 1973) به‌وسیله دستگاه کج‌لدال اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فسفر دانه به‌روش ریان و همکاران (Ryan et al., 2007) انجام شد. به این منظور، نمونه‌های بذری ۵۰ گرمی از هر کرت انتخاب گردید و با آب مقطر شستشو داده شد. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. در ادامه، نمونه‌های خشک‌شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر گردیدند و یک گرم از پودر آن‌ها در کروزه ریخته شد. کروزه‌ها به‌مدت پنج ساعت در کوره با دمای ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از سرد شدن، محتوای هر کروزه به ارلن ۱۰۰ سی‌سی منتقل و ۲۰ سی‌سی اسید هیدروکلریک یک درصد به آن اضافه شد. ارلن به‌مدت ۲۰ دقیقه، به‌طور غیرمستقیم حرارت داده و در پایان، محتوای آن از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس عصاره نمونه‌ها توسط هضم به‌روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریک تهیه گردید. میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانات) و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای استخراج روغن از روش سوکسله استفاده شد. به این منظور، از هر کرت مقدار ۲۰ گرم بذر به‌طور تصادفی انتخاب و جهت خشک کردن کامل در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. نمونه‌های خشک‌شده در آسیاب به‌طور جداگانه و یک‌نواخت خرد شدند و از هر نمونه، ۱۰ گرم با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱

گرم توزین گردید. پس از آن، نمونه‌ها در کارتوش‌های صافی مخصوص استخراج روغن ریخته و کارتوش با یک تکه پنبه مسدود گردید. لوله‌های مخصوص دستگاه سوکسله در حرارت 100 ± 2 درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و پس از یک ساعت، توزین لوله‌های خشک‌شده با دقت ۰/۰۰۱ گرم صورت گرفت. صافی‌های کارتوش حاوی ۱۰ گرم نمونه، درون لوله قرار داده شدند. پس از آن، نمونه‌ها به داخل لوله‌های حلال (اتیل اتر) ریخته شد و در دستگاه با دمای ۱۰۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت سه ساعت قرار گرفتند. پس از اتمام مدت زمان تصفیه شده، لوله‌ها از دستگاه آون خارج شدند و مجدداً در آون با دمای 100 ± 2 درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند تا حلال باقی‌مانده آن خارج گردد. سپس لوله‌های سردشده حاوی روغن با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم توزین گردیدند و از تفاضل وزن لوله‌های حاوی روغن و لوله‌های خالی که قبلاً توزین شده بودند، وزن روغن محاسبه و از معادله زیر درصد روغن نمونه‌ها مشخص گردید (Pomeranz & Clifton, 1994):

$100 \times (\text{وزن نمونه برداشت شده} / \text{مقدار روغن نمونه}) = \text{درصد روغن نمونه}$

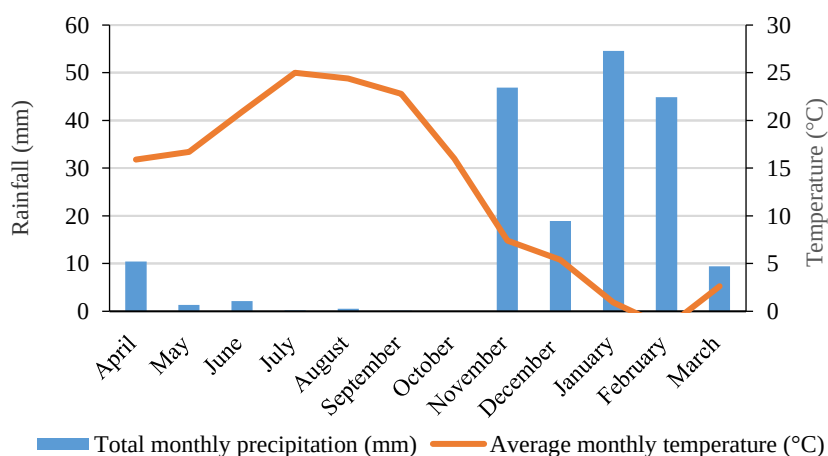
تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین تیمارها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

عملکرد و صفات کیفی دانه

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل کود و رقم از لحاظ این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۸/۸۵ تن در هکتار) در تیمار کاربرد ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و کمترین میزان آن (۵/۱۴ تن در هکتار) در شاهد مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ۱- میانگین دما و مجموع بارندگی ماهیانه در سال ۱۴۰۱ در محل اجرای آزمایش
 Fig. 1- Mean temperature and total monthly rainfall in 2022 at the site of the experiment

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه تحقیقاتی و ورمی کمپوست مورد استفاده در آزمایش
 Table 1- Characteristics of the soil of the research farm and vermicompost used in the experiment

ویژگی Characteristic	خاک Soil (0-30)	ورمی کمپوست Vermicompost
بافت Texture	لومی رسی Clay loam	-
شاخص واکنش عصاره اشباع pH	8.1	7
هدایت الکتریکی EC (ds.m ⁻¹)	0.582	1.55
ماده آلی Organic matter (%)	1.53	27.39
نیتروژن کل Total N (%)	0.08	1.37
پتاسیم قابل دسترس Available K (mg.kg ⁻¹)	421	13300
فسفر قابل دسترس Available P (mg.kg ⁻¹)	4.6	8200

مانند اسیدهای هیومیک، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها می‌باشد. این تنظیم‌کننده‌ها در اثر فعالیت کرم‌های خاکی و ریزجاندارانی مانند قارچ‌ها و باکتری‌های اکتینومیست تولید می‌شوند که باعث افزایش رشد گیاه و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی می‌شوند (Singh et al., 2008; Arancon et al., 2005). همچنین، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک و به دنبال آن بهبود رشد رویشی و توسعه بیشتر سطح برگ جهت تولید و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه از جمله

از جمله دلایل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای مصرف تلفیقی کود شیمیایی و کود ورمی کمپوست می‌توان به مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در سطوح تلفیقی اشاره کرد، به‌طوری‌که در اوایل رشد که نیاز غذایی کم است، میزان نیتروژن معدنی کودهای آلی کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به‌علت تداوم فرآیند معدنی شدن، جذب تا مدت زمان طولانی‌تری ادامه پیدا می‌کند (Curran & Posch, 2010). علاوه‌براین، کود ورمی کمپوست حاوی مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه

دلایل افزایش عملکرد در سطوح کودی تلفیقی می‌باشد (Cheema et al., 2010). توبا (Tufa, 2023) طی آزمایشی افزایش عملکرد دانه ذرت در تیمار تلفیقی مصرف کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست را به جذب بهتر مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن، از منابع معدنی و ورمی‌کمپوست نسبت داد. نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که استفاده تلفیقی از ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و گوگرد به‌طور معنی‌داری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت هیبرید اراضی مرتفع تأثیر گذاشت، به‌طوری‌که کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن،

فسفر و گوگرد به نسبت ۳۰/۶۹/۹۲ کیلوگرم در هکتار همراه با مصرف کود ورمی‌کمپوست به‌میزان ۵۱۹۳ کیلوگرم در هکتار (براساس هم‌ارزی نیتروژن و میزان کودهای نیتروژن، فسفر و گوگرد) سبب حصول بیشترین عملکرد دانه (۶۱۸۷ کیلوگرم در هکتار) گردید (Abera et al., 2019). افزایش عملکرد دانه ذرت در تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی و ورمی‌کمپوست در پژوهش‌های رفیعی و کانونی (Rafie & Koonani, 2018) و شیرخوانی و همکاران (Shirkhani et al., 2019) گزارش شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مصرف منفرد و تلفیقی ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی دانه سه رقم ذرت
Table 2- Analysis of variance for the effects of individual and combined application of vermicompost and chemical fertilizer on the yield and quality characteristics of seed in three maize varieties

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	محتوای روغن دانه Grain oil content	عملکرد روغن دانه Grain oil yield	محتوای نیتروژن دانه Grain N content	محتوای فسفر دانه Grain P content	محتوای نشاسته دانه Grain starch content
تکرار Replication	2	7.47 ^{ns}	0.139 ^{ns}	4.36 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	19.30 ^{ns}
کود Fertilizer	4	77.83 ^{**}	18.59 ^{**}	231407.14 ^{**}	2.07 ^{**}	0.0184 ^{**}	168.8 ^{**}
خطا ۱ Error 1	8	3.89	0.25	196.97	0.02	0.0002	24.83
رقم Cultivar	2	5.02 ^{ns}	1.96 ^{**}	2398.51 [*]	0.016 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	130.97 ^{**}
کود×رقم Fertilizer×cultivar	8	1.94 ^{ns}	0.15 ^{ns}	249.26 ^{ns}	0.020 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	29.23 ^{ns}
خطا ۲ Error 2	20	2.53	0.06	676.19	0.024	0.0003	20.11
ضریب تغییرات CV%		21.3	6.2	8.3	12.4	10.8	7.0

* و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌داری می‌باشد.
non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, respectively. ns:

روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود و رقم بر درصد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲). کاربرد سطوح مختلف کودی موجب افزایش معنی‌دار درصد روغن دانه در مقایسه با شاهد شد، به‌نحوی که بالاترین درصد روغن در تیمار کاربرد تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (معادل ۵/۸۳ درصد) بود. درصد روغن در تیمارهای تلفیقی بیشتر از کاربرد غیر تلفیقی کود شیمیایی و

ورمی‌کمپوست بود. کمترین درصد روغن (۲/۲۸ درصد) نیز در شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که در صورت استفاده تلفیقی از کودهای ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی، رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای و اندام‌های گیاهی در مقایسه با کاربرد جداگانه این کودها بیشتر می‌باشد که نتیجه آن بهبود وضعیت جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت، افزایش درصد روغن در دانه ذرت می‌باشد (Cheema et al., 2010).

بیشترین (۴/۴۲ درصد) محتوای روغن به‌ترتیب در رقم دیررس SC 704 و کمترین (۳/۷۱ درصد) مقدار آن در رقم ZP 600 مشاهده

نیتروژن دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی کود بر درصد نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر رقم و برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر کود بر محتوای نیتروژن دانه نشان داد که مصرفی تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی و نیز کاربرد منفرد کود شیمیایی موجب افزایش درصد نیتروژن دانه ذرت شد، اما کاربرد پنج تن ورمی کمپوست در هکتار نتوانست نیتروژن دانه ذرت را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش دهد. بیشترین مقدار نیتروژن دانه (معادل ۱/۸۷ درصد) در تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و کمترین مقدار آن (معادل ۰/۷۲ درصد) در تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۳).

در ارتباط با افزایش مقدار نیتروژن دانه در تیمارهای کاربرد ترکیبی منابع کودی چنین اظهار نظر شده است که کاربرد معقول و تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی از طریق تقویت ریشه‌های گیاه جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن انباشته‌شده در پروفایل‌های خاک را افزایش می‌دهد که یک راه مؤثر برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن، کاهش آب‌شویی آن و افزایش درصد نیتروژن دانه است. علاوه‌براین، کودهای آلی حاوی مواد فعال زیستی هستند که می‌تواند دسترسی به مواد مغذی را افزایش داده و جذب مواد مغذی را تحریک کند (Demelash et al., 2014). عدم افزایش نیتروژن در تیمار کاربرد منفرد ورمی کمپوست در مقایسه با شاهد ممکن است به مصرف نیتروژن جهت تبدیل کود آلی به هوموس مربوط باشد، زیرا ریشه گیاه و ریزجانداران برای دریافت نیتروژن با هم رقابت می‌کنند، در نتیجه مقدار نیتروژن خاک کاهش یافته و مقدار کمتری جذب گیاه می‌شود (Thind et al., 2021). نتایج به‌دست آمده از تحقیقات نیرانزا و همکاران (Nyiraneza et al., 2009) نشان داد که جذب نیتروژن توسط گیاه ذرت در صورت کاربرد کود اوره، ۹۷/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت و کاربرد همزمان کود اوره و کود گاوی منجر به افزایش ۱۱۰ درصدی جذب نیتروژن نسبت به شاهد شد.

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مصرف منابع کودی بر درصد فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر

شد (جدول ۳). درصد روغن از جمله ویژگی‌های ژنتیکی رقم است، اما با توجه به اینکه ترکیباتی که طی فرآیند فتوسنتز تولید می‌شود، منشأ تولید روغن می‌باشند، بهبود شرایط رشد گیاه، و قابلیت دسترسی به عناصر غذایی می‌تواند باعث افزایش درصد روغن دانه شود (Cheema et al., 2010). ارقام دیررس معمولاً دوره رشد طولانی‌تری دارند که امکان فتوسنتز و جذب کربوهیدرات‌ها را طولانی‌تر می‌کند و در نهایت، منجر به تجمع بیشتر روغن می‌شود. قرارگیری طولانی در معرض نور خورشید و شرایط محیطی مطلوب می‌تواند رشد بافت‌های ذخیره‌کننده روغن را افزایش دهد (Fengshan et al., 2017).

عملکرد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف تلفیقی و منفرد منابع کودی در سطح احتمال یک درصد و اثر رقم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲).

بیشترین عملکرد روغن دانه (۵۱۲/۰۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ترکیبی ۲/۵ تن در هکتار ورمی کمپوست همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده بود و کمترین مقدار آن (۱۱۴/۳۷ کیلوگرم در هکتار) به شاهد تعلق داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که ادغام کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند یک اثر هم‌افزایی با ارائه طیف گسترده‌ای از مواد مغذی در یک دوره طولانی ایجاد کند، که برای تولید عملکرد روغن بالا در ذرت ضروری است (Doan et al., 2015). کاربرد سطوح متوسط کودهای شیمیایی همراه با نهاده‌های آلی می‌تواند عدم تعادل عناصر غذایی بالقوه را جبران کند و عملکرد دانه و به تبع آن، عملکرد روغن دانه ذرت را افزایش دهد (Emamu & Wakgari, 2021). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که مصرف کودهای آلی، از جمله ورمی کمپوست، از طریق بهبود قابلیت دسترسی مواد مغذی و ساختار خاک، بر سلامت خاک و عملکرد محصول تأثیر مثبت دارد (Oyege & Balaji Bhaskar, 2023).

نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر عملکرد روغن دانه نشان داد که بیشترین مقدار این صفت به رقم SC 704 مربوط بود (جدول ۳). بیشتر بودن عملکرد روغن رقم SC 704 را می‌توان به بیشتر بودن درصد روغن آن نسبت داد، زیرا از لحاظ عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه وجود نداشت (جدول ۳).

رقم و اثر متقابل دو فاکتور از لحاظ این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیشترین درصد فسفر دانه (۲/۱۸ درصد) در تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده مشاهده شد. درصد فسفر دانه در تیمارهای کاربرد منفرد پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مصرف تلفیقی ۳/۷۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده در سطوح مشابه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین درصد فسفر دانه در شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که وجود نیتروژن، فسفر و پتاسیم کافی در کودهای شیمیایی به همراه مواد مغذی حاصل از ورمی‌کمپوست، محیط غذایی مطلوبی را برای گیاهان ایجاد می‌کند که منجر به بهبود رشد، عملکرد و کیفیت گیاه شده و به تبع آن، افزایش تجمع فسفر در دانه‌ها را سبب می‌شود (Fereidooni et al., 2017). کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی می‌تواند شسته شدن فسفر محلول را کاهش دهد که یک نگرانی قابل توجه در کشاورزی رایج است. حفظ فسفر در خاک به دلیل ظرفیت بافری مواد آلی مانند ورمی‌کمپوست نیز می‌تواند تأمین پایدارتر و مداوم این ماده غذایی ضروری را برای گیاهان زراعی تضمین کند (Terefe et al., 2024). پژوهشگران دیگری نیز نشان دادند که کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و کودهای زیستی باعث افزایش مقدار فسفر در دانه گیاهان نخود (*Cicer arietinum* L.) و خردل (*Brassica carinata*) شد (Arya et al., 2007).

نشاسته دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر اصلی مصرف منابع کودی بر درصد نشاسته دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر رقم و برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۲). درصد نشاسته دانه در تیمارهای شاهد (عدم مصرف کود)، پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده در یک سطح مشابه آماری قرار داشتند. بیشترین درصد نشاسته معادل ۶۶/۳ درصد در رقم SC 704 و کمترین مقدار آن معادل ۶۰/۵ درصد در رقم والبوم مشاهده شد. درصد نشاسته دانه در ارقام SC 704 و ZP 600 از لحاظ آماری در سطح مشابه قرار گرفتند (جدول ۳). ماهیت غنی از مواد مغذی کودهای ورمی‌کمپوست و شیمیایی (NPK) در سیستم‌های تلفیقی

حاصلخیزی خاک، از سلامت و رشد کلی گیاه حمایت می‌کند و منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی آن می‌شود. نرخ بالاتر فتوسنتز می‌تواند منجر به تولید و ذخیره بیشتر کربوهیدرات‌ها از جمله نشاسته شود (Blouin et al., 2019). علاوه بر این، کاربرد کودهای آلی می‌تواند تعادل هورمونی به‌ویژه اکسین‌ها و جیبرلین‌ها را که در رشدونمو گیاه نقش دارند، تغییر دهد. این اثر تنظیمی ممکن است مسیرهای آنزیمی درگیر در سنتز نشاسته را افزایش دهد (Wei et al., 2016). در آزمایشی، کاربرد تلفیقی کود گاوی و کود شیمیایی (NPK)، درصد نشاسته دانه ذرت را افزایش داد (Nyiraneza et al., 2009). همچنین در مطالعه دیگری در ذرت، نتایج مشابهی در خصوص افزایش درصد نشاسته در اثر کاربرد تلفیقی کود مرغی و کود شیمیایی حاوی نیتروژن و فسفر در مقایسه با شاهد به‌دست آمد (Hirzel et al., 2017).

عملکرد و صفات کیفی علوفه ذرت

عملکرد علوفه خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مصرف تلفیقی و منفرد منابع کودی بر عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی این صفت تحت تأثیر رقم و برهم‌کنش دو فاکتور مورد مطالعه قرار نگرفت (جدول ۴). عملکرد علوفه خشک ذرت در تیمارهای مصرف توأم کود شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای کود شیمیایی خالص و ورمی‌کمپوست خالص بود. بیشترین و کمترین عملکرد خشک علوفه به‌ترتیب معادل ۲۰/۲۴ و ۱۳/۱۲ تن در هکتار به تیمار کاربرد ۲/۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و و شاهد مربوط بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد علوفه خشک در تیمار تلفیقی کود آلی با کود شیمیایی به‌دلیل فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر باشد. از سوی دیگر، کود ورمی‌کمپوست از طریق افزایش عناصر غذایی و میزان هورمون‌های تحریک‌کننده رشد و فعالیت ریزجانداران خاک، باعث افزایش عملکرد علوفه خشک می‌شود (Sher et al., 2022). صبورفرد و همکاران (Sabourifard et al., 2023) طی آزمایشی روی ذرت گزارش کردند که کاربرد کود ورمی‌کمپوست از طریق افزایش توانایی گیاه در دسترسی به نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی گیاه و در نتیجه، افزایش ماده خشک آن می‌شود.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کود و رقم بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی دانه ذرت

Table 3- Mean comparison of the effects of fertilizer and cultivar on grain yield and quality characteristics of maize

تیمارها Treatments	سطوح Levels	عملکرد دانه Grain yield (ton.ha ⁻¹)	روغن دانه Grain oil (%)	عملکرد روغن دانه Grain oil yield (kg.ha ⁻¹)	نیترژن دانه Grain N (%)	فسفر دانه Grain P (%)	نشاسته دانه Grain starch (%)
کود Fertilizer	a1	5.14 ^c	2.28 ^e	114.27 ^e	0.72 ^d	0.106 ^d	59.4 ^b
	a2	6.97 ^b	2.99 ^d	202.51 ^d	0.88 ^d	0.124 ^c	62.0 ^b
	a3	8.33 ^a	4.96 ^b	411.26 ^b	1.17 ^c	0.139 ^c	62.7 ^b
	a4	8.85 ^a	5.83 ^a	512.05 ^a	1.87 ^a	0.218 ^a	70.9 ^a
	a5	8.10 ^a	4.10 ^c	327.36 ^c	1.58 ^b	0.180 ^b	63.9 ^b
LSD 5%		0.97	0.54	25.29	0.17	0.016	3.83
رقم Cultivar	SC 704	7.73 ^a	4.42 ^a	353.24 ^a	1.26 ^a	0.154 ^a	66.30 ^a
	ZP 600	7.52 ^a	3.71 ^b	289.31 ^b	1.25 ^a	0.153 ^a	60.50 ^b
	والبوم Valbom	7.20 ^a	3.96 ^{ab}	298.01 ^b	1.20 ^a	0.152 ^a	64.59 ^a
	LSD 5%	0.74	0.48	21.85	0.13	0.014	3.77

a1: شاهد (عدم مصرف کود)، a2: پنج تن ورمی کمپوست در هکتار، a3: ۳/۷۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، a4: ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، a5: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده

a₁: Control (no fertilizer), a₂: 5 ton.ha⁻¹ of vermicompost, a₃: 3.75 ton.ha⁻¹ of vermicompost + 25% recommended chemical fertilizer, a₄: 2.5 ton.ha⁻¹ vermicompost + 50% Recommended chemical fertilizer, a₅: 100% recommended chemical fertilizer

نتایج پژوهشی نشان داد که مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کود ورمی کمپوست (۲۵ تن در هکتار) با ۵۰ درصد کود شیمیایی نیترژن توصیه شده (۹۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با مصرف جداگانه و ۱۰۰ درصد آن‌ها باعث افزایش عملکرد علوفه خشک ذرت گردید (Pourjamshid et al., 2023).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کود بر عملکرد و کیفیت علوفه سه رقم ذرت

Table 4- Analysis of variance for the effect of different levels of fertilizer on yield and quality of three maize cultivars

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پروتئین خام Crude protein	خاکستر علوفه ASH	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	عملکرد پروتئین Protein yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield
تکرار Replication	2	3.00 ^{ns}	0.55 ^{ns}	7.00 ^{ns}	5.13 ^{ns}	63453.09 ^{ns}	12.73 ^{ns}
کود Fertilizer	4	78.89 ^{**}	10.76 [*]	413.55 ^{**}	242.67 ^{**}	4403856.67 ^{**}	96.85 ^{**}
خطا ۱ Error 1	8	3.04	1.95	14.34	7.55	45813.72	14.89
رقم Cultivar	2	1.32 ^{ns}	0.68 ^{ns}	41.54 ^{ns}	130.39 ^{**}	778.93 ^{ns}	10.54 ^{ns}
کود × رقم Fertilizer × cultivar	8	2.61 ^{ns}	1.59 ^{ns}	10.41 ^{ns}	4.31 ^{ns}	631.33 ^{ns}	4.97 ^{ns}
خطا ۲ Error 2	20	3.01	1.43	13.68	6.32	34350.08	7.83
ضرب تغییرات CV (%)		20.9	29.3	10.0	8.1	12.35	16

*, **, و ^{ns}: به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیر معنی داری می باشد.
non-significant, *: significant at $P \leq 0.05$, **: significant at $P \leq 0.01$, respectively. ^{ns}:

درصد پروتئین خام علوفه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مدیریت تغذیه‌ای بر محتوای پروتئین خام علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه از لحاظ این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین محتوای پروتئین خام علوفه (۱۲/۱۷ درصد) در تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مشاهده شد. درصد پروتئین خام علوفه در تیمارهای پنج تن ورمی کمپوست در هکتار و ۳/۷۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده در سطح مشابه آماری قرار گرفتند، ولی اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار کاربرد منفرد کود شیمیایی داشتند (شکل ۲ الف). درصد پروتئین علوفه زمانی افزایش پیدا می‌کند که نیتروژن قابل دسترس گیاه، بیشتر از نیاز آن برای تولید باشد. زمانی که مقدار نیتروژن کمتر از این حد باشد، تنها عملکرد، افزایش یافته و تغییر معنی‌داری در میزان پروتئین علوفه مشاهده نمی‌شود (Greene et al., 2018). بالاتر بودن درصد پروتئین در تیمار کود شیمیایی در مقایسه با تیمارهای کود تلفیقی، نکته قابل توجه در این آزمایش بود که دلیل این نتیجه را می‌توان ناشی از بالاتر بودن درصد نیتروژن در کود شیمیایی در مقایسه با کود ورمی کمپوست دانست که نتیجه این امر، کاهش توان گیاه در ساخت پروتئین می‌باشد. ایوب و همکاران (Ayub et al., 2002) نیز در آزمایش خود گزارش کردند که درصد پروتئین خام علوفه در تیمارهای کاربرد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمار عدم کاربرد کود بودند.

عملکرد پروتئین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مصرف منابع کودی بر عملکرد پروتئین علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه از لحاظ این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین عملکرد پروتئین علوفه در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۲۲۷۲/۲۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که با تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۱۹۲۲/۸۳ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی اختلاف آن با سایر تیمارهای کودی معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشتر بودن عملکرد پروتئین در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده را می‌توان به درصد بالای

پروتئین در این تیمار نسبت داد (شکل ۲ الف) زیرا از لحاظ عملکرد علوفه با تیمارهای ۳/۷۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده و ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). با توجه به اینکه کودهای شیمیایی، عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را به‌آسانی فراهم می‌کنند، می‌توانند منجر به بهبود قابل مشاهده و سریع در زیست‌توده و عملکرد پروتئین گیاه شوند (Rai et al., 2014). از طرف دیگر، تیمار ترکیبی ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار با ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده، از لحاظ آماری مقدار پروتئین علوفه برابری با تیمار کود شیمیایی توصیه‌شده تولید کرد. این امر نشان می‌دهد که یک رویکرد ترکیبی با استفاده از کودهای آلی و معدنی ممکن است یک استراتژی مناسب برای بهینه‌سازی عملکرد در سیستم‌های تولید علوفه ارائه دهد. اثر هم‌افزایی این تیمار ترکیبی را می‌توان به آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از ورمی کمپوست نسبت داد، که ممکن است حاصلخیزی خاک و فعالیت میکروبی را افزایش دهد و همراه با کودهای شیمیایی سهل‌الوصول عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را فراهم کند (Sher et al., 2022).

درصد خاکستر علوفه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر مصرف منابع کودی بر درصد خاکستر علوفه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه از لحاظ این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین درصد خاکستر علوفه در تیمارهای مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۵/۴۷ درصد) و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه‌شده (۴/۷۶ درصد) مشاهده شد. درصد خاکستر علوفه سیلویی در شاهد (عدم مصرف کود) و تیمار کاربرد پنج تن در هکتار ورمی کمپوست در یک سطح آماری مشابه قرار گرفتند (شکل ۲ ب). خاکستر، نماینده کل مواد معدنی و غیر آلی می‌باشد. محتوای خاکستر علوفه، تشکیل شده از مواد کانی می‌باشد. این ترکیبات نقش مهمی در ساخت ویتامین‌ها، سنتز آنزیم‌ها، تولید هورمون‌ها، ساخت بافت و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک وابسته به رشد دارند (Greene et al., 2018). در آزمایش حاضر از لحاظ خاکستر علوفه، تفاوتی بین ارقام مورد مطالعه مشاهده نشد (جدول ۴). نتایج پژوهش ایوب و

همکاران (Ayub et al., 2002) نشان داد که درصد خاکستر علوفه ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی داری نداشتند که این نتیجه منطبق بر نتیجه حاصل از این آزمایش می باشد.

الیاف نامحلول در شوینده خنثی

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر مصرف منابع کودی بر محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، ولی اثر رقم و اثر متقابل کود در رقم بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۴). بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۴۶/۱ درصد) به شاهد (بدون مصرف کود) مربوط بود و کمترین مقدار آن (۲۹/۷ درصد) در تیمار ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده مشاهده گردید که با تیمار کاربرد منفرد کود شیمیایی به میزان ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده، اختلاف معنی داری نداشت (شکل ۲ ج). نتایج پژوهشی در خصوص تأثیر تیمارهای کودی بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کود موجب افزایش رشد رویشی، افزایش تقسیم سلولی و نازک شدن دیواره سلولی شده که این امر باعث کاهش درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود شده است (Greene et al., 2018).

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات کاربرد منابع کودی و رقم بر مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، ولی اثر متقابل آن ها از نظر این صفت معنی دار نبود (جدول ۴). بیشترین میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۳۵/۲ درصد) به شاهد (عدم مصرف کود) تعلق داشت. تیمارهای پنج تن ورمی کمپوست در هکتار و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده نیز در سطح مشابه آماری با شاهد قرار گرفتند. کمترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از تیمار ترکیبی ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار و ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده حاصل گردید (جدول ۵). نتایج یک بررسی نشان داد که در تیمارهای تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی، مقدار ADF کاهش پیدا می کند که ناشی از اثر افزایشی نیتروژن بر رشد رویشی و انبساط سلولی بوده و در نتیجه، کیفیت علوفه افزایش می یابد (Sher et al., 2019). کوتارس گوا و همکاران (Contreras-Govea et al., 2019) در تحقیق خود بیان کردند با افزایش کود نیتروژن درصد فیبر قابل حل در شوینده اسیدی کاهش یافت که این امر باعث افزایش قابلیت هضم و خوش خوراکی علوفه گردید.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کود و رقم بر عملکرد علوفه خشک و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ذرت
Table 5- Mean comparison of different levels of fertilizer and cultivar effects on dry forage yield and quality

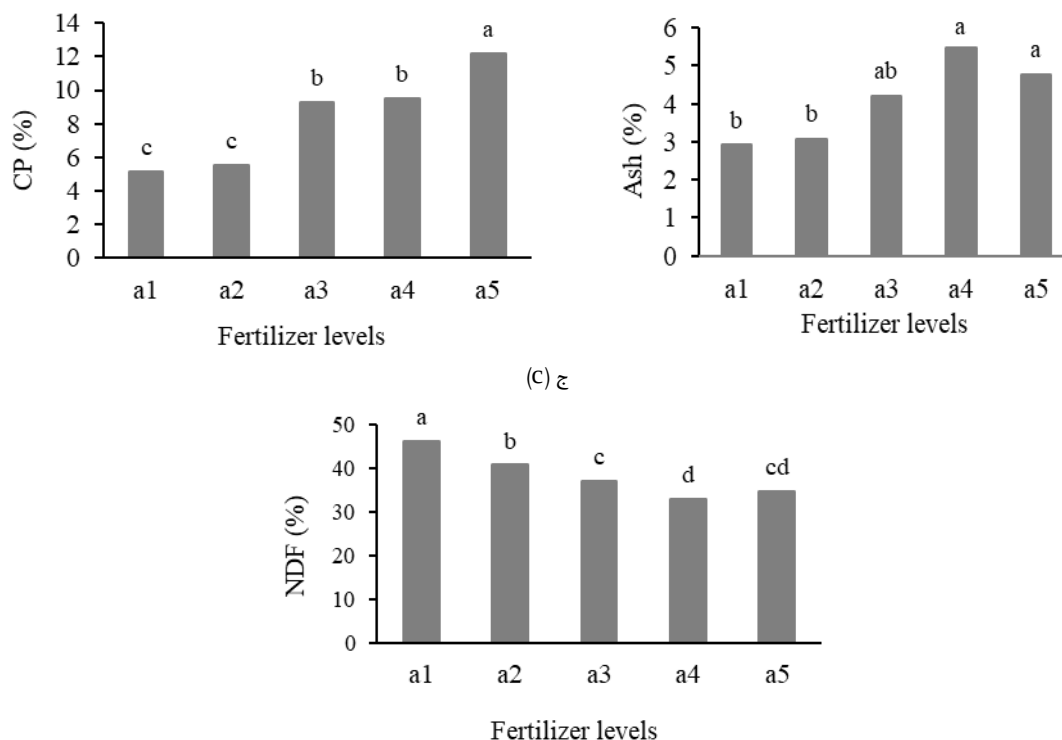
تیمارها Treatments	سطوح Levels	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (%)	عملکرد پروتئین Protein yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (ton.ha ⁻¹)
کود Fertilizer	a ₁	35.2 ^a	674.37 ^c	13.12 ^d
	a ₂	34.3 ^a	861.25 ^c	15.63 ^c
	a ₃	29.0 ^b	1804.85 ^b	19.51 ^a
	a ₄	24.6 ^c	1922.83 ^{ab}	20.24 ^a
	a ₅	26.4 ^{bc}	2272.25 ^a	18.67 ^{ab}
LSD 5%		2.98	367.27	2.19
رقم Cultivar	SC 704	33.9 ^a	1513.16 ^a	17.65 ^a
	ZP 600	28.9 ^b	1499.05 ^a	17.26 ^a
	والبوم Valbom	26.6 ^c	1508.94 ^a	17.49 ^a
	LSD 5%	2.11	221.65	1.86

a₁: شاهد (عدم مصرف کود)، a₂: پنج تن ورمی کمپوست در هکتار، a₃: ۳/۷۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، a₄: ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، a₅: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده

a₁: Control (no fertilizer), a₂: 5 ton.ha⁻¹ of vermicompost, a₃: 3.75 ton.ha⁻¹ of vermicompost + 25% recommended chemical fertilizer, a₄: 2.5 ton.ha⁻¹ vermicompost + 50% Recommended chemical fertilizer, a₅: 100% recommended chemical fertilizer

الف (a)

ب (b)



شکل ۲- اثر سطوح کودی بر پروتئین خام (الف)، خاکستر (ب) و الیاف نامحلول در شوینده خشتی (ج) علوفه ذرت
Fig. 2- The effect of fertilizer levels on crude protein (a), ash (b) and neutral detergent fiber (c) of maize silage fodder

a1: شاهد (عدم مصرف کود)، a2: پنج تن در هکتار ورمی کمپوست، a3: ۳/۷۵ تن در هکتار ورمی کمپوست + ۲۵ درصد کود شیمیایی توصیه شده، a4: ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده، a5: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده
a1: Control (no use of fertilizer), a2: 5 t. h⁻¹ of vermicompost, a3: 3.75 t. h⁻¹ of vermicompost + 25% recommended chemical fertilizer, a4: 2.5 t. h⁻¹ vermicompost + 50% Recommended chemical fertilizer, a5: 100% recommended chemical fertilizer

کیفیت علوفه ذرت افزایش پیدا کند و به تبع آن، مصرف کودهای شیمیایی و اثرات مخرب زیست‌محیطی آن‌ها کاهش یابد. نتایج آزمایش نشان داد که تیمار مصرف تلفیقی ۲/۵ تن ورمی کمپوست در هکتار + ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده از لحاظ اکثر صفات مرتبط با کیفیت و عملکرد دانه و علوفه نسبت به سایر تیمارهای کودی برتری داشت. بین ارقام مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه و علوفه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی میزان روغن و نشاسته دانه در رقم SC 704 بیشتر از سایر ارقام مورد مطالعه در این پژوهش بود. به نظر می‌رسد که ارقام مورد مطالعه در این آزمایش، با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه اجرای آزمایش (سرد و کوهستانی و فصل رشد نسبتاً کوتاه) از لحاظ صفات عملکردی واکنش مشابهی نسبت به سطوح کودی نشان داده‌اند. با توجه به نتایج این تحقیق، کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده و ۲/۵ تن در هکتار کود

علاوه‌براین، بغدادی و همکاران (Baghdadi et al., 2017) نیز در آزمایشی که با هدف بررسی تأثیر تیمارهای آلی و شیمیایی حاوی نیتروژن بر خصوصیات کیفی و کمی ذرت سیلویی هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد، گزارش کردند که درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تیمار کود آلی کمتر از سایر تیمارهای اعمال شده در آزمایش بود. مقایسه میانگین اثر رقم بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نیز نشان داد که بیشترین مقدار این صفت به رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ مربوط بود و کمترین مقدار آن به رقم والیوم تعلق داشت (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

در آزمایش حاضر سعی گردید که از طریق کاربرد تلفیقی کود ورمی کمپوست و کود شیمیایی و انتخاب رقم مناسب، عملکرد و

سیاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه کردستان و مدیریت محترم مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان جهت همکاری در بخش‌های مختلف انجام پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

ورمی کمپوست سبب افزایش عملکرد دانه و روغن و عملکرد علوفه خشک ذرت گردید و شاخص‌های کیفی دانه و علوفه را بهبود بخشید. از این رو، استفاده از کودهای آلی مانند ورمی کمپوست، ضمن کاهش قابل توجه در مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از کاربرد آن‌ها را کاهش دهد.

References

1. Abera, T., Tufa, T., Tola, B., & Kumbi, H. (2019). Effects of vermicompost and NPS fertilizer rate on yield and yield components of highland maize in vertisol ambo. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, 10(1), 1–15.
2. Ahmed, A.U.H., Qadir, I., & Mahmood, N. (2007). Effect of integrated use of organic and inorganic fertilizers on fodder yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 44, 415-421.
3. Akintoye, H.A., Lucas, E.O., & Kling, J.G. (2008). Effects of density of planting and time of nitrogen application on maize varieties in different ecological zones of West Africa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 28, 1163-1175. <https://doi.org/10.1080/00103629709369863>
4. Anonymous. (2022). Agricultural statistics: Crops, farming year of 2021-2022 (Vol. 1). Tehran: Ministry of Agriculture – Jihad, Iran.
5. AOAC. (1999). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.1380>
6. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D., & Lucht, C. (2005). Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 49, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.02.001>
7. Arya, R.L., Varshney, J.G., & Kumar, L. (2007). Effect of integrated nutrient application in chickpea + mustard intercropping system in the semi- arid tropics of North India. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38, 229-240. <https://doi.org/10.1080/00103620601094189>
8. Ayub, M., Nadeem, M.A., Sharar, M.S., & Mahmood, N. (2002). Response of maize (*Zea mays* L.) fodder to different levels of nitrogen and phosphorus. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1, 352-354. <https://doi.org/10.3923/ajps.2002.352.354>
9. Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., & Golzardi, F. (2017). Effects of pre-sowing treatments and nitrogen rates on quantitative and qualitative characteristics of silage maize SC 704. *Crop Production*, 9, 103-120. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.10508.1823>
10. Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(34), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
11. Cheema, M.A., Farhad, W., Saleem, M.F., Khan, H.Z., Vahid, M.A., Rasul, F., & Hammad, H.M. (2010). Nitrogen management strategies for sustainable maize production. *Crop and Environment*, 1, 49-52.
12. Contreras-Govea, F.E., Muck, R.E., Armstrong, K.L., & Albrecht, K.A. (2019). Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology*, 150, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.07.001>
13. Curran, B., & Posch, J. (2010). Agronomic management of silage for yield and quality: Silage cutting height. *Crop Insights*, 10(2), 145-155.
14. Demelash, N., Bayu, W., Tesfaye, S., Ziadat, F., & Sommer, R. (2014). Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 100, 357–367. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9654-5>
15. Doan, T.T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J.L., & Jouquet, P. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three-year mesocosm experiment. *Science of The Total Environment*, 514, 147–54.
16. Emamu, T., & Wakgari, T. (2021) The effect of integrated application of vermicompost and NPS fertilizer on soil physicochemical properties and yield of maize (*Zea May* L.) crop at Toke Kutaye district, Western Ethiopia. *Stechnolock Plant Biology and Research*, 1, 1-16. <https://doi.org/10.11648/j.ijaas.20210705.16>

17. Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B.M. (2022). Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security*, 14, 1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
18. FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. <https://doi.org/10.32614/cran.package.faostat>
19. Fengshan, L., Ying, C., Wenjiao, S., Shuai, Z., Fulu, T., & Quansheng, G.E. (2017). Influences of agricultural phenology dynamic on land surface biophysical process and climate feedback. *Journal of Geographical Sciences*, 27(9), 1085-1099. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1423-3>
20. Fereidooni, M., Maghsoudi, E., Behzadi, Y., & Mojab Ghasroddashti, A. (2017). The effects of different nitrogen sources on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L. saccharata). *Journal of Agroecology*, 9, 171-184. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i1.52309>
21. Francis, H.R., Ma, T.F., & Rurak, M.D. (2021). Toward a standardized statistical methodology comparing optimum nitrogen rates among management practices: A bootstrapping approach. *Agricultural and Environmental Letters*, 6(2), e20045. <https://doi.org/10.1002/acl2.20045>
22. Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A., & Fanaie, H.R. (2018). Effect of different tillage management on maize forage and grain quality and quantity under the influence of different sources of organic and chemical fertilizers. *Journal of Agroecology*, 10, 490-503. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.59988>
23. Greene, W.L., Johnson, A.B., Paterson, J., & Ansotegui, R. (2018). Role of trace minerals in cow-calf cycle examined. In: *Feedstuffs Newspaper*, 70, 12-27.
24. Hirzel, J., Matus, I., Novoa, F., & Walter, I. (2017). Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) production and nutrient uptake. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5, 102-109. <https://doi.org/10.5424/sjar/2007051-226>
25. Nyiraneza, J., Chantigny, M.H., N'Dayegamiye, A., & Laverdière, M.R. (2009). Dairy cattle manure improves soil productivity in low. *Agronomy Journal*, 101, 207-214. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0142>
26. Kannayan, S. (2020). Biofertilizers for Sustainable Crop Production, pp. 9-49. In: *Biotechnology of biofertilizers*. Ed., Kannayan, Narosa Publishing House, New Delhi, India.
27. Karimi, H., Mazaheri, D., Peyghambariand, S.A., & Mirabzadeh Ardakani, M. (2012). Effect of organic and chemical fertilizers application on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) SC704. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(4), 611-626. (in Persian with English abstract)
28. Laegreid, M., Bockman, O.C., & Kaarstad, E.O. (1999). *Agriculture, Fertilizer and Environment*. CABI publishing. Porsgrunn, Norway. 294 pp.
29. Laekemariam, F., & Gidago, G. (2012). Response of maize (*Zea mays* L.) to integrated fertilizer application in Wolaita, South Ethiopia. *Advances in Life Science and Technology*, 5, 21-30.
30. Mahmud, A. & Rahouma, A. (2021). Effect of plant density on silage yield and quality of some maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Alexandria Science Exchange Journal*, 42, 89-94. <https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2021.151909>
31. McCready, R.M., Guggolz, J., Silveira, V., & Owens, H.S. (1950). Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry*, 22, 1156-1158. <https://doi.org/10.1021/ac60045a016>
32. Mohammadi, H., Heidari, G.R., & Sohrabi, Y. (2020). The effects of biological and chemical nitrogen fertilizers and iron micronutrient on forage quality and yield of maize (*Zea mays* L.). *Plant Production*, 43, 185-198. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27736.1678>
33. Negassa W., Gebrekidan, H., & Friesen, D.K. (2005). Integrated use of farmyard manure and NP fertilizers for maize on farmers' fields. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 106(2), 31-141.
34. Nelson, D., & Sommers, L. (1973). Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal*, 65, 109-112. <https://doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010033x>
35. Oyege, I., & Balaji Bhaskar, M.S. (2023). Effects of vermicompost on soil and plant health and promoting sustainable agriculture. *Soil Systems*, 7(4), 101. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101>
36. Pomeranz, Y., & Clifton, E. (1994) *Food Analysis: Theory and Practice*, 3rd Ed. Chapman and Hall.
37. Pourjamshid, S.A., Moshatati, A., Siadat, S.A., Moradi Telavat, M.R., & Khodaei Joghani, A. (2023). Effect of drought stress, integrated application of chemical and organic fertilizers and seed sowing method on forage yield of silage maize (*Zea mays* L. cv. SC704). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 25, 170-189. (In Persian). <https://doi.org/10.22232/23243.2021.19.1.29.0>

38. Rafie, M., & Koonani, A.R. (2018). Effect of vermicompost and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative yield of corn (*Zea Mays* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50, 151-159. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.249682.654431>
- 39- Rai, N., Ashiya, P., & Rathore, D.S. (2014). Comparative study of the effect of chemical fertilizers and organic fertilizers on *Eisenia foetida*. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 2, 12991-12998.
40. Ryan, J., Estefan, G., & Rashid, A. (2007). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Second Edition. Beirut, Lebanon: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). 350 p.
41. Sabourifard, H., Estakhr, A., Bagheri, M., & Hosseini, S.J. (2023). The quality and quantity response of maize (*Zea mays* L.) yield to planting date and fertilizers management. *Food Chemistry Advances*, 2, 100196. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100196>
42. Sadeghi, A., & Mahrokh, F. (2020). Effect of transplanting and seed hydropriming on grain yield of maize (*Zea mays* L.) as second crop in temperate region of Kermanshah, Iran. *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences*, 22(1), 50–65. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/abj.22.1.50>
43. Sharma, A.K. (2015). Biofertilizers for sustainable agriculture. Agronomy Biosystem, India, 407 pp.
44. Sher, A., Adnan, M., Sattar, A., Ul-Allah, S., Ijaz, M., Hassan, M.U., Manaf, A., Qayyum, A., Elesawy, B.H., Ismail, K.A., Gharib, A.F., & El-Askari, A. (2022). Combined application of organic and inorganic amendments improved the yield and nutritional quality of forage sorghum. *Agronomy*, 12(4), 896. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040896>
45. Shirkhani, A., Nasrolahzadeh, S., & Zehtab Salmasi, S. (2019). Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on yield and seed quality of corn under normal irrigation and drought stress conditions. *Enviromental Stresses in Crop Sciences*, 12, 781-791. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2018.542.1332>
46. Sigaye, M.H. (2022). Effects of using different organic sources in combination with mineral nitrogen fertilizer on soil fertility, grain yield, and maize quality. *Advances in Life Science and Technology*, 92, 1–9. <https://doi.org/10.7176/ALST/92-02>
47. Silva, S.L.E., Silva, P.I.B.E., Oliveira, V.R.D., Oliveira, F.H.T.D., & Costa, L.R.D. (2017). Vermicompost application improving semiarid-grown corn green ear and grain yields. *Revista Caatinga*, 30(3), 551–558. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n302rc>
48. Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., & Patil, R. (2008). Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresource Technology*, 99, 8507–8511. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.034>
49. Stanton, D., Grombacher, A.W., Pinnisch, R., Mason, H., & Spaner, D. (2020). Hybrid and population density affect yield and quality of silage maize in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 87, 867-871. <https://doi.org/10.4141/CJPS06024>
50. Terefe, Z., Feyisa, T., Molla, E., & Ejigu, W. (2024). Effects of vermicompost and mineral fertilizers on soil properties, malt barley (*Hordeum distichum* L.) yield, and economic benefits. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 7(3), e20550. <https://doi.org/10.1002/agg2.20550>
51. Thind, S.S., Sing, M., Sidhu, A.S., & Chhibba, I.M. (2021). Influence of continuous application of organic manures and nitrogen fertilizer on crop yield, N uptake and nutrient status under maize-wheat rotation. *Journal of Research Punjab Agricultural University*, 39, 357-361.
52. Tufa, A. (2023). Vermicompost and NPSZnB fertilizer levels on maize (*Zea mays* L.) growth, yield component, and yield at Guto Gida, Western Ethiopia. *International Journal of Agronomy*, 23(1), 1–11. <https://doi.org/10.1155/2023/7123826>
53. Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3596. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
54. Wei, W., Yan, Y., Cao, J., Christie, P., Zhang, F., & Fan, M. (2016). Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 225, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.004>



Evaluation of SSM-Wheat Model in Simulating the Growth and Development of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Different Planting Densities

Ali Rahemi Karizeki^{1*}, Faramarz Sayyedi², Habibollah Soughi², Arazqlych Moarfy¹, Mojtaba Salehi Shaikhi¹ and Saeed Bagherikia²

1-Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

2-Agricultural and Horticultural Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

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

How to cite this article:

Rahemi Karizeki, A., Sayyedi, F., Soughi, H., Moarfy, A., Salehi Shaikhi, M., & Bagherikia, S. (2025). Evaluation of SSM-wheat model in simulating the growth and development of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in different planting densities. *Journal of Agroecology*, 17(1), 109-122. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89376.1209>

Received: 29-08-2024

Revised: 10-11-2024

Accepted: 01-02-2025

Available Online: 21-05-2025

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important and widely consumed crops in the world. Changing the density towards an optimal density can alter the ratio of soil evaporation to plant transpiration in such a way that water use efficiency improves. One of the branches of crop science and crop physiology is crop modeling. Quantifying the growth and development of a crop in response to environmental conditions in a system is called modeling, which helps the user make better decisions about crop management. One of the simple models of crops is the SSM model, which provides a simple simulation for estimating yield and phenological stages of various crops. Models have the ability to be used with physiological and ecological analysis based on research and empirical observations. The aim of this experiment is to evaluate the SSM-Wheat model under different density conditions and late-season drought stress.

Materials and Methods

This experiment was conducted in the cropping year 2021-2022 at the Gorgan Agricultural Research Station. The factorial experiment included factors such as plant density at six levels (200, 250, 300, 350, 400, and 450 seeds per square meter) and genotype at six levels (N-93-9, Taktaz, Araz, Arman, Kalateh, and Torgan). In this study, the SSM-Wheat model was used to simulate the growth and development of bread wheat. The meteorological data file, including precipitation, total sunshine hours, average relative humidity, average temperature, and average maximum temperature, was collected daily and defined in the model. The parameters related to soil characteristics were considered from the base data of the model. To evaluate the model, the coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), normalized root mean square error (nRMSE), and the 1:1 line were used.



©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.2025.89376.1209>

Results and Discussion

The results of the model, using statistics based on the differences between simulated and observed values, including the coefficient of determination, root mean square error, normalized root mean square error, and the 1:1 line, showed that the model was able to accurately estimate the main phenological stages of days to emergence, days to flowering, and days to physiological maturity. The highest coefficient of determination was obtained for days to emergence, days to physiological maturity, and days to flowering, at 0.97, 0.77, and 0.71, respectively. The root mean square error (RMSE) for these traits was 2.8, 4.9, and 8.8, respectively. However, the traits "days to tillering" and "days to stem elongation" were estimated with lower accuracy, with a coefficient of determination and RMSE of 0.44 and 15.2 for days to tillering, and 0.17 and 6.8 for days to stem elongation, respectively. The results suggest that with an increase in maximum, minimum, and average temperature, and annual precipitation, the number of days required to reach each phenological stage decreases, which is logical. The maximum and minimum model-predicted values for grain yield were 410.4 and 547.6 grams per square meter, respectively, with a mean of 467.8 grams per square meter. The coefficient of determination and root mean square error for grain yield were 0.63 and 35.3, respectively. The distribution of simulated and observed points for the main phenological stages of days to emergence, days to flowering, and days to physiological maturity, as well as grain yield, fell within the 1:1 line range, indicating the model's high accuracy in predicting yield.

Conclusion

In general, the results showed that the SSM-Wheat model was useful in simulating the main stages of wheat phenology and its performance under different conditions in different cultivars. The evaluation of the model using statistical indices of the coefficient of determination and root mean square error also confirmed the model's strength. Overall, the present study confirmed that SSM-Wheat is a simple, robust, and transparent model suitable for agricultural applications aimed at improving technical decision-making in crop management. In general, according to the results obtained for the SSM-Wheat model, it can be used for correct management in terms of the density and suitable cultivars of wheat cultivation in the field and its performance analysis in Gonbad Kavus weather conditions.

Keywords: Grain yield, Normalized root mean square error, Phenological Stage, Root mean square error

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۲۲-۱۰۷

ارزیابی مدل SSM-wheat در شبیه سازی رشد و نمو ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) در تراکم های مختلف کاشت

علی راحمی کاریزکی^{۱*}، فرامرز سیدی^۲، حبیب الله سوقی^۲، ارازقلیچ معارفی^۱، مجتبی صالحی شیخی^۱ و سعید باقری کیا^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

چکیده

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم ترین و پرمصرف ترین گیاهان زراعی شناخته شده در جهان می باشد. یکی از شاخه های علم زراعت و فیزیولوژی گیاهان زراعی، مدل سازی گیاهان زراعی است. در مدل SSM شبیه سازی ساده ای برای تخمین عملکرد و مراحل فنولوژیک محصولات مختلف به کار رفته است. هدف از این آزمایش، ارزیابی مدل SSM-Wheat در شرایط تراکم های متفاوت و تنش خشکی انتهای فصل رشد است. این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس به اجرا در آمد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار در شرایط آبی اجرا شد. عوامل آزمایش شامل تراکم بوته در شش سطح (شامل ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ بذر در مترمربع) و ژنوتیپ در شش سطح (شامل N-93-9، تکتاز، آراز، آرمان، کلاته و تیرگان) بودند. در این تحقیق، برای شبیه سازی رشد و نمو گندم نان از مدل SSM-wheat استفاده شد. نتایج مدل با استفاده از آماره های مبتنی بر اختلاف مقادیر شبیه سازی و مشاهده شده شامل ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) و خط یک به یک نشان داد که مدل توانایی این را دارد که عملکرد را با دقت قابل قبولی برآورد کند، درحالی که روز تا پنجه زنی و روز تا ساقه رفتن با دقت کمتری برآورد شد. حداکثر و حداقل مقادیر پیش بینی شده مدل برای عملکرد دانه به ترتیب معادل ۴۱۰/۴ و ۵۴۷/۶ گرم در مترمربع و میانگین ۴۶۷/۸ گرم در مترمربع بود. به طور کلی، مطالعه حاضر تأیید کرد که SSM-Wheat یک مدل ساده، قوی و شفاف است که برای کاربردهای زراعی با هدف بهبود تصمیم گیری فنی در مدیریت محصولات زراعی مناسب است.

واژه های کلیدی: جذر میانگین مربعات خطا، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، عملکرد دانه، مراحل فنولوژی

مقدمه

غلات بیشترین سطح زیر کشت محصولات را در دنیا به خود

اختصاص دادند. گیاهان متعلق به خانواده در تأمین غذای انسان نقش کلیدی دارند (FAO, 2022). گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم ترین و پرمصرف ترین گیاهان زراعی شناخته شده در جهان می باشد (Baygi et al., 2016). گندم به عنوان یک محصول استراتژیک با ارزش و دارای سطح انرژی بالا، اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است. ارزیابی وضعیت آینده تولید غلات به ویژه گندم از مسائلی است که توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است (Shiukhy- Soqanloo et al., 2021). این گیاه نقش ویژه ای در الگوی غذایی بیشتر مردم دنیا و ایران دارد، به طوری که مصرف

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس،

گنبد کاووس، ایران

۲- بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

alirahemi@yahoo.com

(*)- نویسنده مسئول:

(Email:

<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89376.1209>

گندم در حدود ۴۰ درصد از انرژی و پروتئین مردم ایران را تشکیل می‌دهد. سطح زیر کشت گندم کشور حدود ۴۱/۶ میلیون هکتار برآورد شده است که ۴۲/۳۷ درصد آن آبی و ۵۷/۶۳ درصد به‌صورت دیم بوده است. میزان تولید گندم کشور حدود ۴۴/۱۳ میلیون تن برآورد شده است که ۷۷/۶۴ درصد آن سهم کشت آبی و ۲۲/۳۶ درصد از کشت دیم به دست آمده است (Shiukhy- Soqanloo et al., 2021).

مدل‌های محصولات زراعی از دیرباز در بسیاری از کشورها برای شبیه‌سازی رشد محصولات مورد استفاده قرار می‌گرفتند. به این دلیل که فرآیند مدل‌سازی محصولات، فرآیندی است که برای برآورد پارامترها و در نهایت اجرا و ارزیابی نیاز به زمان زیادی دارد (Azadi et al., 2018). سامانه‌های طبیعی، زبان ساده‌شده مدل‌ها هستند که برای مطالعه سامانه‌های پیچیده واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Holzworth et al., 2011). کمی‌سازی رشد و نمو یک گیاه زراعی در پاسخ به شرایط محیطی در یک سامانه، مدل‌سازی نامیده می‌شود که به کاربر کمک می‌کند تا در مورد مدیریت گیاه زراعی تصمیم بهتری اتخاذ نماید (Asseng et al., 2015). فناوری‌های کشاورزی هوشمند این پتانسیل را دارند که این تعاملات پیچیده را برای پیش‌بینی دقیق و خاص فصل رشد محصول و عملکرد واقعی مدل‌های شبیه‌سازی محصول به تصویر بکشند با توجه به این قابلیت‌ها، مدل‌های محصول به‌طور گسترده در کاربردهای متنوعی مانند بهینه‌سازی برای بهبود بهره‌وری محصول مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Manschadi et al., 2014).

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه استفاده از مدل برای شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و رشد و نمو گیاهان انجام شده است که می‌توان به مدل‌های فرآیندمحور از جمله CropSyst، DSSAT، APSIM، WOFOST و SUCROS در طول دهه‌های گذشته اشاره کرد. این مدل‌ها جهت افزایش کارایی مدیریت و عملکرد گیاه زراعی در بسیاری از کشورها با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Guilpart et al., 2017; Smethurst et al., 2017). لازم به ذکر است که مدل‌ها به‌طور کامل نمی‌توانند جایگزین مطالعات مزرعه‌ای شوند و استفاده ترکیبی از مدل‌های شبیه‌سازی و آزمایش‌های مزرعه‌ای راهکار قابل قبولی می‌باشد (Farahani et al., 2009).

نتایج صورت گرفته توسط محققان در شرایط آب و هوایی اتریش که به شبیه‌سازی مدل SSM-iCrop ارقام مختلف گندم پرداختند،

نشان‌دهنده این است که عملکرد دانه ۱/۹ درصد و ۶۰/۵ گرم در مترمربع بود. نتایج مطالعه ایشان، دقت مدل را در پیش‌بینی رشد و عملکرد گندم تأیید کرد. ایشان معتقدند که ساختار نسبتاً ساده و درجه شفافیت بالا، مدل SSM-iCrop را برای ادغام در ابزارهای کشاورزی هوشمند برای بهبود تصمیم‌گیری زراعی در تولید محصول مناسب می‌داند (Manschadi et al., 2022). ژئوفری و همکاران (Geoffrey et al., 2018) با ارزیابی مدل SSM-Wheat دریافتند که مراحل فنولوژی روز تا گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک از کارایی بالا و دقت برخوردار است. نتایج آزمایش‌های خیری و کامبوزیا (Kheiri & Kambouzia, 2016) ارزیابی کارایی مدل APSIM-Wheat در شبیه‌سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در دیم‌زارهای غرب و شمال غرب ایران نشان داد که میانگین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده برای تعداد روز تا گل‌دهی به‌ترتیب ۲۱۵ و ۲۱۸ و برای تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب ۲۵۲ و ۲۵۲ بودند. دقت ارزیابی‌ها با نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های آماری تأیید شد، به‌طوری‌که برای تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، مقدار جذر خطای میانگین مربعات نرمال‌شده به‌ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۱۶ درصد، ضریب جرمی خطا ۰/۱۸- و ۰/۰۲ و ضریب هم‌خوانی ۰/۹۱ و ۰/۱۳ بودند. میانگین عملکرد دانه مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده به‌ترتیب ۲۲۴۵ و ۲۲۴۹ کیلوگرم در هکتار بود. مقادیر به‌دست‌آمده برای جذر خطای میانگین مربعات نرمال‌شده (۷/۲۱ درصد)، ضریب جرمی خطا (۰/۰۲-) و ضریب هم‌خوانی (۰/۳۷) نشان داد که مدل عملکرد کاملاً رضایت‌بخشی داشته و می‌توان از آن در برنامه‌ریزی برای افزایش تولید گندم دیم در ایران استفاده کرد. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که می‌توان از مدل APSIM-Wheat در تعیین بهترین شیوه‌های مدیریت مزرعه، تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد، ارزیابی اثر تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیم در مزارع گندم دیم غرب و شمال غرب ایران استفاده کرد.

احمد و همکاران (Ahmed et al., 2016) با استفاده از مدل APSIM-Wheat، رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانه تعدادی از ارقام گندم در پاکستان را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها گزارش نمودند که مدل، زمان گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرده و دامنه مقدار جذر خطای میانگین مربعات نرمال‌شده برای ارقام گندم مورد مطالعه ۱/۴۶ و ۳/۳۵ درصد برای زمان گل‌دهی

رسیدن به حداکثر عملکرد شمرده می‌شود و تراکم گیاهی متناسب با تغییر عواملی نظیر منطقه، تاریخ کاشت، شرایط اقلیمی به‌ویژه توزیع بارش، نوع خاک و رقم، متفاوت خواهد بود (Hiltbrunner et al., 2007). اگر تراکم بوته‌ها کمتر یا بیشتر از حالت معمول باشد، مشکلاتی مانند کاهش عملکرد (به‌واسطه تعداد بوته کمتر یا بیشتر در هکتار)، تولید بوته‌های ضعیف و وقوع ورس، افزایش رشد رویشی گیاه (دیررسی)، افزایش خسارت علف‌های هرز و گسترش بیماری و آفات به وجود خواهد آمد (Bastos et al., 2020). با توجه به تغییر اقلیم در چند سال اخیر و کاهش میزان بارندگی، نیاز به بررسی مجدد تراکم و ارقام مناسب گندم برای منطقه گنبد کاووس که از آب و هوای مدیترانه‌ای گرم و خشک برخوردار است، می‌باشد. لذا یکی از روش‌هایی که باعث کاهش هزینه تحقیقات می‌شود، استفاده از مدل است. هدف از این آزمایش، ارزیابی مدل SSM-Wheat در شبیه‌سازی رشد و نمو ارقام گندم در تراکم‌های مختلف کاشت است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ روی ارقام جدید گندم نان در استان گلستان در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد به اجرا درآمد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد در پنج کیلومتری شرق شهرستان گنبد با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی واقع شده است. قبل از اجرای آزمایش، نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱) که براساس نتایج حاصل، بافت خاک سیلتی رسی لوم بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو عامل تراکم و رقم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در شرایط آبی اجرا شد. عوامل آزمایش شامل تراکم بوته در شش سطح (شامل ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ بذر در مترمربع) و ژنوتیپ در شش سطح (شامل N-93-9، تکتاز، آراز، آرمان، کلاته و تیرگان) بودند.

و رسیدگی فیزیولوژیک ۱/۱۹ و ۳/۲۸ است. که عملکرد دانه شبیه‌سازی شده از ۲/۴۱ تا ۴/۶۸ تن در هکتار متغیر و نزدیک به مقادیر مشاهده شده بود. در آزمایش دیگری، نتایج مقادیر شبیه‌سازی شده فنولوژی و عملکرد دانه گندم با استفاده از مدل APSIM-Wheat مشابهت قابل قبولی با مقادیر واقعی داشت (Zhang et al., 2012). دلقندی و همکاران (Dalqandi et al., 2013) در ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه 4.5 در شبیه‌سازی رشد، عملکرد و مراحل فنولوژی گندم نشان داد که کمترین خطای مدل مربوط به حداکثر شبیه‌سازی مراحل فنولوژی (دو درصد) می‌باشد و به‌طور کلی، نتیجه گرفته شد که مدل CERES-Wheat توانایی بالایی در شبیه‌سازی رشد و نمو، مراحل فنولوژیکی و عملکرد گندم برای شرایط آب و هوایی اهواز دارد.

حجاریور و همکاران (Hajarpour et al., 2013) با استفاده از مدل SSM-Chickpea برای شبیه‌سازی نخود (*Cicer arietinum*) دریافتند که افزایش درجه حرارت باعث کاهش طول دوره رشد گیاه می‌شود. نه‌بندانی و همکاران (Nehbandani et al., 2014) برای پیش‌بینی رشد و عملکرد سویا (*Glycine max* L.) از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای مختلف برای ارزیابی مدل SSM-ilegume استفاده نمودند. رهبان و همکاران (Rehban et al., 2021) گزارش نمودند که پیش‌بینی فنولوژی و عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) توسط مدل SSM-iCrop2 در شرایط ایران رضایت‌بخش است. راحمی‌کاریزیکی و نورعلیزاده اطاقسرا (Rahemi Karizaki & Nouralizadeh Otaghsara, 2018) نقل کردند که مدل SSM-ilegume عرضه پیش‌بینی عملکرد و شاخص برداشت سویا در شرایط محیطی شرق مازندران را دارد، ضمن اینکه پیش‌بینی مناسبی برای عملکرد بیولوژیک ارائه نمی‌دهد.

نتایج پژوهش ترکمان و همکاران (Torkaman et al., 2023) که بر روی واسنجی و تعیین اعتبار مدل WOFOST برای پیش‌بینی فنولوژی و عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در ایران انجام دادند، نشان می‌دهد که جذر میانگین مربعات خطای مدل برای مراحل فنولوژیکی سبز شدن، گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیکی به‌ترتیب ۱/۶، ۲/۳ و ۶/۴ روز و برای عملکرد غده ۲۹۳۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. تراکم‌های کاشت مطلوب در گندم، کلیدی برای

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش
Table1-Soil characteristics in experimental place

واحد Unit	ویژگی ها Characteristic	مقدار Amount
dS.m ⁻¹	هدایت الکتریکی EC	0.73
-	اسیدیته (pH)	8.1
%	کربن آلی Organic C	1.46
%	نیتروژن N	0.15
mg.kg ⁻¹	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus	9
mg.kg ⁻¹	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium	350
%	رس Clay	35
%	سیلت Silt	52
%	شن Sand	13

جدول ۲- مشخصات سال آزادسازی ارقام
Table 2- Specifications of the year of release of cultivars

ارقام Cultivars	سال آزادسازی Year of releasing
N-93-9	-
تکتاز Taktaz	2020
آراز Araz	2020
آرمان Arman	2020
کلاته Kalateh	2017
تیرگان Tirgan	2016

با توجه به نتایج آزمون خاک، میزان ۵۰ کیلوگرم کود اوره، سوپرفسفات تریپل ۱۰۰ کیلوگرم و سولفات روی ۲۵ کیلوگرم در هکتار برای همه ارقام قبل از کاشت به خاک اضافه شد. برای مهار علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ از علف‌کش آتالانتیس ۱/۲ لیتر در هکتار گرانستار به مقدار ۳۰ گرم در هکتار و برای مهار آفات سن (*Eurygaster integriceps*) و لما (*Oulema melanopus*) از دلتامترین به مقدار ۰/۵ لیتر در هکتار استفاده گردید، همچنین برای مقابله با فوزاریوم خوشه گندم از قارچ‌کش آلتوکمبی (سایپروکونازول

ابعاد هر کرت ۱۴/۴=۱/۲×۱۲ مترمربع و مساحت کرت قابل برداشت ۱۲ مترمربع طبق استانداردهای بخش تحقیقات غلات مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر بود و میزان بذر در هر کرت براساس تراکم‌های مورد نظر با توجه به وزن هزار دانه لاین‌ها تعیین گردید. در طول دوره رشد، نسبت به اعمال توصیه‌های فنی زراعی به‌طور یکسان برای همه ترکیب‌های تیماری اقدام شد. میزان کودهای شیمیایی مصرفی براساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تعیین و استفاده شد. آبیاری در چهار مرحله انجام گرفت.

کاربن‌دازیم) ۰/۵ لیتر در هکتار استفاده شد.

(۳۳۴) و اسفندماه (۱۲۶/۵) به وقوع پیوست. بالاترین مقدار رطوبت نسبی اسفند (۷۶ درصد) و کمترین این مقدار در خرداد (۵۳) حاصل شد. از طرفی، بیشترین میانگین دما و حداکثر آن متعلق به خرداد ماه و کمترین میانگین دما و کمترین حداکثر دما به‌ترتیب متعلق به ماه‌های بهمن و دی بود.

روز تا سبز شدن

براساس نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها، مقادیر روز تا سبز شدن در آزمایش مزرعه‌ای با حداکثر و حداقل معادل ۰/۲۰ و ۰/۱۲ روز و میانگین ۱۵/۳ روز بود، حداکثر و حداقل تعداد روز تا سبز شدن پیش‌بینی‌شده معادل ۰/۱۸ و ۰/۸ روز و میانگین ۱۲/۷ روز بود (جدول ۴). مقایسه بین روز تا سبز شدن واقعی و روز تا سبز شدن پیش‌بینی شده نشان داد که نقاط تقریباً در محدوده خطوط ± 20 درصد از خط ۱:۱ قرار می‌گیرند که بیانگر این است که مدل پیش‌بینی مناسبی برای این صفت را ارائه می‌نماید. ضریب تبیین برای روز تا سبز شدن ۰/۹۷ و مقدار جذر میانگین مربعات خطا ۲/۸ روز بود که حدود ۱۸/۵ درصد میانگین تعداد روز تا سبز شدن مشاهده‌شده بود (شکل ۲-a).

روز تا پنجه‌زنی

نتایج نشان داد که مدل، پیش‌بینی مناسبی را برای روز تا پنجه‌زنی برای شرایط گنبد ارائه نمی‌دهد، به‌نحوی که مقادیر پیش‌بینی‌شده خارج از محدوده ۲۰ درصد خط یک و یک قرار داشت (شکل ۲-b). باین‌حال بررسی داده‌ها نشان داد که مقادیر روز تا پنجه‌زنی مشاهده‌شده در آزمایش مزرعه‌ای با حداکثر و حداقل معادل ۵۳/۸ و ۴۴/۰ روز و میانگین ۴۸/۸ روز بود، درحالی‌که حداکثر و حداقل تعداد روز پیش‌بینی‌شده تا پنجه‌زنی معادل ۴۴/۰ و ۲۶/۰ روز و میانگین ۳۴/۷ روز بود که بیانگر پیش‌بینی ضعیف مدل SSM-wheat است (جدول ۴).

روز تا ساقه رفتن

چنانچه در شکل ۳-a مشخص می‌باشد، مقایسه ضریب تبیین حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده روز تا ساقه رفتن در گیاه گندم نشان داد که مدل ارزیابی قابل قبولی از این پارامتر داشت، به‌نحوی که اکثر داده‌ها در محدوده ± 20 خط ۱:۱ قرار داشتند. مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش

در طول دوره آزمایش، از هنگام کاشت تا برداشت مراحل فنولوژی مانند ظهور سنبله (زادوکس ۵۵)، گل‌دهی (زادوکس ۶۵) و رسیدگی فیزیولوژیک (زادوکس ۹۰) یادداشت گردید. ثبت مراحل فنولوژیک روی ۱۰ بوته معین که با روبان قرمز مشخص شدند، هر دو تا پنج روز، براساس شاخص زادوکس (Zadoks et al., 1974) انجام شد. به این صورت که در شروع هر مرحله تا پایان آن مرحله هر دو روز بازدید از مزرعه انجام شد. لازم به ذکر است که این بوته‌ها در قسمتی از کرت که برای برداشت نهایی است، علامت‌گذاری شدند. در پایان هر سال زراعی و پس از رسیدن فیزیولوژیک، برداشت با استفاده از کمباین آزمایشی انجام و عملکرد دانه و اجزای عملکرد هر کرت تعیین شدند.

در این تحقیق برای شبیه‌سازی رشد و نمو گندم از مدل SSM-wheat (Soltani & Sinclair., 2012) استفاده شد. داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای (۱۰۸ داده)، شامل شاخص‌های ارزیابی ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده ($nRMSE$) و خط یک به یک استفاده شد. شاخص‌های آماری مذکور به‌شرح ذیل محاسبه شدند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{n-1}} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$nRMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{n-1}\right) \times \frac{100}{\bar{O}}} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن‌ها، Si : مقادیر شبیه‌سازی‌شده، Oi : مقادیر مشاهده‌شده، n : تعداد مشاهده‌ها و $\bar{O}$: مقدار میانگین مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

شرایط آب و هوایی

آمار هواشناسی محل اجرای تحقیق شامل مجموع بارش، مجموع ساعات آفتابی، میانگین رطوبت نسبی و میانگین و حداکثر دما در طی یک سال زراعی تحقیق به تفکیک ماه‌های آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار بارندگی به‌ترتیب با ۸۷/۶ و ۲/۲ میلی‌متر در اردیبهشت و خرداد مشاهده شد، در حالی که بیشترین و کمترین ساعات آفتابی به‌ترتیب در خرداد

1- Root mean square error

2- Normalized root mean square error

ارزیابی مطلوبی در مورد این پارامتر ندارد (جدول ۴).

روز تا گل‌دهی

نتایج شبیه‌سازی اعداد روز تا گل‌دهی حاکی از آن دارد که مدل روز تا گل‌دهی را به‌خوبی پیش‌بینی کرده است، به‌نحوی که ضریب تبیین جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات معادل $۸/۷۱$ و $۸/۰$ و $۶/۷$ بود که نشان‌دهنده این موضوع است که مدل SSM-wheat قادر است، ارزیابی خوبی از این اعداد ارائه دهد (جدول ۴). مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش مزرعه‌ای به‌ترتیب با حداکثر و حداقل مقادیر پیش‌بینی‌شده مدل معادل ۱۱۶ و ۱۲۸ روز و میانگین ۱۲۲ روز بود. اکثر داده‌ها در گستره ± 20 خط ۱:۱ قرار گرفتند که بیانگر پیش‌بینی خوب مدل از مرحله فنولوژی روز تا گل‌دهی بود (شکل ۴-ا). نتایج مطالعات محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2023) روی جو نشان داد که مدل قادر است که روز تا گل‌دهی را به‌خوبی پیش‌بینی نماید که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

مزرعه‌ای به‌ترتیب با حداکثر و حداقل معادل $۸۷/۰$ و $۷۱/۰$ روز و میانگین $۷۹/۶$ روز بود و همچنین حداکثر و حداقل تعداد روز برای این صفت در مقادیر پیش‌بینی‌شده مدل معادل $۸۶/۰$ و $۸۰/۰$ روز و میانگین $۸۳/۳$ روز بود که نشان می‌دهد مدل به‌طور مطلوبی توانسته است روز تا ساقه رفتن گیاه گندم را ارزیابی و تفسیر کند. علاوه بر آن جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده نیز به‌ترتیب با مقادیری معادل $۶/۸$ و $۸/۶$ بیانگر پیش‌بینی خوب این پارامتر توسط مدل SSM-wheat بود (جدول ۴).

روز تا سنبله‌دهی

نتایج نشان داد که با توجه به اینکه بیشتر داده‌ها در محدوده ۲۰ درصد خط ۱:۱ قرار دارد، اما در زیر خط یک و یک قرار دارد که نشان‌دهنده آن است که پیش‌بینی مدل کمتر از مقدار واقعی است (شکل ۳-ب)، باین‌حال با توجه به اینکه ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده به‌ترتیب برابر $۲۰/۱$ ، $۰/۱۶$ و $۱۶/۳$ است، نشان می‌دهد که مدل SSM-wheat

جدول ۳- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد در سال آزمایش (۱۴۰۱-۱۴۰۰)

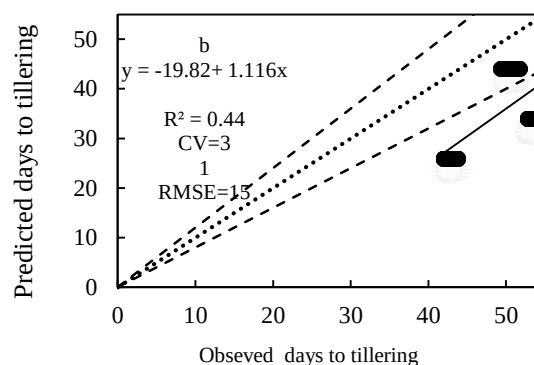
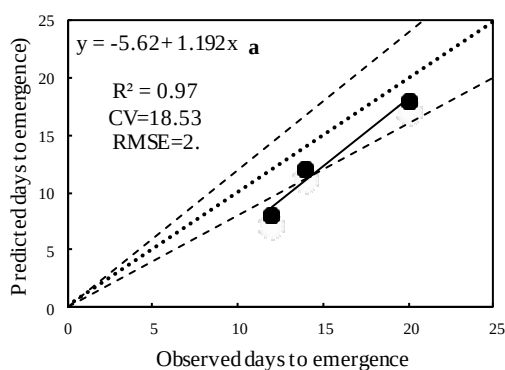
Table 3- Meteorological statistics of Gonbad Agricultural Research Station in the experiment year (2021-2022)

میانگین حداکثر دما	میانگین دما	میانگین رطوبت نسبی	مجموع ساعات آفتابی	میزان بارش	ماه
Average. Max. temp. (°C)	Average temp. (°C)	Min. RH (%)	Total sunshine (hours)	Precipitation (mm)	Month
2021-2022	2021-2022	2021-2022	2021-2022	2021-2022	2021-2022
19.6	13.4	68	182.4	23.5	آبان Nov.
20.6	13.5	64	176.1	12.8	آذر Dec.
16.1	10.1	68	168.0	36.9	دی Jan.
16.2	9.5	65	201.0	61.1	بهمن Feb.
17.4	12.1	76	126.5	70.9	اسفند Mar.
22.1	15.5	69	173.6	11.9	فروردین Apr.
25.7	19.9	74	147.5	87.6	اردیبهشت May.
34.8	26.3	53	334.0	2.2	خرداد Jun.

جدول ۴- پارامترهای ریاضی و آماری مربوط به صفات مختلف مورد مطالعه به‌دست‌آمده از مدل و آزمایش‌های مزرعه‌ای

Table 4- Mathematical and statistical parameters related to the various traits studied by the model and field experiments

صفت Parameter	حداقل Min		حداکثر Max		میانگین Mean		پارامترهای آماری Statistical parameters		
	مشاهده‌شده Observed	پیش‌بینی‌شده Predicted	مشاهده‌شده Observed	پیش‌بینی‌شده Predicted	مشاهده‌شده Observed	پیش‌بینی‌شده Predicted	R ²	RMSE	NRMSE
روز تا سبز شدن Days to emergence	12	8	20	18	15.3	12.7	0.97	2.8	18.5
روز تا پنجه‌دهی Days to tillering	42	26	53.8	44	48.8	34.7	0.44	15.2	31.3
روز تا ساقه‌رفتن Days to stemming	71	80	87	86	79.6	83.3	0.17	6.8	8.6
روز تا سنبله‌دهی Days to heading	110.5	102	138.8	110	123.7	105.7	0.16	20.1	16.3
روز تا گرده‌افشانی Days to anthesis	99.5	116	143.3	128	129.8	122.2	0.17	8.8	6.7
روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Days to physiological maturity	138	155	183	173	165.7	164.1	0.77	4.9	3
عملکرد دانه Grain yield	377.1	410.4	616	547.6	471.6	467.8	0.63	35.3	7.5


 شکل ۱- مقادیر شبیه‌سازی‌شده روز تا سبز شدن (a) و پنجه‌زنی (b) ژنوتیپ‌های گندم نان در مقابل مقادیر واقعی آن
 Fig. 1- Simulated versus measured days to emergence (a) and tillering (b) of bread wheat genotypes

نقطه‌چین خط ۱:۱ و خط نقطه‌چین بالا و پایین به‌ترتیب خطوط ۱:۱/۲۰ و ۱:۱/۸۰ هستند.
 Dotted line is 1:1 line and dashed lines are $\pm 20\%$ discrepancy lines.

رسیدگی فیزیولوژیک

نتایج یافته‌های تحقیق روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌دست‌آمده از مزرعه در محدوده‌ای از مقادیر ۱۳۸ تا ۱۸۳ و میانگین ۱۶۵ روز به

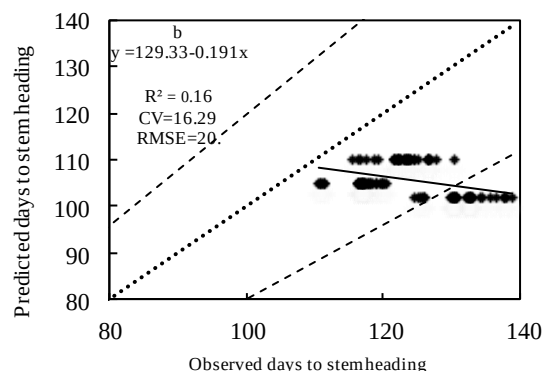
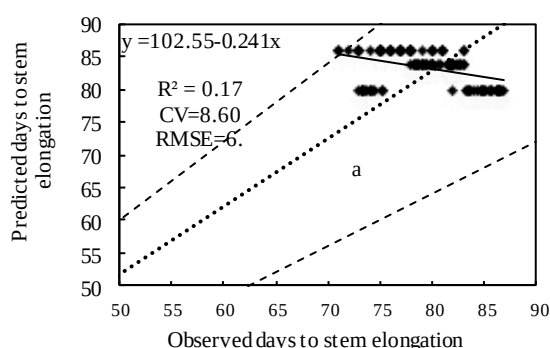
دست آمد. در این راستا، ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده به‌ترتیب ۰/۷۷، ۴/۹ و ۳/۰ محاسبه شد (جدول ۴) که بیانگر این است که مدل SSM-wheat

بود و همچنین حداکثر و حداقل مقادیر پیش‌بینی شده مدل به ترتیب معادل ۴۱۰/۴ و ۵۴۷/۶ گرم در مترمربع و میانگین ۴۶۷/۸ گرم در مترمربع بود. به عبارتی، ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب برابر ۳۵/۰، ۳/۶۳ و ۷/۵ به دست آمد (جدول ۴) که نشان می‌دهد مدل SSM-wheat با دقت خوبی مراحل مذکور را شبیه‌سازی نموده است و نیز مشخص گردید که اکثر داده‌ها در داخل گستره ± 20 خط ۱:۱ قرار دارد (شکل ۵).

ارزیابی خوبی در مورد این صفت داشته و اکثر داده‌ها در گستره ± 20 خط ۱:۱ قرار دارند (شکل ۴-ب).

عملکرد دانه

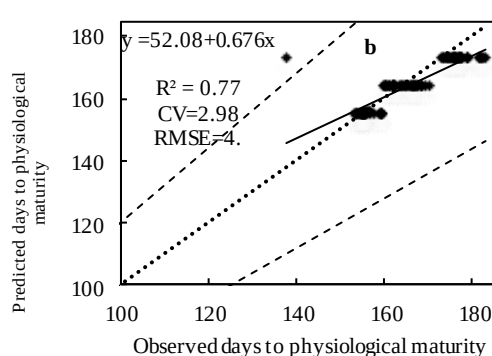
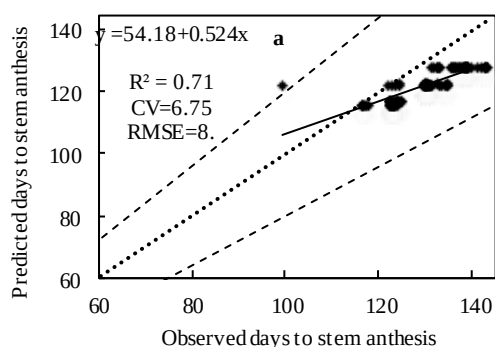
مقایسه داده‌های آماری مربوط به مقایسه بین عملکرد دانه به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای و عملکرد دانه پیش‌بینی شده در مدل نشان داد که مدل توانایی این را دارد که پیش‌بینی خوبی ارائه دهد. نتایج حاصل از تحقیقات مزرعه‌ای به ترتیب با حداکثر و حداقل معادل ۳۷۷/۱ و ۰/۶۱۶ گرم در مترمربع و میانگین ۴۷۱/۶ در مترمربع



شکل ۲- مقادیر شبیه‌سازی شده روز تا ساقه رفتن (a) و سنبله‌دهی (b) ژنوتیپ‌های گندم نان در مقابل مقادیر واقعی آن

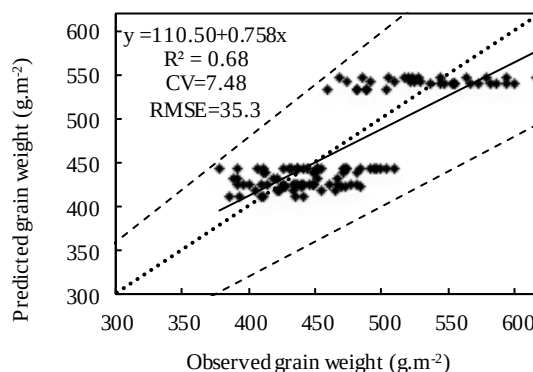
Fig. 2- Simulated versus measured days to stem elongation (a) and tillering (b) of bread wheat genotypes

نقطه‌چین خط ۱:۱ و خط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب خطوط ۱:۱/۲۰ و ۱:۱/۸۰ هستند.
Dotted line is 1:1 line and dashed lines are $\pm 20\%$ discrepancy lines.



شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی شده روز تا گل‌دهی (a) و رسیدگی فیزیولوژیک (b) ژنوتیپ‌های گندم نان در مقابل مقادیر واقعی آن
Fig. 3- Simulated versus measured days to anthesis (a) and physiological maturity (b) of bread wheat genotypes

نقطه‌چین خط ۱:۱ و خط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب خطوط ۱:۱/۲۰ و ۱:۱/۸۰ هستند.
Dotted line is 1:1 line and dashed lines are $\pm 20\%$ discrepancy lines.



شکل ۴- مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در مقابل مقادیر واقعی آن
 Fig. 4- Simulated versus measured accumulated grain weight of bread wheat genotypes
 نقطه‌چین خط ۱:۱ و خط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب خطوط ۱:۱/۲۰ و ۱:۱/۸۰ هستند.
 Dotted line is 1:1 line and dashed lines are $\pm 20\%$ discrepancy lines.

wheat قادر است که روز تا گل‌دهی را به‌خوبی پیش‌بینی نماید که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

همچنین نتایج ارزیابی مدل SSM بر عملکرد گندم در شرایط گند نشان داد که مدل دارای قدرت پیش‌بینی قابل قبولی برای عملکرد گیاه گندم را دارد که با نتایج آزادی و همکاران (Azadi et al., 2018) در منطقه پاکدشت هم‌سو بود. یکی از نکات مهمی که باید در نظر گرفت، این است که این مدل‌ها مکمل آزمایش‌های مزرعه‌ای هستند و به هیچ‌وجه جایگزین آزمایش‌های مزرعه‌ای نیستند (Azadi et al., 2018). رهبان و همکاران (Rehban et al., 2021) گزارش نمودند که پیش‌بینی عملکرد کلزا (*Brassica napus*) توسط مدل SSM-iCrop2 در شرایط ایران رضایت‌بخش است. قائم و همکاران (Ghanem et al., 2015) با استفاده از مدل Legumes-SSM به شبیه‌سازی رشد و عملکرد عدس (*Lens culinaris* Medi) در خاورمیانه سوریه و لبنان پرداختند و نتیجه گرفتند که، عملکرد عدس را با دقت خوبی برآورد کرد، به‌طوری‌که مقادیر R^2 و RMSE شبیه‌سازی عملکرد عدس به‌ترتیب برابر با ۰/۶۷ درصد، ۳۰۸/۳۶ کیلوگرم در هکتار بود. قاسمی‌مهام و همکاران (Ghasemi Maham et al., 2016) در پژوهشی به مدل‌سازی رشد و عملکرد گندم پاییزه در استان همدان پرداختند و دریافتند که ضرایب تبیین حاصل از خط ۱:۱ عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد دانه مشاهده شده نشان داد که در تمام موارد، عملکرد شبیه‌سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد. مطالعات پژوهشگران مختلفی از قبیل راحمی کاریزی و همکاران (Rahemi

نتایج نشان داد که مدل SSM-wheat توانست از میان مراحل فنولوژیک اصلی روز تاسیز شدن، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز تا گل‌دهی را با دقت قابل قبولی برآورد کند. پیش‌بینی نمو فنولوژیک یا مراحل نمو گیاه اهمیت زیادی دارد، مراحل فنولوژی در مدیریت مزرعه (آبیاری، مصرف کود و دیگر نهاده‌ها) برای دستیابی به حداکثر عملکرد نقش مهمی دارند (Nehbandani et al., 2016). نتایج بر این اصل استوار است که با افزایش دمای حداکثر، حداقل، میانگین دما و بارش سالانه، تعداد روزهای لازم برای رسیدن به هر مرحله فنولوژی گیاه روند کاهشی دارد که منطقی است (Azadi et al., 2018). همبستگی زیاد بین فنولوژی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده نشان می‌دهد که مدل SSM در پیش‌بینی فنولوژی موفق بوده است (Azadi et al., 2018).

راحی کاریزی و حسینی (Rahemi Karizaki & Hosseini, 2020) در بررسی روی مدل‌سازی مراحل فنولوژیک و پارامترهای عملکردی گیاه باقلا (*Vicia faba*)، نتیجه گرفتند که مقایسه بین روز تا گل‌دهی واقعی و پیش‌بینی شده داده‌ها در دامنه ۱۵ درصد از خط ۱:۱ قرار دارند که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر هم‌جهت بود. همچنین راحمی کاریزی و همکاران (Rahemi Karizaki et al., 2023) در مطالعه مراحل فنولوژیک در سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) دریافتند که مدل SSM-wheat مراحل فنولوژیک در تراکم‌های مختلف را به‌خوبی پیش‌بینی نمود که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. نتایج مطالعات محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2023) نیز در جو (*Hordeum vulgare*) نشان داد که مدل SSM-

از مدل SSM-Wheat در جهت حداکثر عملکرد استفاده کرد (Moeinirad et al., 2017). نتایج تحقیق مدل SSM-Wheat گندم نشان می‌دهد که مقدار روز تا گرده افشانی با $R=0.98$ و رسیدگی فیزیولوژیک با $R=0.96$ بود (Soltani et al., 2013).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل SSM-Wheat از توانایی بالایی در شبیه‌سازی مراحل اصلی فنولوژی گندم و عملکرد آن تحت شرایط تراکم در ارقام مختلف برخوردار بود. ارزیابی مدل با استفاده شاخص آماری ضریب تبیین و خطای جذر میانگین مربعات نیز توانمندی مدل را تأیید کرد. به‌طور کلی، مطالعه حاضر تأیید کرد که SSM-Wheat یک مدل ساده، قوی و شفاف است که برای کاربردهای زراعی با هدف بهبود تصمیم‌گیری فنی در مدیریت محصولات زراعی مناسب است. در مجموع، می‌توان با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای مدل SSM-Wheat، برای مدیریت صحیح از نظر تراکم و ارقام مناسب کشت گندم در مزرعه و تحلیل عملکرد آن در شرایط آب و هوایی گنبدکاووس استفاده کرد.

نه (Karizaki et al., 2023) در سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، نه بدانی و همکاران (Nehbandani et al., 2016) در سویا (*Glycine max* L.)؛ در گزارش خود اذعان داشتند که مدل SSM-Wheat توانایی این را دارد که عملکرد دانه را به‌خوبی پیش‌بینی نماید. وجود طول روز کافی و مناسب و دمای مطلوب در طول سپری کردن مراحل فنولوژیکی به‌ویژه گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها، منجر به افزایش عملکرد شد (Mokari et al., 2020). نتایج ارزیابی مدل SSM-Wheat مراحل فنولوژی گندم نشان داد که مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به ترتیب $7/7$ (با ضریب تغییرات $10/3$ درصد) و $7/1$ (با ضریب تغییرات $5/2$ درصد) روز بودند. همچنین همبستگی بالای فنولوژی شبیه‌سازی‌شده با فنولوژی مشاهده‌شده نیز نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی فنولوژی موفق بوده است (Panahi et al., 2020). نتایج ارزیابی مدل SSM-Wheat نشان داد که مقادیر R و RMSE اندازه‌گیری‌شده و داده‌های شبیه‌سازی‌شده عملکرد دانه برابر با 0.62 و $958/82$ بود، به‌نحوی که مدل SSM-Wheat گندم در ارتقاء صفات فنولوژی برای گندم رقم N-87-20 قابل قبول بود. بنابراین، می‌توان

References

- Ahmed, M., Akram, M.N. Asim, M. Aslam, M. Hassan, F. Higgins, S. Stockle, O., & Hoogenboom, C.G. (2016). Calibration and validation of APSIM -Wheat and CERES -Wheat for spring wheat under rainfed conditions: Models evaluation and application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 384-401. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.015>
- Asseng, S., Zhu, Y., Wcang, E., & Zhang, W. (2015). Crop modeling for climate change impact and adaptation. In S. Asseng, Y. Zhu, E. Wang, and W. Zhang (Eds.). *Crop Physiology*. USA. p. 505-546 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417104-6.00020-0>
- Azadi, H., Akbar, G.A., & Akbari, G.A. (2018). Parameterization of SSM Model to analyze wheat growth and yield potential under Pakdasht conditions. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 11(4), 1913-1926. <http://dx.doi.org/10.13005/bpj/1564>
- Bastos, L.M., Carciocchi, W., Lollato, R.P., Jaenisch, B.R., Rezende, C.R., Schwalbert, R., & Ciampitti, I.A. (2020). Winter wheat yield response to plant density as a function of yield environment and tillering potential: A review and field studies. *Frontiers in Plant Science*, 11, 54. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00054>
- Baygi, Z., Safizadeh, S., Shirani Rad, A.M., Valadabadi S.A., & Jafarinejad. A. (2016). Seed yield and yield component of some spring wheat varieties as affected by different sowing dates in Neishabour. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(4), 905-922. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/AJ.2018.109088.1113>
- Delghandi, M., Anderzian, B., Broumand Nesab, S., Masah Boani, A., & Javaheri, A. (2014). Evaluation of the CERES-Wheat model, DSSAT 4.5 version, in simulating the growth, yield and phenology stages of wheat under the conditions of different management of water allocation in the field (case study: Ahvaz city). *Water and soil magazine*, 28(1), 91-82. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.20658>
- Farahani, H.J., Izzi, G., & Oweis, T. Y. (2009). Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy journal*, 101(3), 469-476. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0182s>
- Fischer, R. A., Moreno Ramos, O. H., Ortiz Monasterio, I., & Sayre, K. D. (2019). Yield response to plant density,

- row spacing and raised beds in low latitude spring wheat with ample soil resources: An update. *Field Crops Research*, 232, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.011>
9. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT database Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT database (FAOSTAT, 2021), [cited 28 March, 2023], Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/> Forest Meteorology, 250, 243–261. <http://faostat.FAO.Org.,2018> <https://doi.org/10.32614/cran.package.faostat>
10. Geoffrey, E.O., Wietse, H.P., Iwan, S., Omondi, P., & Ronald, W.A. (2018). Probabilistic maize yield prediction over East Africa using dynamic ensemble seasonal climate forecasts. *Agricultural and Forest Meteorology*, 250, 243-261. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.256>
11. Ghanem, M. E., Marrou, H., & Sinclair, T. R. (2015). Physiological phenotyping of plants for crop improvement. *Trends in Plant Science*, 20(3), 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.11.006>
12. Ghasemimoham, S., Tarabi, B., & Dadarsi, A. 2017. Modeling growth and yield of autumn wheat in Hamadan province. *Journal of Plant Ecophysiology*, 33(10), 199-186. <https://www.researchgate.net/publication/321709810>
13. Guilpart, N., P. Grassini, V. Sadras, O. Timisina, J., & Cassman, K. G. (2017). Estimating yield gaps at the cropping system level. *Field Crops Research*, 206, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.008>
14. Hajarpour, A., Soltani, A., Zainli, A., & Sayyedi, F. (2013). Simulating the effect of climate change on chickpea production in dry and wet conditions in Kermanshah. *Plant Production Research (Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 20(2), 252-235.
15. Hiltbrunner, J., Streit, B. & Lidgens, M. (2007). Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover? *Field Crop Research*, 102, 163- 171. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.009>
16. Holzworth, D. P., Huth, N. I., & deVoil, P. G. (2011). Simple software processes and tests improve the reliability and usefulness of a model. *Environmental Modelling and Software*, 26(4), 510-516. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.10.014>
17. Kheiri, M., & Kambouzia, J. (2022). Evaluating the efficiency of APSIM-Wheat model in simulating the phenology and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in the western and northwestern drylands of Iran. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 24(2), 118-135. (in Persian with English abstract). <http://agrobreedjournal.ir/article-1-1230-en.html>
18. Khaliliaqdam, N., Rahemi Karizaki, A., & Mir Mahmoodi, T. (2017). Simulation of wheat production under different planting patterns (adaptation remedy). *Journal of Applied Researches of Plant Ecophysiology*, 3(2), 1-10. (in Persian). <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-215-fa.html>
19. Manschadi, A. M., Palka, M., Fuchs, W., Neubauer, T., Eitzinger, J., Oberforster, M., & Soltani, A. (2022). Performance of the SSM-iCrop model for predicting growth and nitrogen dynamics in winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 135, 126487. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126487>
20. Mohammadi, S., Rahmi Kariziki, A.; & Nakhzari Moghadam, A. (2023). Evaluation of SSM-wheat model to simulate barley growth and yield. *Journal of Applied Researches of Plant Ecophysiology*, 7(13), 133-123. (in Persian). <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-408-fa.html>
21. Moeinirad, A., Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., & Yeganeh Poor, F. (2017). Investigation of SSM-Wheat model to forecast of growth and yield of wheat in response to fertilizer nitrogen in order to decrease pollution environmental and diseases. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 5(2), 73-78. <https://doi.org/10.18869/IJABBR>
22. Mokari, M., Abedinpour, M., & Dehghan, H. (2020). The effect of drought stress and sowing date on grain yield and water use efficiency in autumn wheat in Kashmar region. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), 167-189. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122256>
23. Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Raeisi, S., & Rajabi, R. (2016). Parameterization and evaluation of SSM-soybean model for prediction of growth and yield of soybean in Gorgan. 2014. *Journal of Plant Production*, 22(3): 1-26. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/20.1001.1.23222050.1394.22.3.1.2>
24. Panahi, M.H., Soltani, A. , Zeinali, E., Kalateh Arabi, M., & Nehbandani, A. R. (2020). Estimation of phenological parameters in SSM-Wheat model for bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Golestan province of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(4): 302-314. (in Persian). <https://doi.org/10.29252/abj.21.4.302>

25. Pourghasemian, N., Moradi, R., & Naghizadeh, M. (2018). Effect of planting time and place on quality of some broomrape varieties for cultivation in Bardsir, Kerman. *Crops Improvement*, 20, 679-692. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22059/jci.2018.246733.1879>
26. Rahemi Karizaki, A., & Nouralizadeh Otaghsara, M. (2020). Simulation of soybean growth and yield using SSM-iLegume_Soybean model in Mazandaran. *Plant Ecophysiology*, 12(40), 166-177. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001.1.20085958.1399.12.40.14.9>
27. Rahemi Karizaki, A., & Hosseini, S.H. (2020). Modeling of phenological stages and yield parameters of faba bean in the east of Golestan province conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, 11(1), 38-48. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/IJPR.V11I1.69427>
28. Rahemi Karizaki, A., Kouhkan, H., Feyzbakhsh, M.T., & Khaliliaqdam, N. (2023). Simulation of phenological stages and length of growth period of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using SSM-iSorghum model (Case study: Gorgan city). *Journal of Agroecology*, 14(4), 729-713. (in Persian with English abstract). <https://agry.um.ac.ir/>
29. Rehban, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zainli, A. (2021). Using the SSM-iCrop model to predict the phenology, yield and water productivity of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Iran. *Journal of Agroecology*, 13(1), 157-177. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V13I2.84057>
30. Sassendran, S.A., Nielsen, D.C Ahuja, L.R.; & Halvorson, A.D. (2004). Modeling nitrogen management on winter wheat production using RZWQM and CERES-Wheat. *Agronomy*, 96, 615-630. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0615>
31. Shiukhy Soqanloo, S., Mousavi Baygi, M., Torabi, B., Raeini Sarjaz, M. (2023). Evaluating the SSM model efficiency in simulating the wheat growth under water stress conditions. *Journal of Water and Soil*, 37(3), 353-366. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2023.80355.1237>
32. Shiukhy-Soqanloo, S., Mousavi-Baygi, M., Torabi, B., & Raeini-Sarjaz, M. (2021). Evaluation of climate change effects on irrigated wheat CV. Mehregan yield under drought stress condition (Case study: Varamin). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(2), 15-28. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22125/AGMJ.2021.297373.1121>
33. Smethurst, P.J., Huth, N.I., Masikati, P., Sileshi, G.W., Akinnifesi, F. K., Wilson, J., & Sinclair, F. (2017). Accurate crop yield predictions from modeling tree-crop interactions in Gliricidia-maize agroforestry. *Agricultural Systems*, 155, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.04.008>
34. Soltani, A., Maddah, V., & Sinclair, T. R. (2013). SSM-Wheat: A simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*, 7(4), 711-740. <https://doi.org/10.22069/IJPP.2013.1266>
35. Turkman, M., Nasiri Mahalati, M., & Koocheki, A. (2022). Calibration and validation of WOFOST model for predicting phenology and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Iran. *Journal of Agroecology*, 4(4), 615-601. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V11I1.47502>
36. Zhang, Y., L. Feng, E. Wang, J.; & Li, B. (2012). Evaluation of the APSIM -Wheat model in terms of different cultivars, management regimes and environmental conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 937-949. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-266>
37. Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>



Investigating the Effect of using Different Energy Sources on Environmental Indices in Edible Oil Processing

Seyed Yaser Rahmati Khorshidi¹, Hemmatollah Pirdashti^{2*}, Ali Motevali³, Seyed Hashem Samadi⁴ and Benyamin Khoshnevisan⁵

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Associate Professor, Department of Mechanical & Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4- Ph.D., Department of Mechanical & Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

5- Assistant Professor, Department of Green Technology (IGT), Life Cycle Engineering, Southern Denmark University, Denmark.

(*- Corresponding author's Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 03-09-2024
Revised: 17-11-2024
Accepted: 26-11-2024
Available Online: 21-05-2025

Rahmati Khorshidi, S.Y., Pirdashti, H., Motevali, A., Samadi, S.H., & Khoshnevisan, B. (2025). Investigating the effect of using different energy sources on environmental indices in edible oil processing. *Journal of Agroecology*, 17(1), 123-144. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.89603.1211>

Introduction

This comprehensive study investigates sustainable energy solutions for rapeseed oil production through a comparative analysis of three distinct operational scenarios: conventional non-renewable energy systems, photovoltaic solar energy implementation, and canola residue gasification technologies. The research was conducted across two major production facilities, Behpak factory in Behshahr, specializing in oil extraction, and Ghonchah factory in Sari, handling refinement and packaging processes, to evaluate environmental impacts under different energy regimes.

Materials and Methods

Using advanced modeling approaches, the solar photovoltaic system was meticulously designed in HOMER software while gasification processes were simulated through MATLAB, with all primary operational data obtained through extensive interviews with factory engineers. The life cycle assessment (LCA) was performed using SimaPro software with the ReCiPe 2016 model, analyzing every 1000 kg of packaged rapeseed oil output across three



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

 <https://doi.org/10.22067/agry.2024.89603.1211>

fundamental categories: human health consequences, ecosystem quality preservation, and resource utilization efficiency.

Results and Discussion

Simulation results showed that gasification technology achieves optimal performance within an equivalence ratio range of 0.20–0.45, with detailed analysis indicating that exceeding this range significantly reduces both gas yield and system efficiency. At the optimal equivalence ratio of 0.3, the system produced 1,069 kWh of electricity and 2,567 kWh of thermal energy per 1,000 kg of processed oil, representing a substantial improvement over conventional methods. The solar photovoltaic implementation, comprising 5,700 panels, demonstrated remarkable capacity by generating 7.15 million kWh annually, exceeding the factories' energy requirements by 2.9 million kWh. However, an environmental impact analysis revealed crucial differences between the renewable alternatives. While gasification showed a 35% reduction in environmental burdens (45.13 environmental points versus 69.29 points for conventional systems), the solar scenario achieved a more modest 14% improvement. This discrepancy primarily stems from the shift in pollution sources – where conventional systems showed electricity consumption accounting for approximately 50% of environmental impacts across critical categories including global warming potential, ionizing radiation effects, ozone formation, particulate matter generation, terrestrial acidification, ecotoxicity, and fossil resource depletion, the renewable scenarios revealed polyethylene packaging materials as the new dominant pollution source. A detailed examination of impact categories revealed that in renewable energy implementations, polyethylene contributed 60–75% of the remaining environmental burdens, significantly influencing multiple indicators, including climate change metrics, aquatic toxicity parameters, and resource depletion indices. The human health category emerged as the most severely impacted across all scenarios, with particular concern for carcinogenic potential and respiratory effects. Comparative analysis demonstrated that while renewable energy adoption effectively addresses energy-related impacts, it simultaneously highlights material-related challenges that require urgent attention. The gasification scenario, while showing superior overall performance, still exhibited significant impacts from polyethylene inputs, whereas the solar scenario revealed additional concerns related to battery storage systems and water consumption throughout the production chain. These findings carry important implications for sustainable oil production. The study confirms that canola residue gasification represents the most environmentally favorable option among examined alternatives, capable of meeting approximately 50% of energy demands while significantly reducing ecological footprints. Solar photovoltaic systems, while technologically viable and capable of substantial energy generation, show somewhat limited environmental benefits due to persistent packaging-related impacts. Crucially, the research identifies that a comprehensive sustainability strategy must address both energy sources and material inputs, particularly focusing on polyethylene alternatives, to achieve meaningful environmental improvements. The quantitative outcomes provide clear guidance for policymakers and industry stakeholders, with non-renewable systems scoring 69.29 environmental points, gasification at 45.13 points, and solar at 59.48 points in the ReCiPe 2016 evaluation.

Conclusion

This investigation makes significant contributions to the field by: (1) Quantifying the precise equivalence ratio range for optimal gasification of canola residues; (2) Demonstrating the energy surplus potential of solar implementations in industrial oil production; (3) Revealing the critical shift from energy-dominated to material-dominated environmental impacts in renewable scenarios; and (4) Providing concrete data comparing three operational approaches using standardized LCA methodology. The results underscore the necessity of integrated solutions combining optimized energy systems with sustainable material choices to advance environmental performance in edible oil production.

Acknowledgments

We would like to acknowledge Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) for the financial support and Behpak and Ghoncheh factories for their collaboration.

Keywords: Gasification, Non-renewable energy, Oil extraction, Photovoltaic

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۴۴-۱۲۳

بررسی اثرات به‌کارگیری منابع مختلف انرژی بر شاخص‌های محیط زیستی فرآیند تولید روغن خوراکی

یاسر رحمتی خورشیدی^۱، همت‌الله پیردشتی^{۲*}، علی متولی^۳، سیدهاشم صمدی^۴، بنیامین خوشنویسان^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶

چکیده

روغن‌های خوراکی یکی از مواد غذایی مهم در زنجیره تغذیه انسان‌ها بوده و با توجه به افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به این ماده غذایی افزایش یافته است. افزایش ظرفیت در زنجیره تولید روغن‌های خوراکی در کارخانه‌های روغن‌کشی، نیازمند مصرف بالای منابع انرژی تجدیدناپذیر بوده و این امر به تولید آلاینده‌های بیشتر و اثرات سوء زیست‌محیطی منجر می‌شود. در مطالعه حاضر، اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید روغن از دانه‌های کلزا در دو کارخانه بهپاک بهشهر (فرآیند تولید روغن‌کشی) و غنچه ساری (فرآیند تصفیه و بسته‌بندی) در استان مازندران با سناریوهای مختلف تأمین انرژی (استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر، انرژی خورشیدی فتوولتاییک و انرژی تولیدی از پسماندهای کلزا با فناوری گازی‌سازی) بررسی شد. فرآیند طراحی سامانه خورشیدی فتوولتاییک برای تأمین انرژی کارخانه‌ها در نرم‌افزار Homer و تولید انرژی از پسماندهای کلزا در سامانه گازی‌سازی در نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شدند. همچنین داده‌های مورد نیاز در این پژوهش با استفاده از پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با مهندسان این دو کارخانه به‌دست آمد. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به‌ازای واحد کارکردی ۱۰۰۰ کیلوگرم روغن کلزا بسته‌بندی شده و با استفاده از مدل ReCiPe 2016 موجود در نرم‌افزار سیماپرو (SimaPro) انجام و نتایج ارزیابی در سه گروه آسیب به سلامت انسان، کیفیت بوم‌نظام و منابع ارائه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که استفاده از پسماندهای کلزا به‌عنوان تأمین ۱۰۰ درصد انرژی می‌تواند منبع قابل اعتمادی برای کارخانه‌های روغن‌کشی باشد، اما در عین حال، منبع انرژی خورشیدی تنها قادر به تأمین حدود ۵۰ درصد (با توجه به شرایط اقلیمی و اقتصادی) از انرژی مورد نیاز کارخانه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین اثرات زیست‌محیطی به‌ترتیب در شرایط استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و به‌کارگیری فناوری گازی‌سازی به‌میزان ۶۹/۲۹ و ۱۳/۴۵ Pt به‌دست آمد. همچنین در هر سه سناریو، تأمین انرژی رده خسارت به سلامتی انسان بالاترین میزان آسیب را در مقایسه با دو رده خسارت دیگر (بوم‌نظام و منابع) به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدناپذیر، روغن‌کشی، فتوولتاییک، گازی‌سازی

مقدمه

دانه‌های روغنی به‌عنوان منبع مهم روغن‌های خوراکی، بعد از غلات به‌عنوان دومین منبع تأمین انرژی در تغذیه انسان مطرح می‌باشند. همچنین کنجاله این دانه‌ها، به‌دلیل بالابودن میزان پروتئین در جیره غذایی دام و طیور مصرف می‌شود (Makkar, 2018). مطابق آمار فائو مصرف روغن‌های خوراکی در جهان در سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۲۳ حدود ۲۰۰ میلیون تن می‌باشد که از این میزان به‌ترتیب روغن پالم (*Elaeis guineensis* Jacq.) ۳۷ درصد، روغن سویا [*Glycine max* (L.) Merr.] ۲۸ درصد، روغن کلزا

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۲- استاد، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۴- دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 - ۵- استادیار، بخش فناوری‌های سبز، دانشگاه دانمارک جنوبی، دانمارک
- (*)- نویسنده مسئول:
(Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

Brassica napus L.) ۱۲ درصد، روغن آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus* L.) ۱۰ درصد و سایر روغن‌ها ۱۳ درصد را به خود اختصاص داده‌اند (FAO, 2023). زنجیره تأمین روغن‌های خوراکی شامل تأمین و یا تولید مواد اولیه زنجیره در بخش کشاورزی (تولید دانه‌های روغنی و روغن خام) و بخش دوم زنجیره تأمین فرآورده‌های روغن‌های خوراکی شامل استخراج و روغن‌کشی و سپس تصفیه، تهیه و بسته‌بندی برای عرضه به بازار می‌باشد.

فرآیند روغن‌کشی شامل عملیات‌های فیزیکی، مکانیکی، فرآیندهای شیمیایی و استفاده از حلال می‌باشد. فرآیندهای مکانیکی شامل شست‌وشو، پیش‌فرآوری، فشردن و استخراج از دانه‌های روغنی و عملیات مختلف شیمیایی شامل خنثی‌سازی، بی‌رنگ‌سازی، موم‌زدائی، هیدروژناسیون، بی‌بوسازی، بی‌رنگ‌سازی مجدد و بسته‌بندی روغن نباتی خام می‌باشد (Safiuddin, 2009). از مزایای این روش (روش مکانیکی) می‌توان به راندمان بیشتر استحصال روغن و واسرشت‌سازی^۱ پروتئین اشاره کرد. این روش دارای معایبی نیز می‌باشد که از آن جمله می‌توان به هزینه بالای ساخت تجهیزات مورد استفاده و بالا بودن مصرف انرژی اشاره نمود (Malek, 2009).

بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که در دو بخش روغن‌کشی و تصفیه آن، انرژی بالایی صرف شده و در حال حاضر، این انرژی‌ها به‌صورت انرژی الکتریسیته و گاز طبیعی برای این صنعت تأمین می‌گردد. سوخت‌های فسیلی از منابع اصلی ایجاد اثرات زیست‌محیطی در تولید دانه‌های روغنی و فرآیند روغن‌کشی هستند (Mirhaji et al., 2013). از طرف دیگر، سوخت‌های فسیلی بزرگ‌ترین منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده و سلامتی بشر و محیط زیست را تهدید می‌کنند (Fathollahi et al., 2016). با توجه به محدودیت منابع طبیعی و زوال ذخایر سوخت‌های فسیلی، استفاده بهینه از این منابع امری بدیهی و الزامی است (Erfani et al., 2017). نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در تولید محصولات مختلف کشاورزی و مواد غذایی، ورود به مسیر استفاده حداکثری از منابع تجدیدپذیر خورشیدی و زیست‌توده را برای تولید انرژی پاک و کم کربن توسط کشورهای مختلف ضروری می‌سازد (Luderer et al., 2019). در عین حال، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی به‌علت تغییرات فصلی و شرایط آب‌وهوایی، ماهیتی متناوب در تولید انرژی داشته و به همین علت در

تأمین انرژی یک واحد ممکن است با عدم قطعیت همراه باشد. یکی از بهترین راهکارها برای رفع این مشکل، طراحی یک سامانه ترکیبی فسیلی-خورشیدی است، به‌طوری‌که از تمام ظرفیت‌های منابع تجدیدپذیر دارای پتانسیل استفاده شود (Pourbehzadi et al., 2019). در کنار استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، یکی دیگر از انرژی‌های تجدیدپذیر در حال رشد، انرژی حاصل از زیست‌توده است (Basappaji & Nagesha, 2013). بقایا و پسماندهای حاصل از کاه و کلش گیاهان مانند کلزا می‌توانند منبع مهمی از زیست‌توده باشند. منابع زیست‌توده، انرژی را به‌صورت قابل‌توجهی در خود ذخیره کرده و در مواقع نیاز بازپس می‌دهند و کاهش اثرات گلخانه‌ای را در پی دارند (Sarasuk & Boonrod, 2011; Mofijur et al., 2019). از سوی دیگر، مصرف بالای انرژی در فرآیند تولید روغن سبب ایجاد آلاینده‌های مختلف زیست‌محیطی شده و در دهه‌های اخیر، آگاهی زیست‌محیطی افراد و تقاضا برای کالاهای دوست‌دار محیط‌زیست سبب شده است تا متخصصان حوزه کشاورزی توجه بیشتری به چنین تولیداتی داشته باشند (Khoshnevisan et al., 2015). در حال حاضر، شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات مختلف کشاورزی و مواد غذایی، از مؤلفه‌های اصلی در سیاست‌های کلان جهانی بوده و بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار داده است. در دهه اخیر، روش ارزیابی چرخه‌حیات (LCA) به‌عنوان ابزار مناسبی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در کشاورزی به‌کار برده شده است. این ابزار، روش مناسبی برای مقایسه سامانه‌های مختلف تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی می‌باشد (Motevali et al., 2019; Alishah et al., 2019; Keikha et al., 2023; Nasrollahi et al., 2023). بررسی اثرات محیط زیستی در فرآیند تولید روغن از سویا از مزرعه تا کارخانه در استان اصفهان نشان داد که در مرحله مزرعه‌ای استفاده از کودهای شیمیایی و سوخت دیزل، در مرحله روغن‌کشی و تصفیه استفاده از احتراق گاز طبیعی به‌منظور عملیات حرارتی و در مرحله بسته‌بندی استفاده از پلاستیک و کارتن بالاترین سهم در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی داشتند (Khanali et al., 2018). در پژوهشی دیگر، اثرات زیست‌محیطی تولید روغن از آفتابگردان با استفاده از فناوری‌های مختلف خورشیدی به‌منظور تأمین انرژی در فرآیند کشاورزی تولید این دانه‌ها و همچنین در فرآیند روغن‌کشی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۸۶ درصد از کل انرژی در فرآیند تولید روغن مربوط به بخش کشاورزی بود و از

یکی از اجزاء اصلی این فرایندها به‌شمار می‌آید. از آن‌جاکه در حال حاضر تأمین انرژی برای تولید روغن‌های خوراکی بر پایه انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند الکتریسته و گاز طبیعی می‌باشد، لذا انرژی و آلاینده‌های تولیدی در اثر به‌کارگیری این انرژی‌ها در فرآیند تولید این محصول اهمیت بسیار زیادی دارند، بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی اثرات زیست‌محیطی به‌کارگیری انرژی تجدیدپذیر خورشیدی برای تأمین الکتریسته و همچنین با استفاده از فرآیند گازی‌سازی پسماندهای تولیدی کلزا به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز (الکتریسته و حرارت) زنجیره تولید روغن پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی زنجیره تولید روغن خوراکی از دانه‌های کلزا در دو کارخانه بهپاک (فرآیند روغن-کشی) و غنچه (فرآیند تصفیه و بسته‌بندی) انجام شد. اطلاعات مورد نیاز با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله تکمیل پرسش‌نامه، اطلاعات ثبت‌شده، گفتگو و مصاحبه با کارشناسان کارخانه، استفاده از آمار موجود در کتابخانه‌ها و برخی پایگاه‌های داده جمع‌آوری شد.

ارزیابی چرخه‌حیات

ارزیابی چرخه‌حیات (LCA) بر پایه استاندارد ISO 14040 یکی از روش‌های مهم و مدرن برای بررسی پایداری زیست‌محیطی در تولید محصولات (ISO 14040, 2006) و با استفاده از نرم‌افزار SimaPro 9.0 انجام شد. ارزیابی چرخه‌حیات دارای چهار مرحله ۱- تعیین هدف و حوزه مطالعه، ۲- ممیزی چرخه‌حیات (LCI)، ۳- ارزیابی اثر (LCIA) و ۴- تفسیر می‌باشد (Georgiopoulou & Lyberatos, 2018).

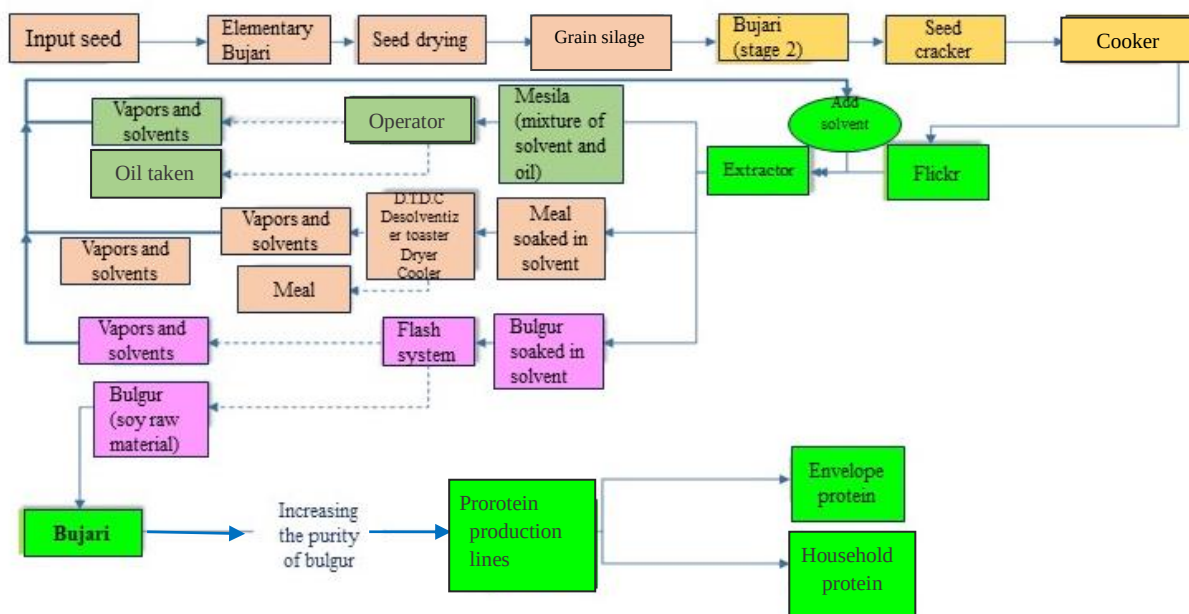
تعریف هدف، دامنه کاربرد یا مرز سامانه

اولین مرحله از ارزیابی چرخه‌حیات، تعیین هدف بوده (Soheili et al., 2019) و بر این اساس، محصول نهایی مورد انتظار، مرزهای سامانه مورد مطالعه و واحد کارکردی براساس دستورالعمل پیشنهادی سامانه داده‌های بین‌المللی چرخه‌حیات (IRLCDS) مشخص شد (Khoshnevisan et al., 2013). نمودار روندنمای تولید روغن طی در دو مرحله روغن‌کشی (شکل ۱) و تصفیه و بسته‌بندی (شکل ۲) آورده شده است.

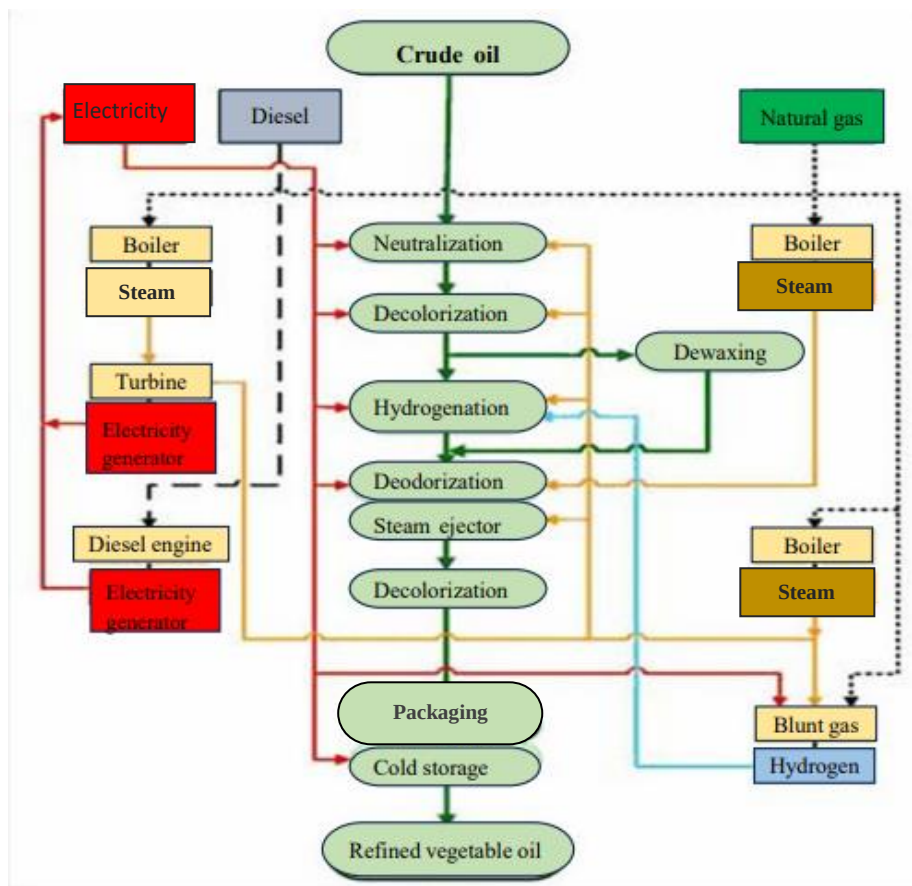
این بین، انرژی الکتریسته با سهم ۳۲ درصد بالاترین نقش در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی داشت. همچنین، نتایج نشان داد که ۹۰ درصد از سهم سلامتی انسان‌ها و کیفیت بوم‌نظام و ۵۰ درصد از سهم شاخص تغییرات اقلیم مربوط به آلاینده‌های مستقیم از سطح مزرعه بود. از سوی دیگر، در ارزیابی استفاده از سامانه‌های خورشیدی، نتایج نشان داد که استفاده از صفحات خورشیدی فتوولتائیک نسبت به صفحات خورشیدی فتوولتائیک-حرارتی، آلایندگی پایین‌تری تولید کرده و به‌عنوان سناریوی دوست‌دار محیط‌زیست معرفی شد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2021). در تحقیقی دیگر تحت عنوان بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) با استفاده از انرژی خورشیدی در قالب استفاده از صفحات فتوولتائیک و فتوولتائیک-حرارتی نشان داده شد که استفاده از سوخت دیزل در سناریوی استفاده از انرژی الکتریسته بر پایه سوخت فسیلی بالاترین سهم در ایجاد شاخص‌های سوء زیست‌محیطی داشت. همچنین از بین دو سناریو استفاده از انرژی الکتریسته خورشیدی (فتوولتائیک و فتوولتائیک-حرارتی) نشان داده شد که استفاده از صفحات خورشیدی فتوولتائیک حرارتی، اثرات سوء زیست‌محیطی پایین‌تری نسبت به استفاده از صفحات فتوولتائیک داشت (Hosseini-Fashami et al., 2019). در مطالعات زیادی، ارزیابی چرخه‌حیات برای گازی‌سازی از منابع زیستی مختلف صورت گرفته است. گازی‌سازی فرآیندی است که زیست‌توده یا سوخت سنگواره‌ای بر پایه کربن را به کربن مونوکسید، هیدروژن و کربن دی‌اکسید تبدیل می‌کند. اگر ترکیبات گازی از زیست‌توده به‌دست آمده باشد، نیروی به‌دست آمده از گازی‌سازی و احتراق آن عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود (Li et al., 2020).

نتایج پژوهش المسیا و همکاران (Alamsyah et al., 2015) در یک مطالعه تجربی روی تولید گاز مصنوعی^۲ از طریق گازی‌سازی پلت‌های زیست‌توده از بقایای سویا، باگاس، کاه برنج (*Oryza sativa* L.) و بقایای ذرت (*Zea mays* L.) و پوسته نخل (*Phoenix dactylifera* L.) نشان دادند که آلایندگی گازی‌سازی این زیست‌توده‌ها مطابق با استاندارد کیفیت آلایندگی می‌باشد. بررسی مطالعات انجام‌شده نشان از آن دارد که مصرف انرژی در فرآیند صنعتی تولید روغن‌های خوراکی (فرآیند روغن‌کشی و تصفیه آن)

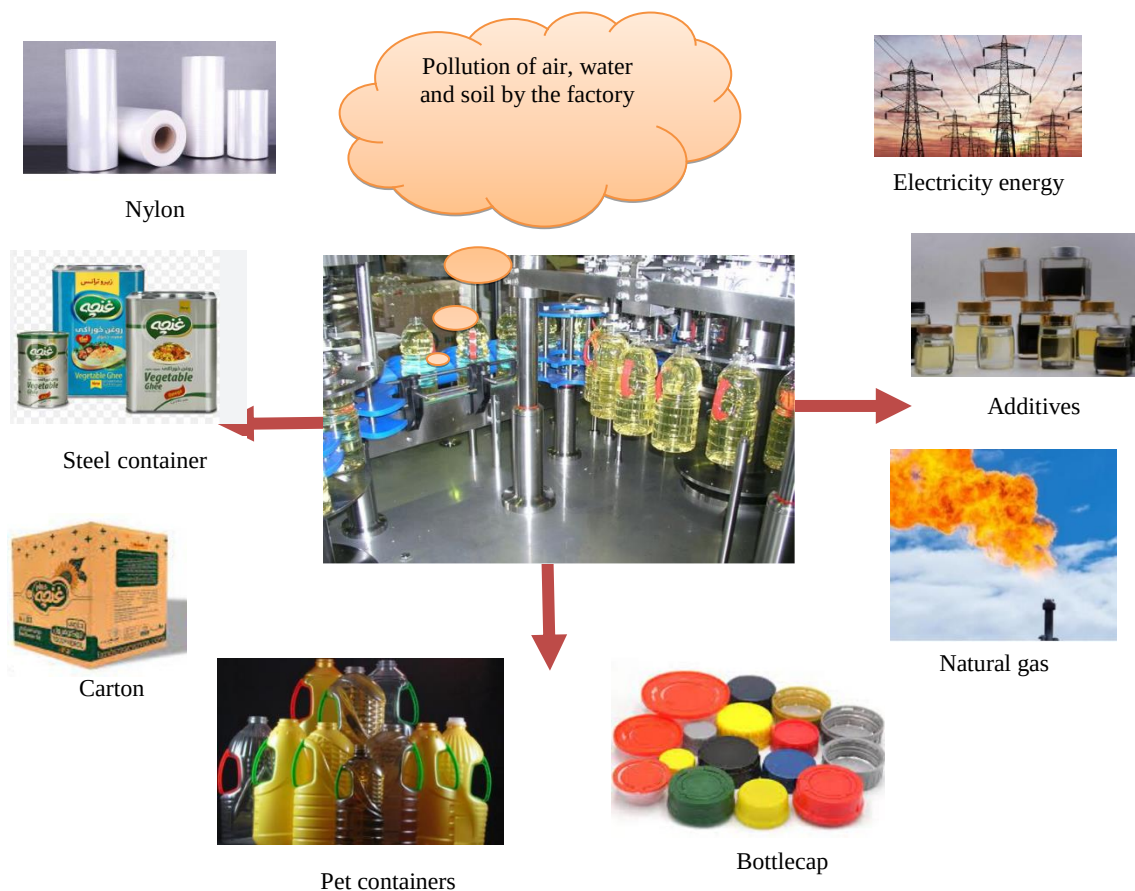
- 1- Gasification
- 2- Syngas



شکل ۱- فرآیند تولید روغن خام در کارخانه روغن‌کشی بهپاک



شکل ۲- فرآیند تولید روغن تصفیه و بسته‌بندی شده در کارخانه غنچه

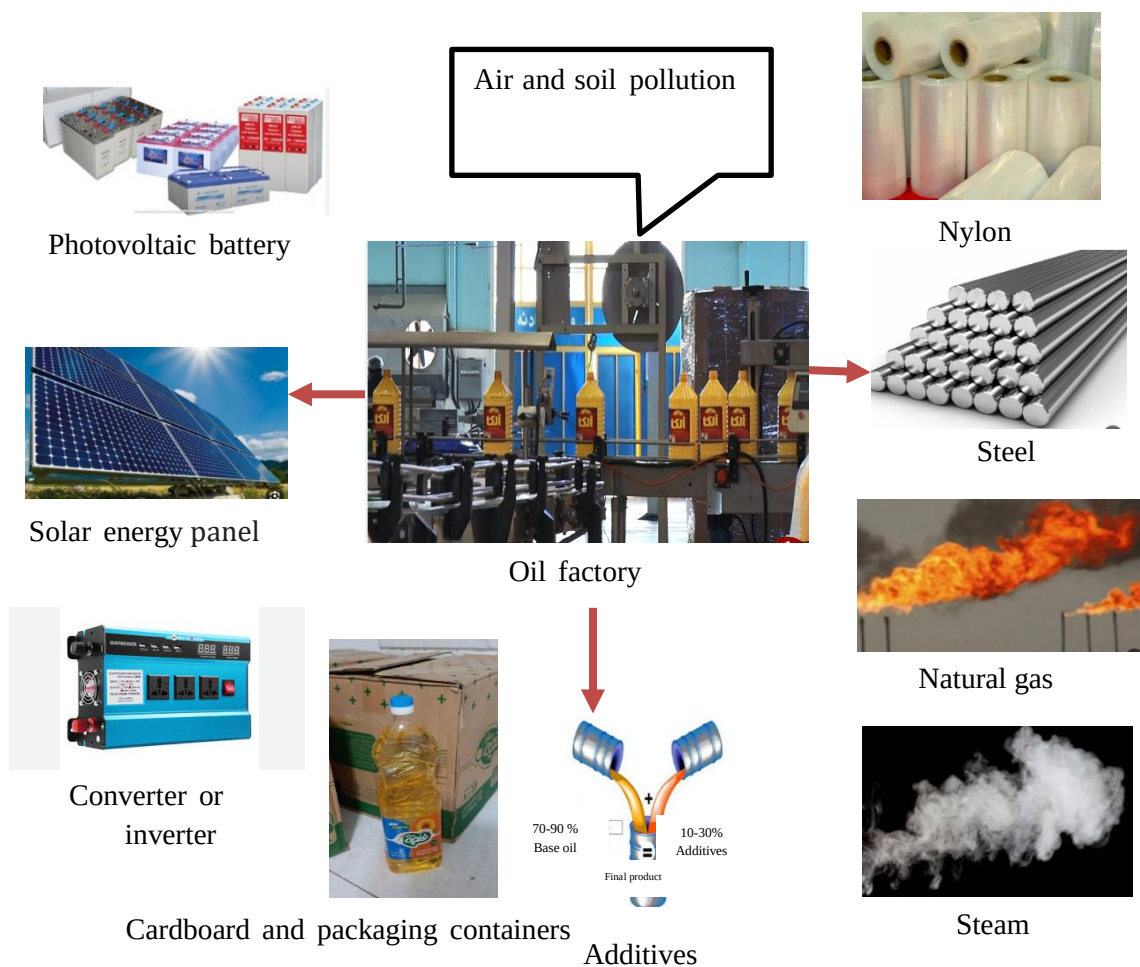


شکل ۳- مرز سامانه در سناریوی اول (حالت مرسوم: تأمین انرژی با استفاده از انرژی های تجدیدناپذیر)
Fig. 3- System boundary in the first scenario (conventional mode: Energy supply using non-renewable energies)

محاسبه ارزش حرارتی گاز سنتز تولیدی و مقادیر گازهای تولیدی، آنالیز نهایی و تقریبی بقایای کلزا انجام شد (جدول ۱). در سناریوی سوم (استفاده از انرژی خورشیدی) با استفاده از نرم افزار Homer که نرم افزاری جامع و کامل است، می توان تعداد پنل های خورشیدی و تجهیزات مربوطه را با توجه به نیاز کارخانه طراحی کرد. نرم افزار هومر که توسط دپارتمان ملی انرژی تجدیدپذیر آمریکا در سال ۲۰۰۹ به وجود آمده است، با داشتن کتابخانه کاملی از انواع مراجع تولید توان و فناوری های مربوط به آن، در عین سادگی، امکانات بی نظیری را نیز در اختیار کاربر قرار دهد. از این نرم افزار برای طراحی و شبیه سازی نیروگاه خورشیدی اعم از متصل به شبکه و جدا از شبکه در سطوح کیلوواتی و مگاواتی استفاده می شود. در این نرم افزار، ابتدا شرایط جغرافیایی و آب و هوایی کارخانه های روغن کشی مورد نظر از نظر پتانسیل احداث یک نیروگاه فتوولتاییک از پایگاه Meteororm استخراج شد.

مرز سامانه در پژوهش حاضر، کارخانجات تولید روغن و بسته بندی (شکل های ۳، ۴ و ۵) و واحد کارکردی به منظور بررسی اثرات زیست محیطی به ازای یک تن روغن بسته بندی و تصفیه شده در نظر گرفته شد.

سامانه گازی سازی دارای چهار مرحله ۱- خشک شدن سوخت، ۲- تجزیه در اثر حرارت، ۳- احتراق و ۴- کاهش می باشد. در این مطالعه به ازای واحد کارکردی (مقدار تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم روغن خوراکی) حاصل از گیاه کلزا به میزان حدوداً ۲۰۰۰ کیلوگرم دانه روغنی کلزا (میانگین ضریب تبدیل ۵۰ درصد) مورد نیاز است. از این میزان دانه روغنی، ۲۷۷۵ کیلوگرم بقایای کلزا در مزرعه باقی می ماند. میزان گاز تولیدی از این بقایا، جهت استفاده در یک موتور-ژنراتور با استفاده از روش های پیش بینی تولید گاز سنتز و ارزش حرارتی گاز حاصل از بقایای کلزا با استفاده از فناوری گازی سازی (روش معادله ترمودینامیکی تعادلی) به دست می آید (Samadi et al., 2020). برای



شکل ۴- مرز سامانه در سناریوی دوم (تأمین انرژی با استفاده از انرژی فتوولتائیک خورشیدی)
Fig. 4- System boundary in the second scenario (energy supply using solar photovoltaic energy)

جدول ۱- آنالیز نهایی و تقریبی بقایای کلزا

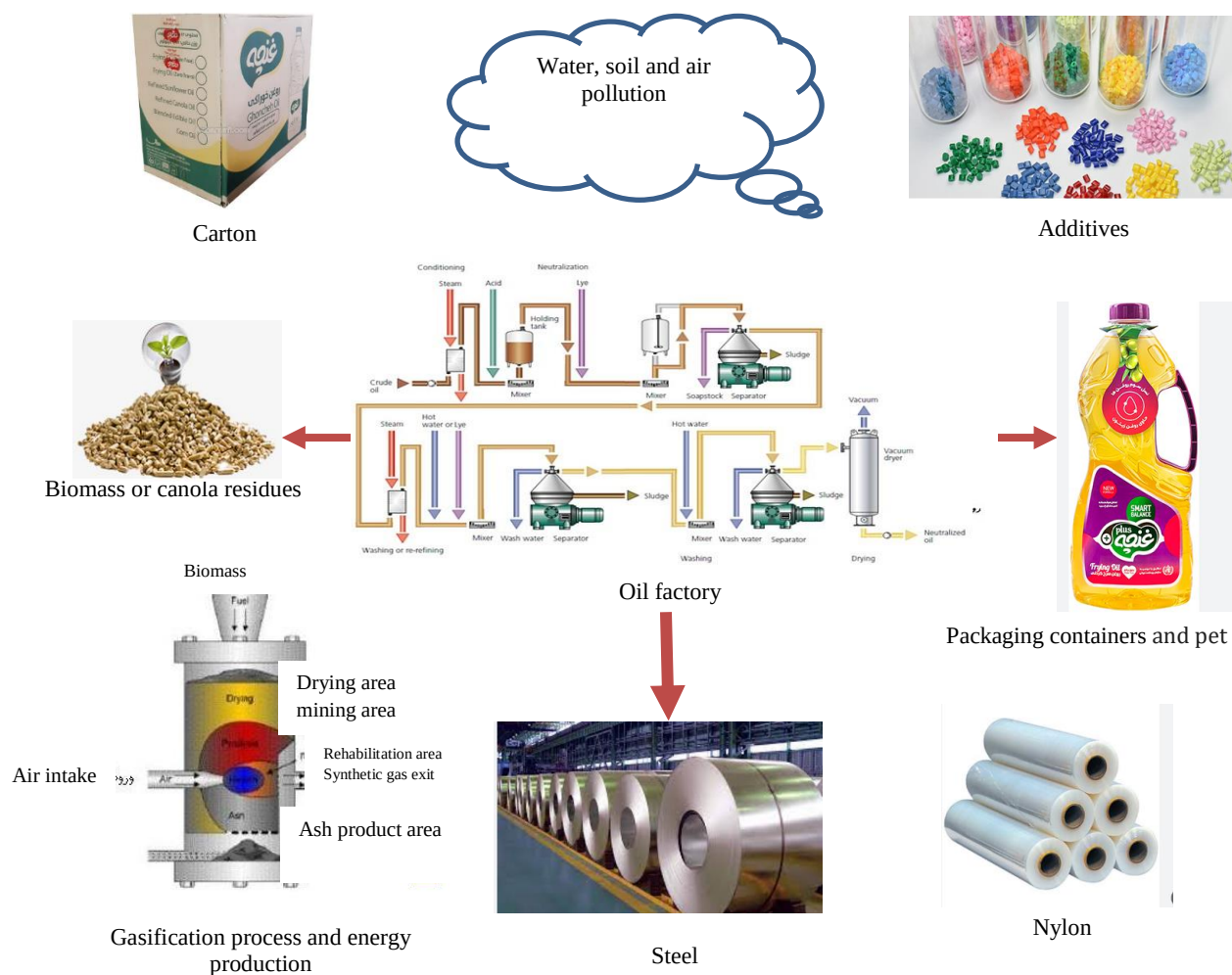
Table 1- Final and approximate analysis of rapeseed residues

آنالیز تقریبی Approximate analysis (wt%)					آنالیز نهایی Final analysis (wt%)				
ارزش حرارتی ناخالص HHVdry (Mj.kg ⁻¹)	رطوبت Humidity	خاک ستر Ash	ماده فرار Volatile substance	کربن تثبیت شد ه Fixed C	کربن C	هیدروژن H	نیتروژن N	گوگرد S	اکسیژن O
14.04	6.18	5.01	62.89	25.55	40.94	5.52	0.8	0.53	51.53

ارزش حرارتی
Thermal
value

و تعداد صفحات خورشیدی مورد نیاز تأمین تمام توان مورد نیاز در هر لحظه از شبانه‌روز و ذخیره انرژی اضافه در باتری‌ها و/یا انتقال توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی به شبکه سراسری نیز در نظر گرفته شد (Sami Hesar et al., 2018).

در ادامه، پارامترهای مهم آن به‌منظور طراحی نیروگاه به‌عنوان نهاده ورودی در نرم‌افزار هومر وارد شد. یکی از مهمترین مراحل، تعیین زاویه و سمت (جهت) پنل‌های فتوولتاییک بود. در مرحله تعیین بهترین زوایا و سمت مازول‌های فتوولتاییک، رویکرد بیشینه سازی تولید انرژی سالیانه مد نظر قرار گرفت. به‌منظور تعیین مساحت



شکل ۵- مرز سامانه در سناریوی سوم (تأمین انرژی با استفاده از فناوری گازی‌سازی پسماندهای کلزا)
Fig. 5- System boundary in the third scenario (energy supply using rapeseed waste gasification technology)

استاندارد ISO 14040 بود (Brenttrup et al., 2004). نتیجه اصلی این بخش، ارائه فهرستی از ورودی‌ها (مواد و انرژی) و خروجی‌های (انتشار به محیط زیست) کمی‌شده بر مبنای واحد کارکردی است که به‌عنوان ورودی برای مرحله ارزیابی اثرات در نظر گرفته می‌شود (Guinee & Lindeijer, 2002).

تحلیل سیاهه

این مرحله شامل داده‌های مربوط به منابع ورودی به کارخانه‌ها (گاز طبیعی، هگزان، تجهیزات کارخانه، الکتریسیته و ...) و انتشار آلاینده‌های حاصل از مصرف منابع ورودی و هر یک از فعالیت‌های مرتبط با تولید نهایی محصول و براساس واحد مرجع، مطابق با

جدول ۲- میزان تخصیص داده‌های مورد استفاده در زنجیره تولید روغن (سناریوی اول)

Table 2- The amount of data allocation used in the oil production chain (first scenario)

نوع ماده مصرفی Type of consumable	واحد Unit	میزان Value
هگزان Hexane	Lit	5.8
کل گاز مصرفی Total gas consumption	m ³	48.02
کل برق مصرفی Total electricity consumption	kW	245.4
بخار مصرفی Consumable steam	kg	68
نیروی کارگری Labor force	work day	3.8
موتور الکتریکی Electric motor	kg	0.14
استیل Steel	kg	0.24
آهن و فلزات Iron and metals	kg	0.36
اسید سیتریک Citric acid	kg	0.1
اسید فسفریک Phosphoric acid	kg	0.75
انواع اسید Types of acids	kg	1
سودکاستیک مایع با بومه ۱۳ Liquid caustic soda with boheme 13	kg	6.46
خاک پرلیت Perlite soil	kg	5.44
خاک بنتونیت Bentonite soil	kg	3.5
آنتی اکسیدانت جامد - خوراکی Solid antioxidant - edible TBHQ	kg	0.08
پروپیلن گلیکول خوراکی Oral propylene glycol	kg	0.12
نیروی انسانی Labor force	work day	3.2
موتور الکتریکی Electric motor	kg	0.11
استیل Steel	kg	0.13
آهن و فلزات Iron and metals	kg	0.19
مس Copper	kg	0.028
انواع چسب نواری Types of adhesive tape	kg	0.5
چسب لیبل Label glue	kg	0.03
درب باتری battery door	kg	4.6

کارتن	kg	12.2
Carton		
لیبل	kg	0.63
Label		
نایلون کیسه ای	kg	1.55
Nylon bag		
p.e.t	kg	27.29
p.e.t مستریج زرد	kg	0.28
Yellow masterbatch p.e.t		
کل آب مصرفی	m ³	2.77
Total water consumption		

جدول ۳- مواد استخراج شده در سامانه گازی‌سازی انرژی زیست توده بقایای کلزا

Table 3- Extracted materials in the biomass energy gasification system of rapeseed residues

مواد مورد استفاده	واحد (کیلوگرم)
Materials used	Unit (kg)
ذخیره‌سازی زیست توده	0.0004
Biomass Storage	
موتور	0.000018
Motor	
کمربند	0.00005
Belt	
نوار نقاله زیست توده	0.0004
Biomass conveyor	
گازساز زیست توده	0.012
Biomass gasifier	
گرد و غبار سیکلون	0.0005
Cyclone dust collector	
کولر هوا	0.004
Air cooler	
کولر گازی	0.005
Gas cooler	
ESP	0.008
کولر گازی	0.006
Gas cooler	
گاز خشک کن	0.001
Gas dryer	
مخزن بافر	0.002
Buffer tank	
مشعل گاز	0.00005
Gas flare	
مجموعه ژنراتور گاز	0.0225
Gas generator sets	
دمنده	0.00008
Blower	

می‌گیرند.

همه مواد و نهاده‌های موجود در **جدول ۲** (به‌جز نهاده‌های انرژی مانند الکتریسیته و گاز مصرفی) در طول دوره تولید روغن از کلزا در قسمت‌های ورودی، تصفیه و پالایش، تولید نهایی و بسته‌بندی در

داده‌های مورد استفاده در بخش کاربرد انرژی الکتریسیته برای

تولید روغن از کلزا در **جدول ۲** دسته‌بندی شد. همه مواد و نهاده‌های موجود در این جدول در طول دوره تولید روغن از کلزا در قسمت‌های ورودی، تصفیه و پالایش، تولید نهایی و بسته‌بندی مورد استفاده قرار

سناریوی دوم و سوم مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همچنین داده‌های دیگر ورودی برای سناریوی دوم که استفاده از زیست‌توده برای تولید انرژی می‌باشد، به صورت **جدول ۳** تهیه و سپس وارد نرم‌افزار سیمپرو شد.

در ادامه، داده‌های ورودی برای سناریوی سوم که استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی الکتریکی در فرآیند تولید می‌باشد، در **جدول ۴** آورده شده است.

جدول ۴- مواد استخراج شده در سناریوی سوم (استفاده از انرژی خورشیدی)
Table 4- Extracted materials in the third scenario (use of solar energy)

نوع مواد مصرفی	واحد	ارزش
Type of consumable	Unit	Value
صفحات خورشیدی	m ²	0.005
Photovoltaic panel		

ارزیابی اثرات چرخه‌حیات

ارزیابی چرخه‌حیات، مرحله‌ای است که در آن مجموعه نتایج مرحله قبل براساس اثرات زیست‌محیطی تفسیر می‌شوند (Gunee, Lindeijer 2002 & Royet al., 2009). در واقع، این مرحله با تفسیر بیش‌تر نتایج سیاهه به آن‌ها مفهوم و ارزش می‌بخشد (Brenttrup et al., 2004a). این مرحله از ارزیابی چرخه‌حیات به‌طور کلی، شامل طبقه‌بندی، ویژگی‌سازی^۱، نرمال‌سازی و ارزش‌گذاری^۲ می‌باشد (Royet al., 2009) که در مرحله ارزش‌گذاری، اهمیت نسبی بارهای محیط زیستی مشخص‌شده در مراحل طبقه‌بندی، مشخص‌سازی و نرمال‌سازی از طریق وزن‌دهی قابل مقایسه و تجمیع شدند. داده‌های صورت‌برداری‌شده برای انجام مرحله سوم ارزیابی چرخه‌حیات در نرم‌افزار سیمپرو وارد و اثرات زیست‌محیطی توسط روش ReCiPe 2016، که روش نسبتاً جدیدی بوده و براساس شاخص‌های اقتصادی ۹۹ برای دو سطح میانی (۱۸ اثر زیست‌محیطی) و پایانی (سه رده خسارت) طراحی شده است، ارزیابی شد.

تفسیر نتایج

تفسیر چرخه‌حیات، یک تکنیک سیستماتیک برای شناسایی، تعیین کمیت، بررسی و ارزیابی اطلاعات از نتایج و برقراری ارتباط مؤثر بین آن‌ها می‌باشد. به‌منظور بررسی و ریشه‌یابی نتایج اثرات زیست‌محیطی از تفسیر چرخه‌حیات استفاده می‌شود. ارائه تفسیر منطقی برای هر سناریو و تعیین بهترین و بدترین سناریوها در زنجیره تولید روغن در این مرحله انجام می‌شود.

نتایج و بحث

سامانه‌های تجدیدپذیر

سامانه گازی‌سازی

در این سناریو از روش گازی‌سازی پسماندهای کاه و کلش کلزا به منظور تأمین انرژی مورد نیاز در فرآیند تولید روغن استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهترین عملکرد گازی‌سازی بقایای گیاه گلزا، برای نسبت هم‌ارزی ۰/۲ الی ۰/۴۵ به‌دست آمد و سپس بهترین عملکرد گازی‌سازی براساس ارزش حرارتی گاز در جدول ۵ انتخاب شد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که اگرچه با افزایش نسبت هم‌ارزی ارزش حرارتی، گاز تولیدی کاهش یافت، اما در عین حال، بازده گازی‌سازی با افزایش نسبت هم‌ارزی سوخت به هوا تا نسبت ۰/۳۰ روند افزایشی داشته و با افزایش این نسبت، بازده روند کاهشی خواهد داشت. با در نظر گرفتن بازده الکتریکی موتور سین‌گازسوز به‌مقدار ۲۰/۲ درصد (Huchon et al., 2020) و ضریب ۲/۴ به‌ازای تولید یک کیلووات الکتریسته به حرارت (Salomón et al., 2011) (جدول مقدار برق و حرارت تولیدی به‌ازای ۲۷۷۵ کیلوگرم کلزا به‌صورت **جدول ۶** می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بهترین عملکرد در نسبت هم‌ارزی ۰/۳ به‌دست آمد و مقدار الکتریسته و حرارت تولیدی به‌ترتیب ۱۰۶۹ و ۲۵۶۷ کیلووات ساعت بود.

سامانه‌های فتوولتائیک

در این سناریو به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز در فرآیند تولید روغن از شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار Homer pro 3.18.3

1- Characterization
2- Valuation

مجموعه‌ها در حدود ۴/۲۵ میلیون کیلووات ساعت بود که با توجه به طراحی‌های صورت گرفته و میزان تابش نور خورشید در منطقه، تعداد صفحات فتوولتاییک ۵۷۰۰ عدد انتخاب شدند. نتایج نشان داد که نیروگاه خورشیدی ایجاد شده می‌تواند ۷/۱۵ میلیون کیلووات ساعت در سال انرژی برق تولید کند که از انرژی مورد استفاده ۲/۹۰ میلیون کیلووات ساعت بیشتر است.

استفاده شد. به‌منظور طراحی یک نیروگاه خورشیدی برای تأمین انرژی الکتریسیته، ابتدا اقلیم منطقه به‌طور کامل شناخته شد و شدت تابش نور خورشید به‌صورت ماهانه و براساس طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر و با پیوند به نرم‌افزار Metron به نرم‌افزار Homer داده شد. همچنین میزان انرژی برق مصرفی در ۲۴ ساعت نیز به‌عنوان ورودی‌های نرم‌افزار در نظر گرفته شد. مطابق بررسی‌های انجام‌شده، میزان برق مصرفی در سال برای این

جدول ۵- نتایج مدل‌سازی گازی‌سازی کلزا

Table 5- Results of rapeseed gasification modeling

نسبت هم‌ارزی کلزا Canola equivalence ratio	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
هیدروژن H ₂ (vol %)	16.73	15.77	14.79	13.71	12.47	11.09
مونوکسید کربن CO (vol %)	20.89	22.13	22.75	22.91	22.62	21.99
دی اکسید کربن CO ₂ (vol %)	17.54	15.37	13.88	12.87	12.3	12.07
متان CH ₄ (vol %)	5.14	3.58	2.33	1.33	0.57	0.01
نیتروژن N ₂ (vol %)	39.46	43.07	46.17	49.08	51.92	54.7
ارزش حرارتی پایین‌تر LHV (MJ.m ³)	6.28	5.78	5.3	4.85	4.41	3.97
دمای گازی سازی T gasification (k)	1039	1075	1113	1155	1198	1243
میزان گازی سازی Vg (m ³ gas.kg ⁻¹ canola)	1.68	1.92	2.15	2.36	2.55	2.73
کارایی Efficiency (%)	65.32	68.33	69.95	69.65	67.56	64.4

جدول ۶- برق و حرارت تولیدی با استفاده از یک سامانه گازی‌سازی کلزا

Table 6- Electricity and heat produced using a rapeseed gasification system

نسبت هم‌ارزی Equivalence ratio	مقدار گاز تولیدی The amount of gas produced (m ³)	تولید انرژی Energy production (MJ)	تولید الکتریسیته Electricity production (MJ)	تولید الکتریسیته Electricity production (kWh)	حرارت تولیدی Production heat (MJ)	حرارت تولیدی Production heat (kWh)
0.2	4053.00	25452.82	3358.87	933.02	8061.29	2239.25
0.25	4605.55	26620.11	3674.01	1020.56	8817.63	2449.34
0.3	5142.23	27253.84	3851.03	1069.73	9242.47	2567.35
0.35	5595.48	27138.08	3818.38	1060.66	9164.12	2545.59
0.4	5968.79	26322.38	3592.29	997.86	8621.50	2394.86
0.45	6320.47	25092.27	3264.38	906.77	7834.52	2176.26

نشان داد که در اغلب شاخص‌ها، انرژی الکتریسیته بالاترین سهم را در ایجاد این شاخص‌ها داشته است. جریان الکتریسیته در ایجاد شاخص‌های گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، تابش یونیزاسیون، تشکیل ریزذرات، سمیت زیست‌محیطی، سمی شدن آب شیرین،

بررسی اثرات زیست‌محیطی

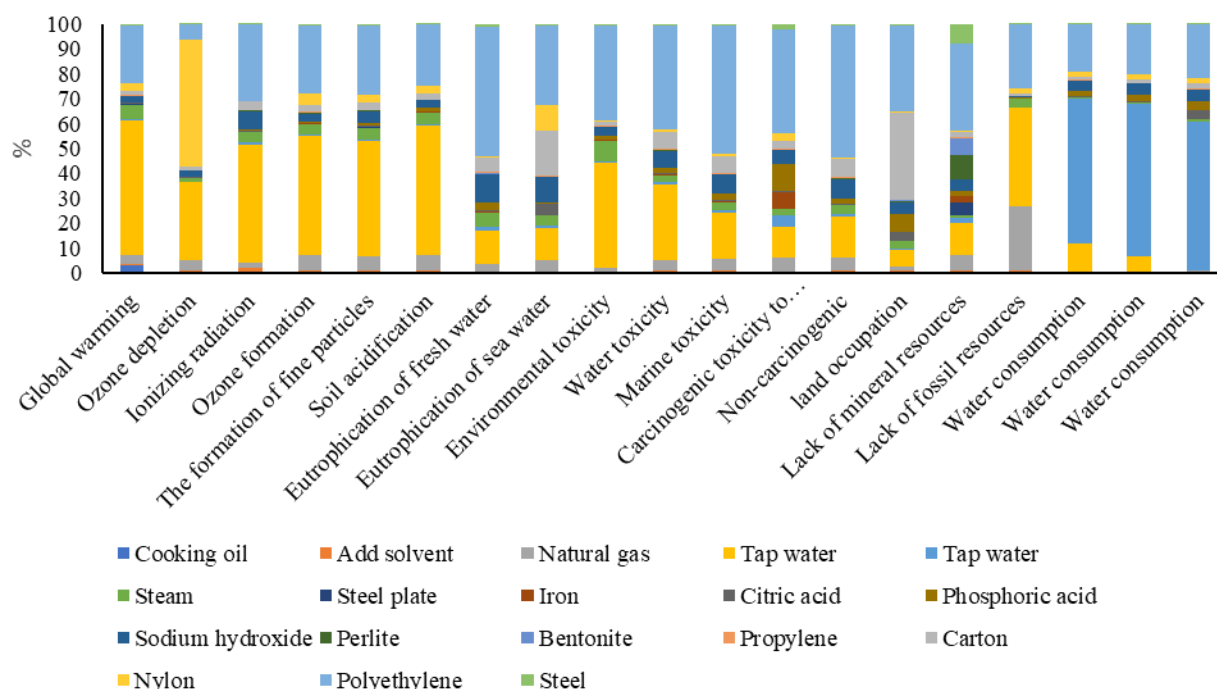
بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی در سناریوی اول

نتایج به‌دست آمده حاصل از بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی (شکل ۶) در سناریوی اول (استفاده از انرژی تجدیدناپذیر)

زیست‌محیطی تأثیر بگذارد (Schreiber et al., 2009). لذا در این سناریو، بیشترین تخریب محیط‌زیست در استفاده از جریان الکتریسیته اتفاق می‌افتد. نتایج این پژوهش با نتایج کومله (Komleh et al., 2017) در ارزیابی اثرات محیط زیستی تولید رب گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، خوشنویسان (Khoshnevisan et al., 2012) در بررسی اثرات محیط زیستی تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و رجایی‌فر (Rajaeifar et al., 2014) در ارزیابی زیست‌محیطی تولید روغن زیتون (*Olea europaea* L.) مشابهت داشت.

اسیدی‌شدن خاک و کمبود منابع فسیلی به‌ترتیب با سهم‌های ۴۵ درصد، ۳۱ درصد، ۴۷ درصد، ۴۸ درصد، ۴۲ درصد، ۴۷ درصد، ۵۲ درصد و ۳۹ درصد اثرگذار بودند. همچنین اعداد به‌دست‌آمده از سناریوی اول نشان می‌دهد که ۶۵ درصد از کمبود منابع فسیلی ناشی از مصرف بالای الکتریسیته و گاز طبیعی در تولید روغن بود.

یکی از دلایل مهم تأثیرگذاری الکتریسیته در ایجاد شاخص‌های سوء زیست‌محیطی این است که در هر مرحله تولید الکتریسیته، علاوه‌بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن، گازهای متان، دی‌اکسید سولفور، دی‌اکسید نیتروژن، آمونیاک و اکسید اتان، فلزات سنگین و زباله‌های خطرناک منتشر می‌شوند که می‌تواند بر ایجاد شاخص‌های مختلف



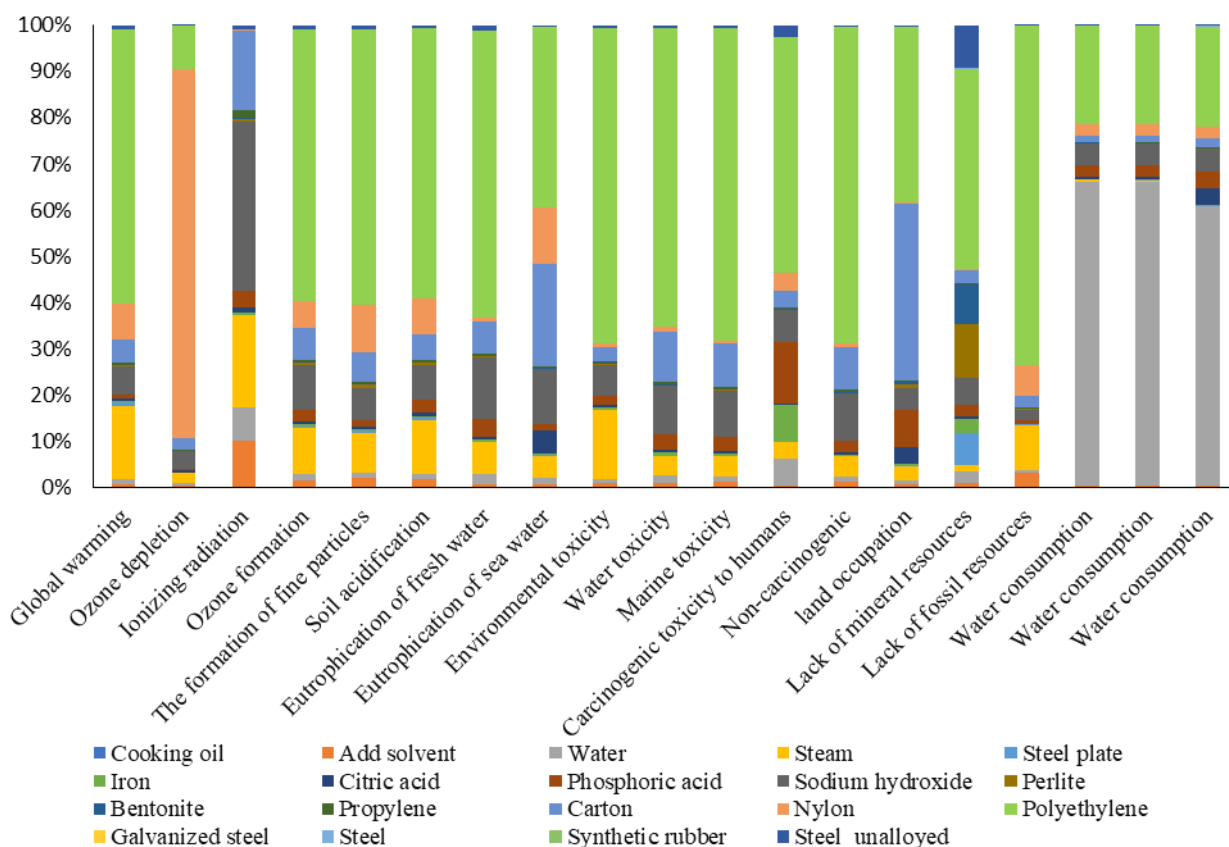
شکل ۶- سهم نهاده‌های ورودی بر شاخص‌های میانی تولید روغن در سناریوی استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر
Fig. 6- The contribution of inputs on the intermediate indicators of oil production in the scenario of using non-renewable energies

با سهم حدود ۶۷ درصد، اوتریفیکاسیون آب دریا با سهم ۳۸ درصد، سمیت سرطان‌زایی برای انسان با سهم ۵۱ درصد و اشغال زمین با سهم ۳۸ درصد اثرگذار بود. همچنین حدود ۸۰ درصد از تخریب لایه ازن به‌وسیله نایلون مصرفی و ۳۶ درصد از تابش یونیزاسیون به‌دلیل استفاده از سدیم هیدروکسید بود. بررسی و مقایسه سناریوی اول و دوم نشان داد که استفاده از فناوری گازی‌سازی زیست‌توده به‌طور چشمگیری بار آلاینده‌ها را از روی تولید الکتریسیته برداشت. ساداتی و پورطهماسبی (Saadati & Portahmasbi, 2012) نیز آلودگی

بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی در سناریوی دوم بررسی اثرات زیست‌محیطی در سناریوی استفاده از فناوری گازی‌سازی (شکل ۷) برای تأمین انرژی (الکتریسیته و حرارت) نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن، آلودگی بالاتری نسبت به سایر نهاده‌ها ایجاد می‌کند. نتایج نشان داد که پلی‌اتیلن در ایجاد شاخص‌های گرمایش جهانی، تشکیل ازن، تشکیل ریزذرات و اسیدی‌شدن خاک با سهم حدود ۶۰ درصد، ایجاد شاخص‌های اوتریفیکاسیون آب شیرین، سمیت زیست‌محیطی، سمیت آبی و دریایی و غیرسرطان‌زایی

آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی نام برده است. بین‌یسی و آکسوغان (Binici & Aksogan, 2016) اثر تولید انرژی از دانه‌های زیتون را بر محیط زیست بسیار کم دانسته‌اند.

زیست‌توده را بسیار کم دانسته و صلواتی (Salavati, 2017) گازی‌سازی از طریق پسماندهای کشاورزی را برای محیط‌زیست بسیار خوب توصیف کرده و از آن به‌عنوان راهی برای برون‌رفت از



شکل ۷- سهم مراحل تولید روغن در میزان هریک از گروه‌های تأثیر در سناریوی دوم

Fig. 7- The contribution of each of the oil production stages in the amount of each of the impact groups in the second scenario

و استفاده از منابع فسیلی شده است.

بررسی و مقایسه سناریوی دوم و سوم نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن در هر دو سناریو، اثرات سوء زیادی ایجاد کرده است که این ماده با تأثیر اشعه فرابنفش خورشید و دمای بالا، به قطرات ریز تبدیل شده و به‌عنوان ذرات معلق در هوا قرار می‌گیرد. این ذرات معلق می‌توانند باعث تنگی نفس، التهاب ریه‌ها و بیماری‌های دیگر در انسان و حیوانات شوند. همچنین، پلی‌اتیلن می‌تواند به آب‌های زیرزمینی و سطحی نفوذ کرده و با آلوده‌سازی آن‌ها، منابع آبی را تهدید کند. بسیاری از حیوانات و پرندگان، به اشتباه پلی‌اتیلن را به عنوان غذا می‌خورند (Mohammadi & Hammati, 2022) که

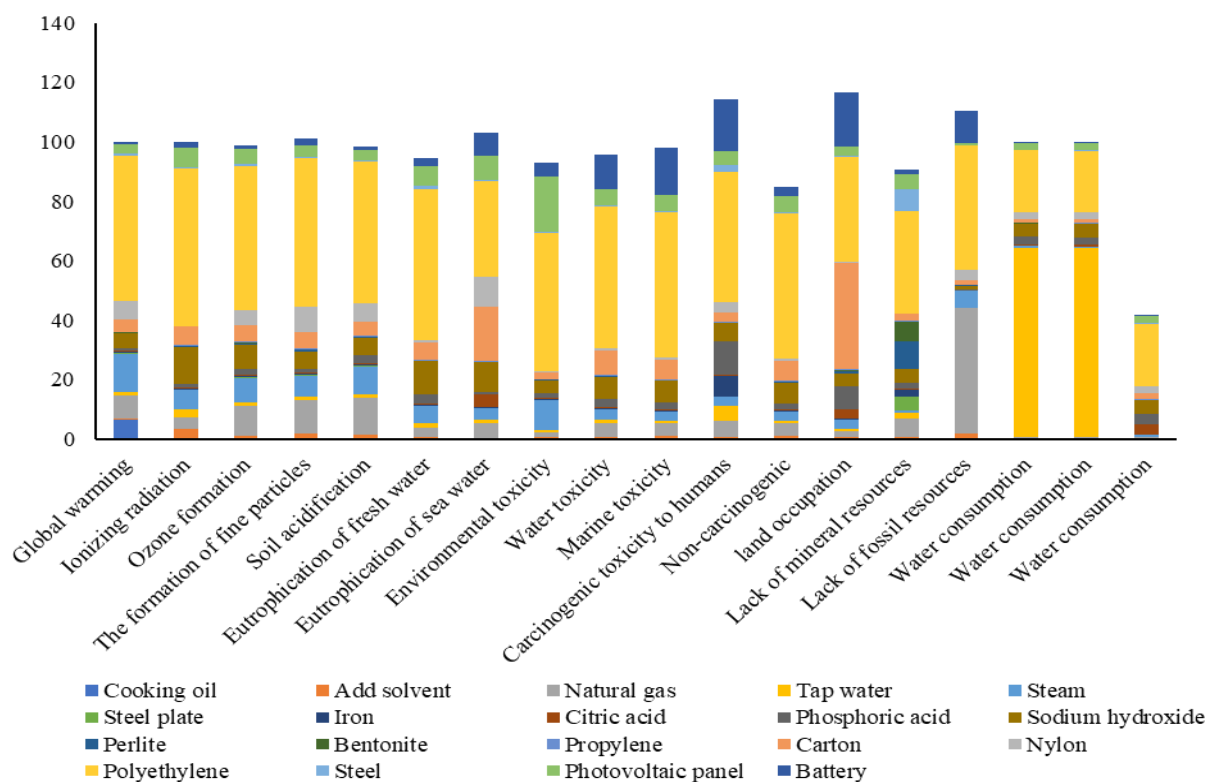
بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی در سناریوی

سوم

بررسی سناریوی سوم و استفاده از انرژی خورشیدی در تأمین الکتریسیته فرآیند تولید روغن (شکل ۸) نشان داد که در شاخص‌های پلی‌اتیلن مصرفی در بسته‌بندی، روغن بالاترین سهم در ایجاد این شاخص‌ها را داشت، به‌طوری‌که شاخص‌های گرمایش زمین، تابش یونیزاسیون، ایجاد ازن، اسیدی شدن آب و دریاها، اوتریفیکاسیون آب دریا و آب شیرین، سرطان‌زایی، کمبود منابع فسیلی و منابع معدنی و حتی مصرف آب را هم تحت تأثیر قرار داده است. در رتبه بعدی، استفاده از بخار آب و گاز طبیعی منجر به گرمایش زمین، اسیدی شدن

در فرآیند تولید روغن از دانه‌های آفتابگردان نشان داد که به‌کارگیری سامانه‌های فتوولتائیک نسبت به انرژی مرسوم، اثرات زیست محیطی را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. همچنین از طرف دیگر، می‌توان مشاهده نمود که انرژی خورشیدی، اثرات مخرب کمی داشته و این مواد بسته‌بندی است که سبب ایجاد شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی می‌گردد. باتوجه به مطالعات طاهری‌اصل (Taheri Baqa et al., 2014)، ریچه (Reiche, 2003) و بقا (Baqa et al., 2018) می‌توان بیان کرد که انرژی خورشیدی و استفاده از پانل‌های جدید، آلودگی بسیار کمی داشته و می‌توان از این نوع انرژی به‌جای سوخت‌های فسیلی و انرژی الکتریکی حاصل از سوخت‌های فسیلی استفاده نمود.

ممکن است باعث انسداد روده و در نتیجه، مرگ آن‌ها شوند. مقایسه هر سه سناریو نشان می‌دهد که در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی و الکتریسته، که دارای منشأ سوخت‌های فسیلی بوده، بیشترین درصد آلودگی در گرمایش جهانی، تابش یونیزاسیون، تشکیل ازن، تشکیل ریزذرات، اسیدی‌شدن خاک، سمیت زیست‌محیطی و کمبود منابع فسیلی ایجاد شد. در همه موارد، نزدیک به ۵۰ درصد از آلودگی‌ها ناشی از استفاده الکتریسته در تولید روغن می‌باشد. در سایر موارد نیز آلودگی ناشی از الکتریسته و استفاده از آن در رتبه دوم قرار داشت. در عین حال، هنگامی که از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود، بیشترین آلودگی و بالاترین درصد تخریب منابع به استفاده از پلی‌اتیلن مربوط می‌شود. نتایج پژوهش نبوی پله‌سرای (Nabavi-Pelesaraei et al., 2021)



شکل ۸- سهم هر یک از مراحل تولید روغن در میزان گروه‌های تأثیر در سناریوی سوم

Fig. 8- The contribution of each of the oil production stages in the amount of each of the impact groups in the third scenario

همچنین مصرف الکتریسته در رتبه دوم رده آسیب به سلامت انسان به‌میزان ۲۹ درصد، آسیب به کیفیت بوم‌نظام ۲۸ درصد و آسیب به منابع ۴۱ درصد از میزان کل را دارا بودند (شکل ۹). نتایج بررسی شاخص‌های رده خسارت در سناریوی دوم (شکل ۱۰) نشان داد که

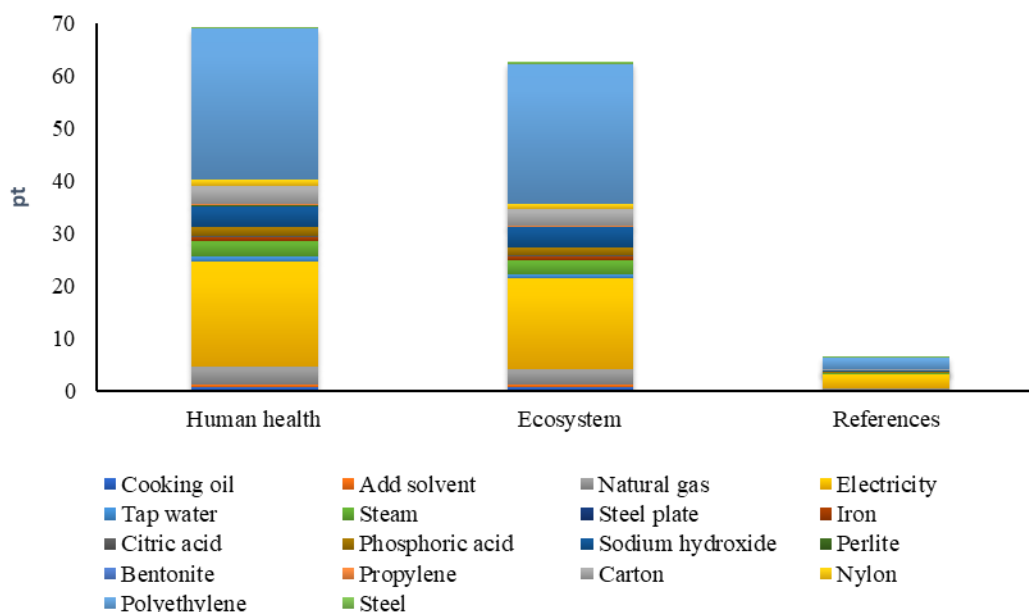
بررسی شاخص‌های رده خسارت

براساس یافته‌ها، استفاده از پلی‌اتیلن در رده آسیب به سلامت انسان به‌میزان ۴۱ درصد، آسیب به کیفیت بوم‌نظام ۴۲ درصد و آسیب به منابع ۳۳ درصد از میزان کل را به خود اختصاص داده است.

طبیعی) بود که با جایگزینی سامانه‌های گازی‌سازی و فتوولتاییک، میزان تأثیرگذاری آن‌ها به‌شدت کاهش یافت. مقایسه سه سناریو نشان داد که سناریوی استفاده از فناوری گازی‌سازی، پایین‌ترین میزان رده خسارت به‌میزان $13/45$ Pt و استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر بالاترین رده خسارت به‌میزان $69/29$ Pt به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید روغن خوراکی در پژوهش خانعلی (Khanali et al., 2018) نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن، الکتريسيته و گاز طبیعی، سهم بالایی در ایجاد شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی در مرحله روغن‌کشی و تصفیه روغن دارد. همچنین نتایج پژوهش نبوی پله‌سرائی (Nabavi-Pelesaraei et al., 2021) در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید روغن از دانه‌های آفتابگردان در مرحله روغن‌کشی و تصفیه روغن نشان داد که الکتريسيته سهم بالایی در ایجاد شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی دارد.

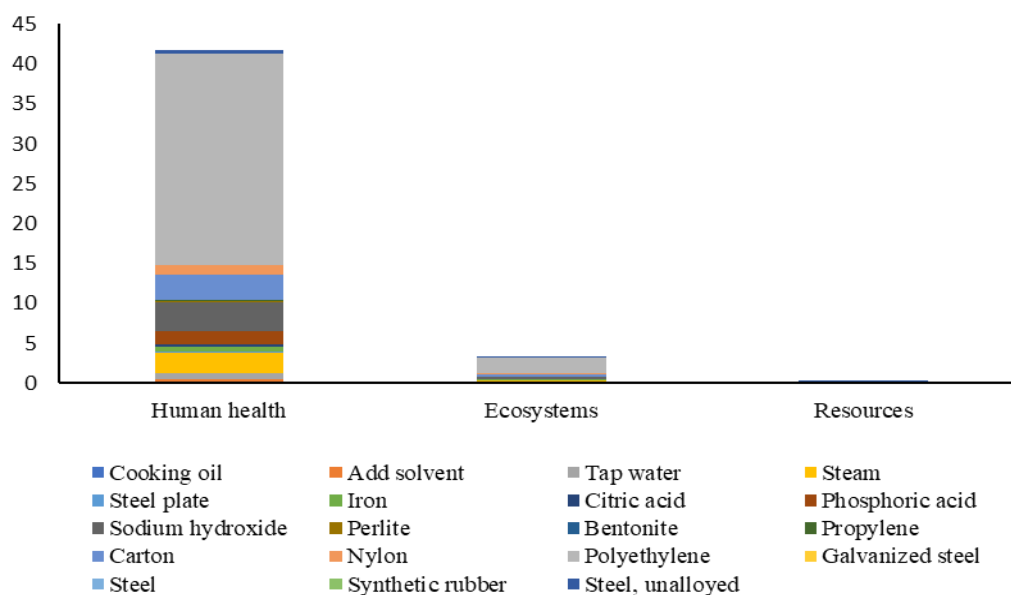
استفاده از پلی‌اتیلن بر ایجاد شاخص‌های سلامتی انسان، کیفیت بوم‌نظام و منابع به‌ترتیب به‌میزان ۶۲ درصد، ۶۳ درصد و ۷۳ درصد اثرگذار بود. پارامتر اثرگذار بعدی در ایجاد این شاخص‌ها بخار آب به ترتیب با سهم ۶ درصد، ۱۰ درصد و ۱۰ درصد بود. همچنین در بررسی نتایج در سناریوی سوم نتایج نشان داد که پلی‌اتیلن، بالاترین سهم به‌ترتیب به‌میزان ۴۸ درصد و ۴۹ درصد را در ایجاد شاخص‌های سلامتی انسان‌ها و کیفیت بوم‌نظام داشت، درحالی‌که بالاترین سهم در ایجاد تخریب منابع به گاز طبیعی با سهم ۴۲ درصد اختصاص یافت. در عین حال، تلفیق صفحات خورشیدی و باتری در رده دوم ایجاد رده‌های خسارت آسیب به سلامت انسان و کیفیت بوم‌نظام به‌ترتیب با سهم ۱۸ درصد و ۱۴ درصد و پلی‌اتیلن با سهم ۴۱ درصد در رده دوم خسارت به منابع قرار گرفتند.

بررسی و مقایسه سه سناریو نشان داد که در هر سه سناریو، پلی‌اتیلن بالاترین سهم را دارا بود که مربوط به بسته‌بندی روغن می‌باشد. در رده دوم، بخش اثرگذاری استفاده از انرژی (الکتريسيته و گاز



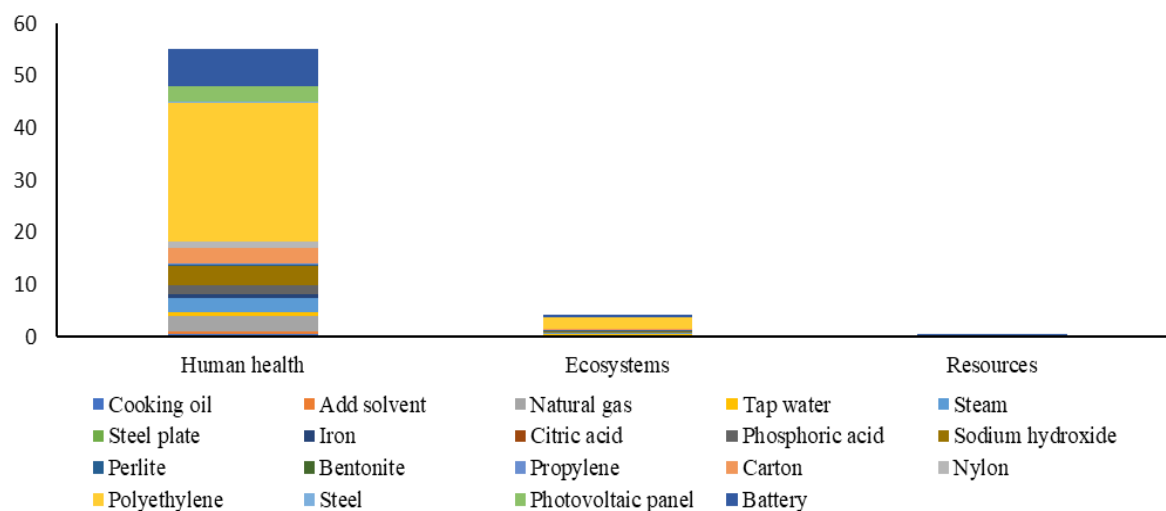
شکل ۹- پتانسیل آسیب هر گروه بر سلامت انسان، تغییر اقلیم و منابع در سناریوی اول

Fig. 9- The damage potential of each group on human health, climate change and resources in the first scenario



شکل ۱۰- پتانسیل آسیب هر گروه بر سلامت انسان، تغییر اقلیم و منابع در سناریوی دوم

Fig. 10- The damage potential of each group on human health, climate change, and resources in the second scenario



شکل ۱۱- پتانسیل آسیب هر گروه بر سلامت انسان، تغییر اقلیم و منابع در سناریوی سوم

Fig. 11- The damage potential of each group on human health, climate change, and resources in the third scenario

نتیجه‌گیری

نسبت، بازده روند کاهشی خواهد داشت. بهترین عملکرد در نسبت هم‌ارزی ۰/۳ به‌دست آمد و مقدار الکتریسته و حرارت تولیدی به ترتیب ۱۰۶۹ و ۲۵۶۷ کیلووات ساعت بود. در سناریوی استفاده از انرژی خورشیدی، تعداد صفحات فتوولتاییک ۵۷۰۰ عدد انتخاب شد، به‌طوری‌که این تعداد صفحات می‌توانست ۷/۱۵ میلیون کیلووات

نتایج شبیه‌سازی سامانه گازی‌سازی نشان داد که بهترین عملکرد گازی‌سازی بقایای گیاه گلزا، برای نسبت هم‌ارزی ۰/۲ الی ۰/۴۵ می‌باشد، به‌طوری‌که بازده گازی‌سازی با افزایش نسبت هم‌ارزی سوخت به هوا تا نسبت ۰/۳۰ روند افزایشی داشته و با افزایش این

زیست‌محیطی را تا حدود ۳۵ درصد و ۱۴ درصد نسبت به سناریوی استفاده از انرژی تجدیدناپذیر کاهش دهند.

سپاسگزاری:

به‌این‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای حمایت مالی و از کارخانه بهپاک و غنچه برای همراهی در انجام پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌گردد.

ساعت در سال انرژی برق تولید کند که از انرژی مورد استفاده ۲/۹۰ میلیون کیلووات ساعت بیشتر خواهد بود. بررسی اثرات زیست‌محیطی در هر سه سناریو نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن، بالاترین سهم را در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی دارد. در عین حال، در رده دوم مواد تأثیرگذار در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی، در سناریوی اول الکتریسیته و سدیم هیدروکسید، در سناریوی دوم سدیم هیدروکسید و بخار آب و در سناریوی سوم باتری و سدیم هیدروکسید نقش به‌سزایی داشتند. مقایسه سه سناریو نشان داد که استفاده از فناوری‌های گازی‌سازی و خورشیدی می‌توانند میزان اثرات کلی

References

- Alamsyah, R., Loebis, E.H., Susanto, E., Junaidi, L., & Siregar, N.C., (2015). An experimental study on synthetic gas (Syngas) production through gasification of Indonesian biomass pellet. *Energy Procedia*, 65, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.053>
- Alishah, A., Motevali, A., Tabatabaeekoloor, R., & Hashemi, S.J. (2019). Multiyear life energy and life cycle assessment of orange production in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), 32432–32445. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06344-y>
- Baqa, S., Sajjadi, N., & Jozi, S.A. (2018). Investigating the environmental effects of different generations of solar cells. *Environmental Science Studies*, 4(1), 1092-1099. (in Persian with English abstract)
- Basappaji, K.M., & Nagesha, N., (2013). Cleaner production in rice processing: an efficient energy utilization approach. *International Journal of Applied Engineering Research*, 8(15), 1783-1790.
- Binici, H., & Aksogan, O. (2016). Eco-friendly insulation material production with waste olive seeds, ground PVC and wood chips, *Journal of Building Engineering*, 5, 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.01.008>
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004a). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, 20, 247–264. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00024-8)
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2004b). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, 20, 265–279. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00039-X)
- Dai, L.; Jia, J.; Yu, D., Lewis, B.J.; Zhou, L.; Zhou, W.; Zhao, W., & Jiang, L. (2013). Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 300, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.046>
- Dalgaard, T., Halberg, N., & Fenger, J. (2000). Fossil energy use and emissions of greenhouse gases – three scenarios for conversion to 100% organic farming in Denmark. In: E. van Lerland, A.Q. Lansink, and E. Schmieman (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use*, Wageningen, The Netherlands. Chapter 7.2.1, 11 p.
- Dekamin, M., Barmaki, M., Kanooni, A., & Mosavi, S.R (2018). Study of the environmental impacts of oil seed crops production in by using the life cycle assessment in Ardabil province. *Journal of Agroecology*, 10(1), 160-174. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V10I1.55340>
- Erfani, R., Pirdashti, H., Abbasi, R., & Nouri, M.Z. (2017). Evaluation of energy efficiency components in organic, low-input and conventional rice (*Oryza sativa* L.) farming systems. Ph.D. Dessertation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. pp. 125. (in Persian with English abstract)
- FAO. (2023). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
- Fathollahi, H., Rafiei, S., & Mousavi I.S.E. (2016). Evaluation of energy, economic and environmental indicators

- in rainfed and irrigated wheat production (case study: Lorestan province). *Iranian Biosystem Engineering Journal*, 48(4), 527-537. (in Persian with English abstract)
14. Georgiopoulou, M., & Lyberatos, G. (2018). Life cycle assessment of the use of alternative fuels in cement kilns: a case study. *Journal of Environmental Management*, 216, 224-234. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.017>
 15. Guinée, J.B., & Lindeijer, E., (2002). Handbook on Life Cycle Assessment: Operational guide to the ISO standards (EcoEfficiency in Industry and Science (Vol. 7)). Springer Science and Business Media.
 16. Hosseini-Fashami, F., Motevali, A., Nabavi-Pelesaraei, A., Hashemi Seyyed, J., & Chau, K. (2019) Energy-life cycle assessment on applying solar technologies for greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109411.
 17. Huchon, V., François, P., Commandré, J., & Laurent, V. (2020). How electrical engine power load and feedstock moisture content affect the performance of a fixed bed gasification genset. *Energy, Elsevier*, 197(C). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117144>
 18. IPCC. (2007a). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 850 pp.
 19. IPCC (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (p. 976). In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden & C. E. Hanson (Eds.), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://assets.cambridge.org/97805218/80107/frontmatter/9780521880107_frontmatter.pdf
 20. Iribarren, D., Teresa Moreira, M., & Feijoo, G. (2010). Life cycle assessment of fresh and canned mussel processing and consumption in Galicia (NW Spain). *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.08.001>
 21. ISO 14040. International Organization for Standardization. (2006). Environmental management- Life Cycle.
 22. Keikha, M., Darzi-Naftchali, A., Motevali, A., & Valipour, M. (2023). Effect of nitrogen management on the environmental and economic sustainability of wheat production in different climates. *Agricultural Water Management*, 276, 108060. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108060>
 23. Khanali, M., Mousavi, S.A., Sharifi, M., Keyhani-Nasab, F., & Chau, K. (2018) Life cycle assessment of canola edible oil production in Iran: A case study in Isfahan province. *Journal of Cleaner Production* 196, 714-725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.217>
 24. Khoshnevisan, B., Rafiei, S. Omid, M., & Mousazadeh, (2012). Modeling and forecasting of environmental indicators of potato cultivation using adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment approach. The Second National Conference on Environmental Protection and Planning, Hamedan, Iran. (In Persian)
 25. Khoshnevisan, B., Bolandnazar, E., Shamshirband, S., Shariati, H.M., Anuar, N.B., & Mat Kiah, M.L. (2015). Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 86, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.062>
 26. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., & Mousazadeh, H., (2013). Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, 50, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.003>
 27. Komleh, S.H., Akram, A., & Keyhani, A. (2017). Life cycle assessment of paste production (case study: Alborz province). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(4), 688-677. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.60262>
 28. Li, Q., Song, G., Xiao, J., Hao, J., Li, H., & Yuan, Y., (2020). Exergetic life cycle assessment of hydrogen production from biomass staged-gasification. *Energy*, 190, 116416. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116416>
 29. Luderer, G., Pehl, M., Arvesen, A., Gibon, T., Bodirsky, B.L., De Boer, H.S., Fricko, O., Hejazi, M., Humpenöder, F., Iyer, G., & Mima, S., (2019). Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. *Nature Communications*, 10(1), 5229. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13067-8>
 30. Makkar, H.P.S. (2018). Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12(8), 1744-1754. <https://doi.org/10.1017/S175173111700324X>. Epub 2017 Dec 4. PMID: 29198265

31. Malek, F. (2009) Characteristics and processing of edible vegetable fats and oils, second edition, Agricultural Education and Promotion Publications.Iran, 470p. (In Persian)
32. Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abaspour-fard, M.H. (2013). Environmental effects of wheat production in the Marvdasht region. *Journal of Natural Environment*, 66(2), 223-232. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JNE.2013.35859>
33. Mofijur, M., Mahlia, T.M.I., Logeswaran, J., Anwar, M., Silitonga, A.S., Rahman, S.A., & Shamsuddin, A.H. (2019). Potential of rice industry biomass as a renewable energy source. *Energies*, 12(21), 4116. <https://doi.org/10.3390/en12214116>
34. Mohammadi, M., &Hammati, A. (2022). Environmental effects of consumer plastics, 6th National Conference on Chemistry and Nanotechnology Development, Tehran, <https://civilica.com/doc/1672592>. (In Persian)
35. Motevali, A., Hashemi, S.J., & Tabatabaeekoloor, R. (2019). Environmental footprint study of white rice production chain-case study: Northern of Iran. *Journal of Environmental Management*, 241, 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.033>
36. Motevali, A., Hooshmandzadeh, N., Fayyazi, E., Valipour, M., & Yue, J. (2023). Environmental Impacts of biodiesel production cycle from farm to manufactory: An application of sustainable systems engineering. *Atmosphere*, 14(2), 399. <https://doi.org/10.3390/atmos14020399>
37. Nabavi-Pelesaraei, A., Azadi, H., Van Passele, S., Saber, Z., Hosseini-Fashami, F., Mostashari-Rad, F., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2021). Prospects of solar systems in production chain of sunflower oil using cold press method with concentrating energy and life cycle assessment. *Energy*, 223, 120117. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120117>
38. Nasrollahi, M., Motevali, A., Banakar, A., &Montazeri, M. (2023). Comparison of environmental impact on various desalination technologies. *Desalination*, 547, 116253. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116253>
39. Pourbehzadi, M., Niknam, T., Aghaei, J., Mokryani, G., Shafie-khah, M., & Catalão, J.P. (2019). Optimal operation of hybrid AC/DC microgrids under uncertainty of renewable energy resources: A comprehensive review. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 109, 139-159. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.01.025>
40. Rajaeifar, M.A., Akram, A., Ghobadian, B., Rafiee, S. & Heidari, M.D. (2014). Energy_economic life cycle assessment (LCA) and greenhouse gas emission analysis of olive oil production in Iran. *Energy*, 66, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.059>
41. Rajaeifar, M.A., Ghobadian, B., Heidari, M.D., & Fayyazi, E. (2013). Energy consumption and greenhouse gas emissions of biodiesel production from rapeseed in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(063134), 1-13. <https://doi.org/10.1063/1.4854596>
42. Reiche, D. (2003). Handbook of Renewable Energies in the European Union, vol. II. Published by Frankfurt, Germany. 332 pp.
43. Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>
44. Saadati, A., &Portahmasbi, K. (2012). Ability to produce bioenergy from hemp biomass. National Conference on Natural Resources Management. SID. (In Persian). <https://sid.ir/paper/883604/fa> .
45. Safiuddin, M. (2009) Design, construction and evaluation of castor oil extraction machine for biodiesel production. M.Sc. Thesis, Tarbiat Madras University, Tehran, Iran,109 pp. (in Persian with English abstract)
46. Salavati, S. (2017). Gasification of waste and biomass and its effects on the environment. *Quarterly Journal of Application of Chemistry in Environment*, 9(36), 13-19. (in Persian with English abstract)
47. Salomón, M. Savola, T., Martin, A., Fogelholm, C., & Fransson C. (2011). Small-scale biomass CHP plants in Sweden and Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4451-4465. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.106>
48. Samadi, S.H., Ghobadian, B., & Nosrati, M. (2020). Prediction and estimation of biomass energy from agricultural residues using air gasification technology in Iran. *Renewable Energy*, 149, 1077–1091. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.109>
49. SamiHesar, B., Zarghami, M., Yegani, R., & Sabahi, M. (2018) Design of solar water softener system by reverse osmosis-photovoltaic method (case study: Brackish water of Sarband village, Ardabil). *Water and Wastewater*

- Engineering Sciences*, 4(2), 37-46. (in Persian with English abstract)
50. Sarasuk, K., & Sajjakulnukit, B. (2011). Design of a lab-scale two-stage rice husk gasifier. *Energy Procedia*, 9, 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.09.019>
51. Schreiber, S.J., & Lloyd-Smith, J.O. (2009). Invasion dynamics in spatially heterogeneous environments. *The American Naturalist*, 174(4), 490-505. <https://doi.org/10.1086/605405>. PMID: 19737109
52. Soheili-Fard, F., & Kouchaki-Penchah, H. (2015). Assessing environmental burdens of sugar beet production in East Azerbaijan province of IR Iran based on farms size levels. *International Journal of Farm Science*, 4 (5) 489-495.
53. Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., & Soltani, E., (2011). Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 3, 201-218. (in Persian with English abstract). <https://dori.net/dor/20.1001.1.2008739.1389.3.3.12.1>
54. Taheri Asl, A., Reihani, M., & Azari, M. (2014). The effect of using solar energy to reduce environmental pollution. International Conference on Architecture, Urban Planning, Civil Engineering, Art and Environment. SID. (in Persian with English abstract). <https://sid.ir/paper/827862/fa>



Analysis of Management Factors Affecting Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield Gap in Different Regions of Lorestan Province using the Comparative Performance Analysis (CPA) Method

Alinazar Nazari¹, Afshin Soltani^{2*}, Ebrahim Zeinali³ and Alireza Nehbandani⁴

1- Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2-Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4- Ph.D., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(*- Corresponding author's Email: afshin.soltani@gmail.com)

Received: 15-09-2024
Revised: 18-01-2025
Accepted: 19-01-2025
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:

Nazari, A., Soltani, A., Zeinali, E., & Nehbandani, A. (2025). Analysis of management factors affecting irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in different regions of Lorestan province using the Comparative Performance Analysis (CPA) method. *Journal of Agroecology*, 17(1), 145-164. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89658.1212>

Introduction

The global population is currently estimated to exceed 8 billion and is projected to reach approximately 10 billion by 2050. To meet the food demands of this growing population, global food production must increase by about 70%. However, several challenges hinder this goal, including changes in agricultural land use, environmental issues, declining soil fertility, water resource shortages, and the slowdown in yield growth of major cereals over recent decades. These challenges undermine the possibility of doubling global food production within the mentioned time frame. Therefore, strategies to increase yield potential and reduce the yield gap are critical components of achieving sustainable food security with minimal environmental harm. The yield gap is defined as the difference between potential yield and actual yield, which often exhibits significant variability. Inadequate agricultural management practices, such as improper planting dates, suboptimal seed rates, insufficient plowing, improper fertilization, nonuse of herbicides, and inefficient irrigation, are the main contributors to yield gaps in grain production.

Materials and Methods

This study was conducted to estimate the yield gap, identify the factors contributing to it, and determine the contribution of each factor in Lorestan province, covering counties with varying climatic conditions, including Khorramabad, Durood, Kouhdasht and Nourabad. For this purpose, management information from 240 irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) farms was collected during the 2022-2023 season. The yield gap was determined using the comparative performance analysis (PCA) method.



©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.2025.89658.1212>

Results and Discussion

The results showed that the average yield in the surveyed farms in Khorramabad, Doroud, Kouhdasht, and Nourabad county was 5002, 5563, 4183 and 3333 kg.ha⁻¹, respectively. With improved management, these yields could potentially increase to 10936, 11815, 6218 and 10936 kg.ha⁻¹. Based on the findings: in Nourabad, the most influential factors in the yield gap were the amount of phosphorus fertilizer used (1004 kg.ha⁻¹), number of plowing operations (320 kg.ha⁻¹), amount of manure used (60 kg.ha⁻¹) and harvest date (202 kg.ha⁻¹). In Kouhdasht the yield gap was primarily due to the number of irrigations (1049 kg.ha⁻¹), nonuse of pesticide (353 kg.ha⁻¹), use of the Kouhdasht variety (463 kg.ha⁻¹), and lodging (170 kg.ha⁻¹). In Doroud, the use of Talae variety (1951 kg.ha⁻¹), number of top-dress fertilizer applications (1598 kg.ha⁻¹), inclusion of corn in crop rotation (1083 kg ha⁻¹), farmer's background (826 kg.ha⁻¹), nonuse of herbicide (82 kg.ha⁻¹), and farm area (469 kg.ha). In Khorramabad, sugar beet rotation (3246 kg.ha⁻¹), number of irrigations (1269 kg.ha⁻¹), planting date (841 kg.ha⁻¹), pre planting irrigation (463 kg.ha⁻¹), nonuse of herbicide (40 kg.ha⁻¹), lodging (74 kg.ha⁻¹) were identified as key contributors to the yield gap.

Conclusion

The yield gap ranged from 1587 kg.ha⁻¹ (32%) to 6252 kg.ha⁻¹ (53%). The main factors contributing to the yield gap due to suboptimal management included the frequency of top-dress fertilizer applications, number of irrigations, crop cultivar selection, crop rotation practices, herbicide use, pest and weed control, as well as the amount and application methods of chemical fertilizers. The achievable yield gap across the studied climates and counties was estimated to range from 1,586 to 5,002 kg.ha⁻¹. Assuming an average achievable yield gap of 3000 kg.ha⁻¹, and considering the area under irrigated wheat cultivation in the province, optimizing management practices could result in an annual wheat production increase of 148488 tons. This increase corresponds to approximately 80% of the province's irrigated wheat production and 42% of its total wheat production. Since variables such as crop rotation, use of appropriate cultivars, number of irrigations, number of plowings, and planting date have a greater impact on the yield gap, optimizing these factors can significantly boost irrigated wheat yields. Considering the cost-income ratio, such optimizations would also be more profitable for farmers in the studied counties.

Keywords: Actual yield, Herbicide, Irrigation, Nitrogen, Potential yield

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۶۴-۱۴۵

بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) در استان لرستان با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد

علی نظر نظری^۱، افشین سلطانی^{۲*}، ابراهیم زینلی^۳ و علیرضا نه بندانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و تعیین سهم هر یک از این عوامل در استان لرستان، شامل شهرستان‌های خرم‌آباد، دورود، کوهدشت و نورآباد با شرایط اقلیمی متفاوت انجام شد. بدین منظور، اطلاعات مربوط به مدیریت ۲۴۰ مزرعه گندم نظام کشت آبی در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ جمع‌آوری و بررسی گردید. خلأ عملکرد با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد تعیین شد. میانگین عملکرد گندم در چهار شهرستان مورد مطالعه ۴۱۸۳ تا ۵۵۶۳ کیلوگرم در هکتار بود که با مدیریت بهینه می‌توان این مقدار را تا ۱۱۸۱۵ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. نتایج نشان داد که در نورآباد، مقدار کود فسفر مصرفی (۱۰۰۴ کیلوگرم در هکتار) و تعداد شخم (۳۲۰ کیلوگرم در هکتار)، در کوهدشت تعداد آبیاری (۱۰۴۹ کیلوگرم در هکتار) و استفاده از رقم کوهدشت (۴۶۳ کیلوگرم در هکتار)، در دورود استفاده از رقم طلایی (۱۹۵۱ کیلوگرم در هکتار)، تعداد کود سرک (۱۵۹۸ کیلوگرم در هکتار)، استفاده از ذرت در تناوب (۱۰۸۳ کیلوگرم در هکتار) و سابقه فعالیت کشاورز (۸۲۶ کیلوگرم در هکتار) و در خرم‌آباد تناوب چغندر قند (۳۲۴۶ کیلوگرم در هکتار)، تعداد آبیاری (۱۲۶۹ کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت (۸۴۱ کیلوگرم در هکتار) از عوامل مؤثر در خلأ عملکرد بودند. با توجه به اینکه در بین عوامل مدیریتی، برخی از متغیرها مانند تناوب، استفاده از رقم مناسب، تعداد آبیاری، تعداد شخم و تاریخ کاشت تأثیر بیشتری در خلأ عملکرد دارند، لذا با بهینه‌سازی موارد ذکر شده می‌توان عملکرد گندم آبی را در شهرستان‌های مورد مطالعه افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی، علف‌کش، نیتروژن

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) با طیف وسیعی از شرایط آب و هوایی سازگار بوده و به‌خاطر تأمین حدود ۲۰ درصد کالری و پروتئین مورد نیاز جمعیت جهان نقش مهمی در امنیت غذایی دارد (Surjani & Wrigleyo, Hernandez-Espinosa et al., 2018). این گیاه با داشتن حدود ۲۵۰۰۰ رقم از تنوع ژنتیکی بسیار بالایی برخوردار است. هر رقم دارای پتانسیل عملکرد خاص خود بوده (Lollato et al., 2020) و خصوصیات فیزیکی و ترکیبات دانه‌ای متفاوت دارد (Pena-Bautista et al., 2017). جمعیت جهان بیش از هشت میلیارد نفر است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر برسد (UN, 2022) بنابراین لازم

- ۱- دانشجوی دکترا، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
 - ۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
 - ۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
 - ۴- دکتری تخصصی، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- (*)- نویسنده مسئول: (Email: afshin.soltani@gmail.com)
<https://doi.org/10.22067/agry.2025.89658.1212>

گردد.

در یک تحقیق با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، خلأ عملکرد گندم در استان گلستان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مشاهده شد که استفاده نکردن از دستگاه کاشت بذر در داخل بقایا (۳۲ درصد)، وضعیت نامناسب بستر بذر (۱۷ درصد)، عدم استفاده از عناصر غذایی به‌صورت محلول‌پاشی (۱۵ درصد)، عدم استفاده از گاوآهن قلمی (۱۵ درصد)، عدم استفاده از علف‌کش (۱۳ درصد) و عدم مصرف بهینه کود نیتروژن (نه درصد) مهم‌ترین عوامل خلأ عملکرد بودند (Hajjarpour et al., 2017a). در بررسی نظام کشت آبی گندم در ایران با استفاده از مدل SSM-iCrop2-Wheat مشاهده شد که با ارقام موجود و شرایط اقلیمی حاکم بر کشور، کشاورزان به ۳۸ درصد از عملکرد پتانسیل گندم دست می‌یابند (Zahed et al., 2019). در مطالعه‌ای که با به‌کارگیری مدل SSM-Wheat در استان گلستان انجام شد، مدیریت نادرست آبیاری، نامناسب بودن ارقام و استفاده نامناسب از کودهای پایه، سرک و کم-مصرف مهم‌ترین عوامل خلأ عملکرد گندم آبی بیان شدند (Ahmadi Alipour et al., 2018). همچنین با بهره‌گیری از رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه واریانس، میزان خلأ عملکرد گندم در بندرگز ۳۴۶۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد و عواملی همچون تراکم بوته پایین (۱۵ درصد)، عدم استقبال کشاورزان از یافته‌های جدید (۱۰ درصد)، کشت کرپه (۳۶ درصد)، رقم نامناسب (۲۱ درصد) و عدم استفاده از علف‌کش‌های تاپیک و گرانتار (۱۸ درصد) در ایجاد خلأ عملکرد مؤثر بودند (Nekahi et al., 2014). در یک بررسی با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در ایران ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد و عواملی همچون پیش‌کاشت کلزا (*Brassica napus* L.)، تناوب زراعی، بذر گواهی‌شده، تاریخ بذرپاشی در خزانه، مصرف کود سرک، پتاسیم خالص، نیتروژن بعد از گل‌دهی و محلول‌پاشی از عوامل مؤثر بر آن بیان گردید (Gorgizad et al., 2019). سوخته‌سرایی و همکاران (Soukhtehsaraei et al., 2023) با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، خلأ عملکرد سویا (*Glycine max* L.) را ۱۷۹۳ کیلوگرم در هکتار برآورد و متغیرهایی همچون تأخیر در کاشت، تراکم بوته، روش کاشت، میزان بذر مصرفی، مصرف علف‌کش پیش‌کاشت، خاکورزی، آبیاری و مصرف کود نیتروژن را از عوامل اصلی خلأ عملکرد ذکر کردند. محققان علت اصلی خلأ عملکرد نخود (*Cicer arietinum*)

است برای تأمین نیاز غذایی این جمعیت، تولید مواد غذایی حدود ۷۰ درصد افزایش یابد (UN, 2017FAO, 2009). تغییر کاربری اراضی کشاورزی، مشکلات محیط زیستی، کاهش حاصل‌خیزی خاک، کمبود منابع آب و کند شدن روند افزایش عملکرد غلات اصلی در دهه‌های اخیر، احتمال دو برابر شدن تولید جهانی غذا تا زمان یادشده را تضعیف می‌کند (Zhao et al., 2021). لذا افزایش تولید غلات از طریق افزایش تولید در واحد سطح نسبت به افزایش سطح زیر کشت در اولویت قرار دارد (Fan et al., 2012). در این راستا، افزایش پتانسیل عملکرد و کاهش خلأ عملکرد دو جنبه بسیار مهم از راهکارهای ارائه‌شده برای دستیابی به امنیت غذایی پایدار با حداقل اثرات مخرب بر محیط زیست می‌باشند (Foley et al., 2011).

خلأ عملکرد به تفاوت بین پتانسیل عملکرد (حداکثر عملکرد یک رقم یا ژنوتیپ خاص در یک محیط معین بدون محدودیت آب و عناصر غذایی و تحت مدیریت مطلوب به‌نحوی که تنش‌های محیطی و زیستی به‌طور مؤثری کنترل شده باشند) و میانگین عملکرد یا عملکرد واقعی کشاورزان گفته می‌شود (Fischer et al., 2014) که اغلب تفاوت قابل توجهی بین آن‌ها وجود دارد (Gao et al., 2018; Liu et al., 2017). مدیریت زراعی نامطلوب از جمله نامناسب بودن تاریخ کاشت، مقدار بذر مصرفی، شخم، تغذیه و آبیاری از عوامل اصلی خلأ عملکرد در تولید غلات می‌باشند (Hajjarpour et al., 2017a; Nekahi et al., 2014).

جهت بررسی خلأ عملکرد از روش‌هایی مانند تحلیل مقایسه کارکرد، آنالیز خط مرزی (Hajjarpoor et al., 2016)، تحلیل سلسله‌مراتبی و روش آنتروپی (Torabi et al., 2013) استفاده می‌شود. در روش تحلیل مقایسه کارکرد، در واقع کارکرد کشاورزان مختلف با یکدیگر مقایسه شده و دلایل خلأ عملکرد استخراج می‌شود (Soltani & Mirzaei., 2022). برای اجرای موفق این روش در مطالعات پیمایشی باید دامنه متنوعی از مدیریت‌های زراعی مختلف در یک ناحیه خاص مد نظر قرار گیرد تا با استفاده از این روش بتوان ارتباط بین عملکرد و عملیات مدیریتی به‌کار رفته را شناسایی کرد. این روش، توانایی تعیین سطوح بهینه عوامل مؤثر در خلأ عملکرد را ندارد (Soltani & Mirzaei, 2022)، لذا در صورت نیاز به تعیین سطوح بهینه از روش‌های دیگر مانند آنالیز خط مرزی استفاده می‌شود.

با اقلیم نیمه گرم، نورآباد با اقلیم سرد و خرمآباد و دورود با اقلیم معتدل انتخاب شدند. سطح زیر کشت گندم آبی در چهار شهرستان تقریباً مشابه است، ولی از نظر دانش کشاورزی بین کشاورزان شهرستان‌های مورد مطالعه تفاوت‌های چشمگیری وجود دارد. در شهرستان‌های خرمآباد و دورود بین کشاورزان پیشرو و سایر کشاورزان تفاوت دانش کشاورزی زیاد است، درحالی که این امر در شهرستان‌های کوهدشت و نورآباد کمتر است. با توجه به این عوامل، از چهار شهرستان مذکور ۲۴۰ مزرعه گندم آبی با همکاری کارشناسان مراکز خدمات (هر شهرستان ۶۰ مزرعه) انتخاب شد. در هر شهرستان با توجه به اطلاعات موجود سال‌های قبل، ۲۰ مزرعه از کشاورزان دارای عملکرد کمتر از میانگین شهرستان، ۲۰ مزرعه از کشاورزان دارای عملکردی در حد میانگین و ۲۰ مزرعه از کشاورزان پیشرو انتخاب گردید. تعداد نمونه براساس معادله کوکران محاسبه شد که کمتر از ۶۰ مزرعه بود و برای یکنواختی مطالعه و احتمال مقایسه نتایج از هر شهرستان ۶۰ مزرعه انتخاب گردید.

پس از انتخاب مزارع، کلیه اطلاعات از تهیه بستر تا برداشت محصول شامل سابقه فعالیت کشاورز، مساحت مزرعه، موقعیت زمین، شیب زمین و جهت آن، تهیه بستر، عملیات‌های انجام‌شده و ادوات به‌کاررفته جهت تهیه بستر، تعداد عملیات‌های انجام‌گرفته، تاریخ کاشت، وضعیت بستر بذر هنگام کاشت، مقدار و نوع بذر از نظر خود مصرفی یا گواهی‌شده، رقم، ضدعفونی بذر و قارچ‌کش به‌کاررفته جهت ضدعفونی، شیوه کاشت، تناوب، نوع پیش‌کاشت، تعداد سال از آخرین کشت بقولات، اطلاعات مربوط به تغذیه، تعداد آبیاری، روش آبیاری، منبع تأمین آب، مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، نوع سم و تعداد دفعات مبارزه براساس پرسش‌نامه تدوین‌شده به‌صورت پرسش و پاسخ از کشاورز و بازدید میدانی از مزارع در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ جمع‌آوری گردید.

داده‌ها با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد تجزیه و تحلیل گردید و با روش رگرسیون گام‌به‌گام برای هر شهرستان یک مدل عملکرد تعیین شد (Soltani et al., 2009). متغیر وابسته، عملکرد دانه در نظر گرفته شد و متغیرهای مستقل با توجه به نتایج حاصل از پرسش‌نامه و انجام رگرسیون گام‌به‌گام انتخاب شدند. سپس با قرار دادن میانگین مشاهدات متغیرها در مدل عملکرد، عملکرد میانگین هر منطقه محاسبه گردید.

L. در ایران را ناکارآمدی استفاده از منابع محیطی به‌خصوص رطوبت موجود در خاک، عدم مهار به‌موقع علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها و عدم تغذیه مناسب دانستند (Soltani et al., 2016). در سایر بررسی‌های صورت‌گرفته روی محصولات زراعی با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، عوامل مدیریتی از قبیل تاریخ کاشت، تراکم بوته، تعداد آبیاری، استفاده از بذر اصلاح‌شده و نیروی کار از مهم‌ترین عوامل خلأ عملکرد بیان شده‌اند (Nezamzadeh et al., 2019; Nehbandani et al., 2020; Rezvantlab et al., 2019).

سطح زیر کشت گندم آبی در استان لرستان حدود ۵۰ هزار هکتار بود که از این نظر در رتبه هجدهم کشور و از نظر عملکرد با میانگین ۳۷۴۷ کیلوگرم در هکتار در رتبه بیستم قرار دارد (Agricultural statistics, 2024). این در حالی است که عملکردهای بیش از ۱۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در مزارع کشاورزان پیشرو به‌وفور دیده می‌شود؛ لذا این تحقیق جهت برآورد میزان خلأ عملکرد گندم آبی، تعیین عوامل ایجادکننده و سهم هر یک از آن‌ها در استان لرستان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم آبی و تعیین سهم هر یک از این عوامل در استان لرستان، این بررسی در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ انجام گردید. استان لرستان در غرب ایران، بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته و وسعت آن حدود ۲۸۳۰۳ کیلومترمربع است. میانگین ارتفاع آن بیش از ۲۲۰۰ متر از سطح دریا است. پست‌ترین نقطه استان ۲۳۹ متر و بلندترین آن ۴۰۸۰ متر (قله اشترانکوه) از سطح دریا ارتفاع دارد. لرستان به لحاظ اقلیم و هواشناسی یک استان چهارفصل است و دارای آب‌وهوای متنوعی است، این تنوع از شمال به جنوب و از شرق به غرب کاملاً محسوس است.

با توجه به شرایط اقلیمی استان، سطح زیر کشت گندم آبی و تفاوت دانش کشاورزی، چهار شهرستان کوهدشت، دورود، خرمآباد و نورآباد برای این مطالعه انتخاب گردیدند (جدول ۱) با توجه به ارتباط بین عملکرد گندم آبی و تغییرات درجه حرارت شب و روز در مناطق مختلف (Gebrechorkos et al., 2019)، شهرستان‌های کوهدشت

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی و اقلیمی شهرستان‌های مورد مطالعه
Table 1- Geographical and climatic information of studied counties

شهرستان County	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	حداقل دما Minimum Temperature (°C)	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days	متوسط بارش سالیانه Average annual precipitation(mm)	متوسط تبخیر سالیانه Average annual evaporation(mm)	دوره خشکی (ماه) Dry period (Month)
خرم‌آباد Khorramabad	48.36	33.62	1151	25.3	9.1	48	503	1849.9	5
دورود Doroud	49.05	33.49	1522	21.1	9.1	45	645	2238	5
کوه‌دشت Kouhdasht	47.612	33.53	1197	24.9	7.4	71	399	1917	5
نورآباد Nourabad	47.96	34.06	1855	19.3	4.9	106	501	1865	5

کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به اینکه حداکثر عملکرد برآوردشده توسط مدل کمتر از حداکثر عملکرد مشاهده شده در مزرعه (۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود، لذا خلأ عملکرد برآوردشده از نوع قابل حصول یا قابل مدیریت است (Soltani & Mirzaei, 2022).

عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از آن‌ها در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که متغیرهای تعداد آبیاری (۵۲ درصد)، رقم کوهدشت (۲۳ درصد)، استفاده از آفت کش (۱۷ درصد) و ورس مزرعه (هشت درصد) از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد در مزارع گندم نظام کشت آبی شهرستان کوهدشت می‌باشند. تعداد دفعات آبیاری بر عملکرد اثر مثبت داشت و متغیر تعداد دفعات آبیاری ۵۲ درصد (۱۰۴۹ کیلوگرم در هکتار) از کل خلأ عملکرد را توجیه می‌کرد (جدول ۲). میانگین تعداد دفعات آبیاری برای حصول به عملکرد مطلوب در گندم در مناطق نیمه گرم حدود ۱۰ مرحله می‌باشد، این در حالی است که میانگین تعداد دفعات آبیاری ۵/۵ مرحله بود. از طرف دیگر، میزان بارندگی در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ برابر ۲۲۰ میلی‌متر بود که نسبت به سال قبل و بلندمدت به ترتیب ۴۵ و ۵۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد. میزان بارندگی در فصل بهار نیز که همزمان با مراحل حساس رشدی گندم به آب می‌باشد، ۴۷ میلی‌متر بود که ۵۰ درصد کمتر از بلندمدت بارش در بهار بود (Rainfall Bulltain, 2021-2022) که نیاز به تعداد دفعات آبیاری را افزایش می‌دهد. نتایج یک تحقیق نشان داد که تأثیر تعداد دفعات آبیاری بر عملکرد تحت تأثیر میزان و پراکنش بارندگی می‌باشد (Lio et al., 2017). علاوه بر نقش فیزیولوژیکی آب در گیاه، کمبود رطوبت سبب کاهش عملکرد و کاهش جذب عناصر غذایی به خصوص نیتروژن می‌گردد (Baghbani et al., 2017). براساس تحقیقات جدید، علت اصلی خلأ عملکرد را ناکارآمدی استفاده از منابع محیطی عمدتاً آب دانستند (Soltani Daneshmand et al., 2007)؛ (et al., 2016). در یک تحقیق دو ساله اثر آبیاری بر خلأ عملکرد ذرت تابستانه را در سال اول تا چهار درصد تخمین زدند، اما تأثیر دفعات آبیاری در سال دوم انجام آزمایش به دلیل کافی بودن بارندگی و پراکنش مناسب تقریباً صفر بود (Liu et al., 2021).

پس از آن، با قرار دادن میزان مطلوب (متغیرهایی که بر عملکرد اثر مثبت داشتند، حداکثر مقدار مشاهده شده و متغیرهایی که بر عملکرد تأثیر منفی داشتند، حداقل مقدار مشاهده شده به عنوان میزان مطلوب محاسبه شد. ممکن است همیشه حداکثر و حداقل مقدار مطلوب نباشد که در این موارد با استفاده از نظر کارشناسان خبره زراعت این مقدار از بین مشاهدات تعیین می‌گردد) متغیرها در مدل عملکرد، عملکرد پتانسیل محاسبه شد. اختلاف این دو، برابر با خلأ عملکرد در نظر گرفته شد و اختلاف حاصل ضرب میزان میانگین مشاهده شده برای هر متغیر در ضریب آن متغیر با حاصل ضرب میزان مطلوب برای همان متغیر در ضریب همان متغیر نشان دهنده میزان خلأ عملکرد ایجادشده برای آن متغیر می‌باشد. نسبت میزان خلأ عملکرد برای هر متغیر به کل خلأ عملکرد، نشان دهنده سهم آن متغیر در ایجاد خلأ عملکرد بوده و به صورت درصد نشان داده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SAS 9.4 استفاده شد.

نتایج و بحث

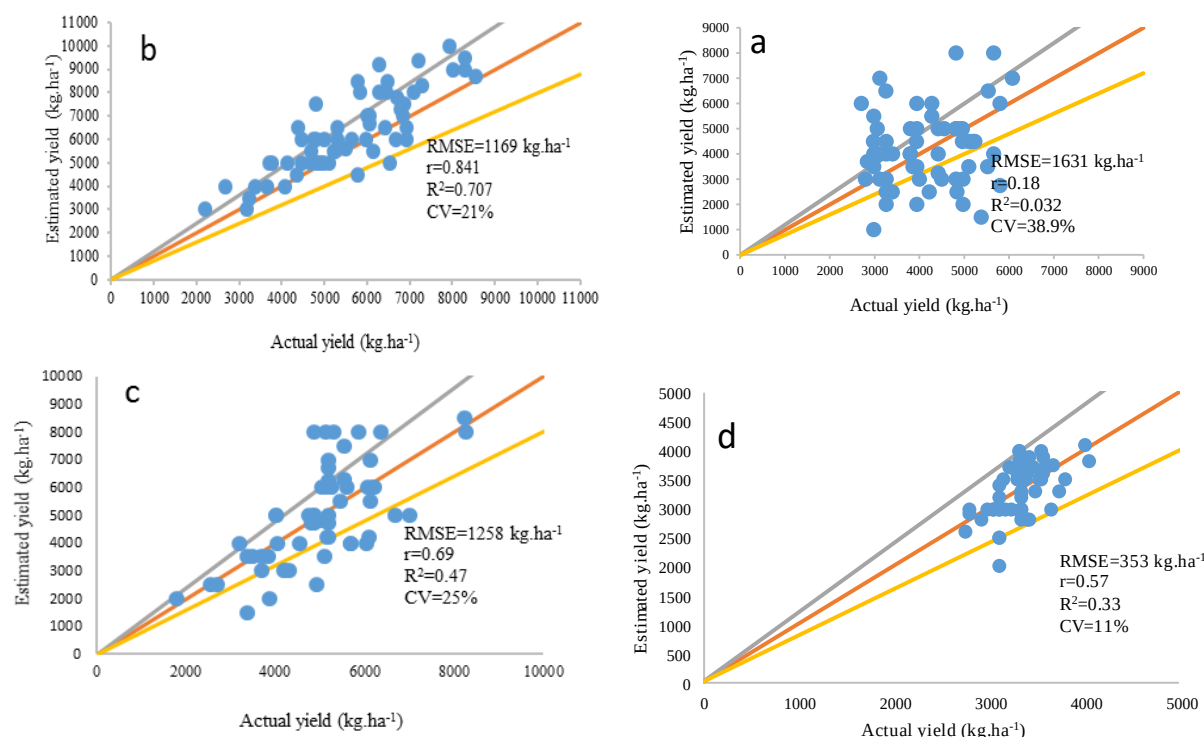
خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان کوهدشت

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از رگرسیون گام به گام از بین متغیرهای مستقل مورد بررسی، مدل رگرسیون نهایی با چهار متغیر که بیشترین سهم را در ایجاد خلأ عملکرد داشتند، انتخاب شد که به صورت زیر بود:

معادله (۱)

$$Y = 4740.97 - 1157.36X_1 + 139.88X_2 + 682.19X_3 - 1023.98X_4$$
 که در آن، Y: عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار، X_1 : استفاده از رقم کوهدشت (استفاده ۱، عدم استفاده ۰)، X_2 : تعداد آبیاری، X_3 : استفاده از آفت کش (مبارزه با آفت و استفاده از آفت کش ۱، عدم مبارزه و استفاده نکردن از آفت کش ۰) و X_4 : ورس مزرعه (عدم وجود ورس در مزرعه ۱، ورس کم ۲، ورس متوسط ۳، ورس زیاد ۴ و ورس خیلی زیاد ۵) را نشان می‌دهند.

بین عملکرد برآوردشده و عملکرد واقعی ضریب همبستگی ۰/۱۸ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۶۳۱ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات برابر ۳۹ درصد) مشاهده گردید (شکل ۱- a). میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه شده با مدل به ترتیب برابر ۴۱۸۳ و ۶۲۱۸ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلأ عملکرد برآوردشده ۲۰۳۵



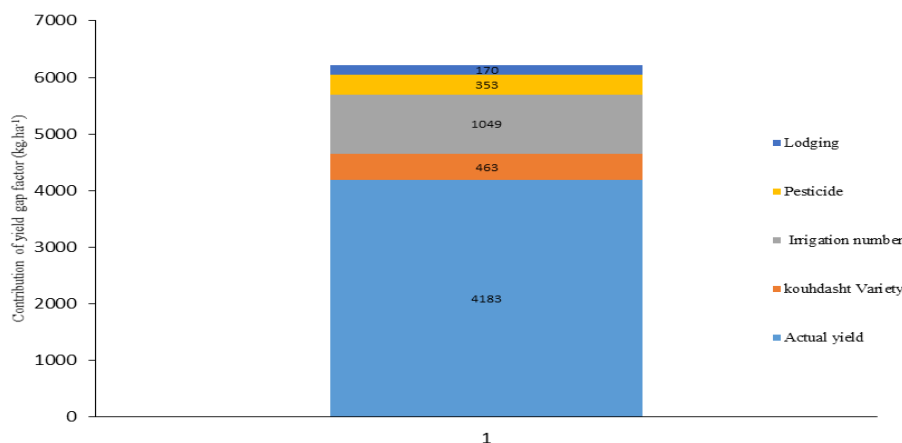
شکل ۱- رابطه بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی در شهرستان‌های کوه‌دشت (a)، دورود (b)، خرم‌آباد (c) و نورآباد (d) Counties
Fig. 1- Relationship between estimated yield and actual yield in Kouhdasht (a), Doroud (b), Khorramabad (c) and Nourabad (d) Counties

خطوط کناری نشان‌دهنده دامنه تفاوت ۲۵ درصد بالا و پایین عملکرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده هستند. خط وسط، خط ۱:۱ می‌باشد.
The 25% ranges of discrepancy between observed and predicted which are indicated by sidelines. Middle line is 1:1 line.

جدول ۲- کمی‌سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان کوه‌دشت و سهم هر متغیر در مدل

Table 2- Quantification of wheat yield gap in Kouhdasht county and the contribution of each variable in the model

متغیر	ضریب	مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه		مقادیر محاسبه‌شده با مدل		خلأ عملکرد	درصد
Variable	Coefficient	میانگین	مطلوب	میانگین	مطلوب	مقدار	Percentage
		Average	Optimum	Average	Optimum	Value	Percentage
عرض از مبدأ	4740.98	1	1	4740.98	4740.98	-	-
Intercept							
رقم کوه‌دشت	-1157.36	0.4	0	-463	0	463	23
Kouhdasht variety							
تعداد آبیاری	139.89	5.5	13	769.39	1818.56	1049.17	52
Irrigation number							
آفت‌کش	682.19	0.483	1	329.50	682.19	352.69	17
Pesticide							
ورس	-1023.98	1.66	1	-1194	-1023.98	170	8
Lodging							
عملکرد	-	-	-	4183	6218	2035	-
Yield							



شکل ۲ - سهم هر یک از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد در شهرستان کوهدهشت
Fig. 2- Contribution of key factors to yield gap formation in Kouhdasht county

تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان دورود

از بین متغیرهای مورد بررسی، مدل رگرسیون نهایی با هفت متغیر مستقل انتخاب شد که به صورت زیر بود:

معادله (۲)

$$Y = 1450.15570 + 31.09870X_1 - 129.72551X_2 + 1224.97917X_3 + 2018.09014X_4 + 1183.72922X_5 + 910.85135X_6 + 1221.52211X_7$$

که در این مدل تولید، Y : عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار، X_1 : سابقه کشاورز، X_2 : مساحت مزرعه، X_3 : تناوب ذرت (استفاده از ذرت در تناوب ۱، عدم استفاده ۰)، X_4 : رقم طلایی (استفاده از رقم طلایی ۱، عدم استفاده ۰)، X_5 : تعداد کود سرک، X_6 : استفاده از آب چاه (استفاده از آب چاه به عنوان منبع تأمین آب آبیاری ۱، عدم استفاده از آب چاه و استفاده از منابع دیگر ۰) و X_7 : استفاده از علف-کش (مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی ۱، عدم استفاده ۰) می‌باشند.

رابطه بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی دارای ضریب همبستگی ۰/۸۴، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات ۲۱ درصد) می‌باشد (شکل ۱- b). میانگین و حداکثر عملکرد مشاهده شده در مزرعه ۶۲۸۳ و ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه شده با مدل به ترتیب برابر ۵۵۶۳ و ۱۱۸۱۵ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلأ عملکرد برآورد شده ۶۲۵۲ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به اینکه حداکثر عملکرد مشاهده شده از مقدار حداکثر عملکرد حاصله

در بررسی کشت سویا، خلأ عملکرد ایجاد شده به علت محدودیت آب بین ۷ تا ۵۱ درصد متغیر بود (Mekonnen et al., 2022). در استان گلستان ۷۴ درصد از مزارع پنبه مورد ارزیابی فاقد حد بهینه آبیاری بودند (Shokrgozar et al., 2017).

اثر استفاده از رقم کوهدهشت در خلأ عملکرد ۲۳ درصد برآورد گردید. با توجه به اینکه رقم کوهدهشت برای کاشت در شرایط دیم توصیه شده است، لذا در مقایسه با ارقام توصیه شده در نظام کشت آبی، عملکرد کمتری خواهد داشت. بسیاری از محققان در تحقیقات خود روی محصولات زراعی مختلف نقش انتخاب رقم مناسب را در کاهش خلأ عملکرد تأیید کرده‌اند (Liu et Zegeye et al., 2020; Tseng et al., 2021; Soltani et al., 2016a., 2021).

متغیر استفاده از آفت‌کش به میزان ۳۵۳ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش خلأ عملکرد گردید (جدول ۲). در بررسی مزارع کلزا نتایج نشان داد که مبارزه با آفات در دوره رویشی و زایشی به ترتیب ۷/۲ و ۲۰/۷ درصد بر خلأ عملکرد مؤثر می‌باشد (Abravan et al., 2017). با بهبود سیستم پایش و هشدار آفات و بیماری‌ها و انجام مبارزه به موقع می‌توان خلأ عملکرد را کاهش داد (Vasco Silva et al., 2023).

اثر ورس مزرعه در خلأ عملکرد هشت درصد بود (جدول ۲). ورس باعث افزایش رطوبت و فراهم آمدن محیطی مناسب برای تکثیر قارچ‌ها، کاهش انتقال مواد غذایی به سنبله، افزایش بیماری‌های برگ، ایجاد مشکل در برداشت و کاهش عملکرد می‌گردد و بسته به زمان وقوع می‌تواند تا ۵۰ درصد کاهش عملکرد محصول را به دنبال داشته باشد (Broomand et al., 2013).

(et al., 2021).

تعداد کود سرک با ۱۵۹۸ کیلوگرم در هکتار بر خلأ عملکرد مؤثر بود، در مصرف نیتروژن، مقدار و زمان مصرف و منبع آن بسیار مهم است. (Jaenisch et al., 2021). حداقل، حداکثر و میانگین کود نیتروژن مصرف‌شده در مزارع مورد ارزیابی به ترتیب ۱۰۰، ۴۵۰ و ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار و تعداد مراحل استفاده‌شده ۱/۶۵ بود، درحالی‌که تقسیم آن به سه مرحله و متناسب با مراحل رشدی، می‌تواند در جذب و افزایش کارایی آن مؤثر باشد.

سابقه فعالیت کشاورز بر خلأ عملکرد اثر مثبت داشت و ۸۲۶ کیلوگرم در هکتار از این خلأ را توجیه کرد. میانگین سابقه فعالیت کشاورزان مورد بررسی ۲۳/۴۳ سال و میانگین سنی آن‌ها ۴۷/۸ سال بود که این جامعه از نظر توان جسمی خوب، با تجربه و آموزش‌پذیر تلقی می‌گردد. تجربه کشاورز، سطح سواد و دانش کشاورزی در افزایش عملکرد مؤثر می‌باشد (Mansouri Dhillon et al., 2022)؛ تجربه کشاورز بر عملکرد اثر منفی داشت (Nekahi et al., 2014)؛ اما در تحقیقاتی دیگر، (Shirinzadeh et al., 2020).

از مدل کوچک‌تر است. بنابراین، می‌توان خلأ عملکرد حاصله را خلأ عملکرد کل در نظر گرفت و خلأ عملکرد قابل حصول یا قابل مدیریت حدود ۸۰ درصد این مقدار لحاظ می‌گردد (Soltani & Mirzaei, 2022).

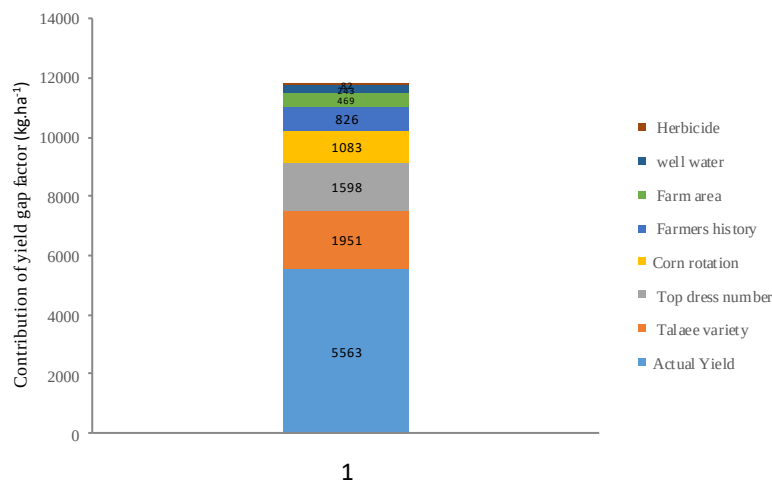
عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از آن‌ها در جدول و شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که متغیرهای استفاده از رقم طلایی (۳۱ درصد)، تعداد دفعات کود سرک (۲۶ درصد)، تناوب ذرت (*Zea mays* L.) با ۱۷ درصد، سابقه کشاورز (۱۳ درصد)، مساحت مزرعه (هشت درصد)، منبع آب چاه (چهار درصد) و استفاده از علف‌کش (یک درصد) مهم‌ترین عوامل ایجاد خلأ عملکرد در مزارع گندم نظام کشت آبی شهرستان دورود بودند.

اثر استفاده از رقم طلایی بر خلأ عملکرد مثبت بود و ۱۹۵۱ کیلوگرم در هکتار درصد از خلأ عملکرد را توجیه کرد. این رقم برای کاشت در مناطق معتدل و معتدل‌گرم توصیه شده است و مناسب شرایط آب‌وهوایی شهرستان دورود است. سایر محققان در تحقیقات خود بر تأثیر رقم مطلوب در کاهش خلأ عملکرد تأکید کردند (Halalkhor et al., 2018; Keramat et al., 2021; Yang

جدول ۳- کمی‌سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان دورود و سهم هر متغیر در مدل

Table 3- Quantification of wheat yield gap in Doroud county and the contribution of each variable in the model

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مزرعه Values measured in the field		مقادیر محاسبه‌شده با مدل Values calculated by the model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Average	مطلوب Optimum	میانگین Average	مطلوب Optimum	مقدار Value	درصد Percentage
عرض از مبدأ Intercept	1450.16	1	1	1450	1450	-	-
سابقه کشاورز Farmer's background	31.09	24.43	50	729	1555	826	13
مساحت مزرعه Farm area	-129.73	4.51	0.9	-586	-117	469	8
تناوب ذرت Corn rotation	1224.98	0.116	1	142	1225	1083	17
رقم طلایی Talaee variety	2018.09	0.03	1	67	2018	1951	31
تعداد کود سرک Top dress number	1183.73	1.65	3	1953	3551	1598	26
منع آب چاه Well water	910.85	0.73	1	668	911	243	4
علف‌کش Herbicide	1221.52	0.93	1	1140	1222	82	1
عملکرد Yield	-	-	-	5563	11815	6252	-



شکل ۳- سهم هر یک از عوامل اصلی ایجادکننده خلأ عملکرد در شهرستان دورود
Fig. 3- Contribution of key factors to yield gap formation in Doroud county

در شهرستان دورود ذرت به صورت علوفه‌ای کشت می‌گردد که اثر آن بر خلأ عملکرد مثبت و ۱۰۸۳ کیلوگرم در هکتار بود. به نظر می‌رسد که تغذیه مناسب ذرت و تفاوت عمق ریشه آن با گندم در این امر مؤثر است. نتایج بررسی‌های سایر محققان نشان داد که قرار گرفتن ذرت در تناوب با گندم سبب افزایش ۴۸ درصدی عملکرد گندم شد که بخشی از این بهبود عملکرد به پویایی جوامع بیولوژیک خاک نسبت داده شد، هرچند موجودی نیتروژن و فسفر خاک کاهش یافت که باید به آن توجه شود (Popovici et al., 2009). در سایر مطالعات، اثر تناوب بر عملکرد نشان داده شده به عنوان مثال پیش-کاشت کلزا بر عملکرد کشت برنج اثر منفی دارد (Gorgizad et al., 2021; Yousefian et al., 2019). در بررسی مزارع کلزا، نتایج نشان داد که پیش‌کاشت سویا و برنج به ترتیب اثر مثبت و منفی بر عملکرد کلزا دارند (Nezamzadeh et al., 2019).

استفاده از علف‌کش به میزان ۸۲ کیلوگرم در هکتار بر خلأ عملکرد مؤثر بود. با توجه به رقابت علف‌های هرز با گندم در جذب نور، آب، مواد غذایی و نقش آن‌ها در توسعه برخی از آفات و بیماری‌ها، مبارزه مناسب و به موقع می‌تواند به افزایش عملکرد کمک کند. تراکم علف‌هرز و مدیریت ضعیف علف‌های هرز باعث کاهش عملکرد خواهند شد (Sekhavi et al., 2019; Nezamzadeh et al., 2019). در تحقیقات انجام شده توسط سایر محققان نیز اثر استفاده از علف‌کش و تعداد دفعات استفاده از آن در کاهش خلأ عملکرد تأیید شده است (Kamali et al., 2021; Nekahi et al., 2014).

استفاده از آب چاه به عنوان منبع آب پایدارتر نسبت به رودخانه-های فصلی که در کوتاه مدت تحت تأثیر خشکسالی قرار نمی‌گیرد بر عملکرد گندم اثر مثبت داشت و ۲۴۳ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد را توجیه کرد، زیرا بررسی‌ها نشان داد، در مزارع‌ای که از منابع آب پایدارتری استفاده کرده بودند، تعداد دفعات آبیاری بیشتری انجام داده و نیاز آبی مزرعه تأمین شده بود. در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ میزان بارندگی ۳۸۵ میلی‌متر بود که نسبت به بلندمدت ۳۱ درصد کاهش داشت. همچنین میزان بارش در فصل بهار ۳۴ میلی‌متر بود که نسبت به میزان بلندمدت آن ۸۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. لذا رودخانه‌های فصلی که از مهم‌ترین منابع تأمین آب مزارع می‌باشند، اکثراً خشک و یا کم‌آب شده و باعث کاهش تعداد دفعات آبیاری و کاهش میزان آب ورودی به مزرعه شده بود. این امر در خصوص مزارع بزرگ مشهودتر است و شاید به همین دلیل، مساحت مزرعه به میزان ۴۶۹ کیلوگرم در هکتار اثر منفی بر عملکرد داشته و در ایجاد خلأ عملکرد مؤثر بود. از طرف دیگر، در مزارعی که منبع تأمین آب آن‌ها چاه بود، به علت تعداد دفعات آبیاری بیشتر نسبت به مزارعی که منبع تأمین آب آن‌ها رودخانه‌های فصلی بود (به طور میانگین ۱/۵ بار بیشتر از سایر مزارع) و همچنین آبیاری به موقع با توجه به نیاز آبی گیاه، عملکرد بهتری داشتند. در ارزیابی کشت کدو تلخ (*Momordica charantia* L.) مزارع بزرگ کمتر از مزارع متوسط و کوچک می‌باشد (Hoque et al., 2022).

(Soukhtehsaraei et al., 2023).

عملکرد داشت (جدول). هرچند که گیاهانی مانند سیب‌زمینی (*Solanum tubersum* L.)، چغندرقد و کلزا بقایای گیاهی زیادی ندارند، ولی به‌خاطر ریشه‌های عمیق، تلفات عناصر غذایی خاک را کاهش داده و شیوع برخی بیماری‌های شایع در کشت مداوم گندم مانند پاخوره غلات، لکه چشمی و نماتد را کاهش می‌دهند. چغندرقد به‌خاطر استفاده بیشتر از منابع موجود در خاک و خصوصیات رشدی به‌ویژه اندام‌های زیر زمینی، بستر بهتری برای رشد گندم فراهم می‌کند (Zare Faizabadi & Azizi, 2012). در یک تحقیق نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم در تناوب گندم-چغندرقد در مقایسه با تناوب گندم-گندم باعث افزایش ۳۵ درصدی عملکرد دانه شد (Khansari et al., 2015).

تاریخ کاشت اثر مثبت بر عملکرد داشت و معادل ۸۴۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد را افزایش داد، با توجه به نداشتن بارندگی مؤثر تا پایان آبان ماه و خشکه‌کاری اکثر مزارع و عدم آبیاری آن‌ها تا زمان نزولات جوی، مزارعی که فاصله بین کاشت تا بارش‌ها کمتر بود، عملکرد بهتری داشتند. به‌استثنای مزارعی که به‌صورت هیرم‌کاری کاشت شده بودند در این تحقیق، انجام آبیاری پیش کاشت معادل ۴۶۳ کیلوگرم در هکتار در کاهش خلأ عملکرد مؤثر بود. در یک بررسی روی مزارع برنج، تاریخ کاشت یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در خلأ عملکرد بود (Tseng et al., 2021). در مطالعاتی روی مزارع گندم و سویا به‌ترتیب ۳۶ و ۱۶ درصد از خلأ عملکرد به تاریخ کاشت نسبت داده شد (Nehbandani et al., 201; 7Nekahi et al., 2014). همچنین در تحقیقات دیگر، تأخیر در کاشت گندم عامل ۱۸ درصد خلأ عملکرد بود (Shirinzade et al., 2020).

تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان نورآباد

از بین متغیرهای مورد بررسی، چهار متغیر بر مدل رگرسیون نهایی مؤثر بود و معادله نهایی به‌صورت زیر به دست آمد.

معادله (۴)

$$Y=4229.23+237.48X_1+4.30X_2-59.86X_3-12.64X_4$$

که در آن، Y: عملکرد براساس کیلوگرم در هکتار، X_1 : تعداد شخم، X_2 : مقدار کود فسفر مصرف شده، X_3 : مقدار کود گاوی استفاده شده و X_4 : تاریخ برداشت را نشان می‌دهند.

تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان خرم‌آباد

از بین متغیرهای مورد بررسی، مدل رگرسیون نهایی با شش متغیر مستقل انتخاب شد که به‌صورت زیر بود:

معادله (۳)

$$Y=670.85109+3357.35643X_1+841.34722X_2+33.04664X_3+331.07972X_4+2359.81337X_5-1487.00210X_6$$

که در آن، Y: عملکرد براساس کیلوگرم در هکتار، X_1 : تناوب چغندرقد (استفاده از چغندر در تناوب به‌عنوان کشت قبل از کاشت گندم ۱، عدم استفاده ۰)، X_2 : آب پیش کاشت (آبیاری زمین پیش از کشت گندم ۱، عدم آبیاری ۰)، X_3 : تاریخ کاشت، X_4 : تعداد آبیاری، X_5 : استفاده از علف‌کش (مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی ۱، عدم استفاده ۰)، X_6 : ورس مزرعه (عدم وجود ورس ۱، ورس کم ۲، ورس متوسط ۳، ورس زیاد ۴ و ورس خیلی زیاد ۵) می‌باشند.

رابطه بین عملکرد برآوردشده و عملکرد واقعی دارای ضریب همبستگی ۰/۶۹، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۲۵۸ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات ۲۵ درصد) می‌باشد (شکل ۱- c). میانگین و حداکثر عملکرد مشاهده‌شده در مزرعه ۵۰۰۴ و ۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه‌شده با مدل به‌ترتیب برابر ۵۰۰۲ و ۱۰۹۳۶ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلأ عملکرد برآوردشده ۵۹۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به اینکه حداکثر عملکرد مشاهده‌شده از مقدار حداکثر عملکرد حاصله از مدل کوچک‌تر است، بنابراین می‌توان خلأ عملکرد حاصله را خلأ عملکرد کل در نظر گرفت و خلأ عملکرد قابل حصول یا قابل مدیریت حدود ۸۰ درصد این مقدار لحاظ می‌گردد (Soltani et al., 2016).

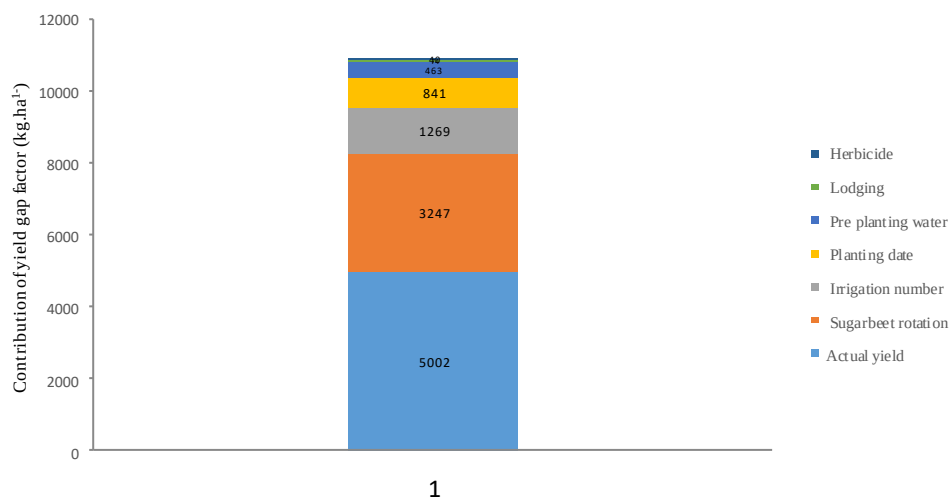
عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از آن‌ها در جدول و شکل ۴ نشان داده شده است. متغیرهای تناوب چغندرقد (Beta vulgaris L. با ۵۵ درصد، تعداد آبیاری (۲۱ درصد)، تاریخ کاشت (۱۴ درصد)، آبیاری پیش از کاشت (۸ درصد)، استفاده از علف‌کش (۱ درصد) و ورس مزرعه (۱ درصد) از مهم‌ترین عوامل مؤثر در خلأ عملکرد بودند.

تناوب چغندرقد با ۳۲۴۷ کیلوگرم در هکتار اثر مثبتی بر خلأ

جدول ۴ - کمی‌سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان خرم‌آباد و سهم هر متغیر در مدل

Table 4- Quantification of wheat yield gap in Khorramabad county and the contribution of each variable in the model

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه Values measured in the field		مقادیر محاسبه شده با مدل Values calculated by the model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Average	مطلوب Optimum	میانگین Average	مطلوب Optimum	مقدار Value	درصد Percentage
عرض از مبدأ Intercept	670.85	1	1	670.85	670.85	-	-
تناوب چغندرقتد Sugarbeet rotation	3357.35	33	1	110.79	3357.35	3246.55	55
آب پیش کشت Pre-planting water	841.34	45	1	378.6	841.34	462.74	8
تاریخ کاشت Planting date	33.04	41.55	67	1373.88	2214.12	841.36	14
تعداد آبیاری Irrigation number	331.07	5.166	9	1710.35	2979.71	1269.36	21
علف کش Herbicide	2359.81	0.983	1	2319.69	2359.81	40.11	1
ورس Lodging	-1487	1.05	1	-1561.35	1487.21	74.23	1
عملکرد Yield	-	-	-	5002.39	10936.21	5933.82	-



شکل ۴- سهم هر یک از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد شهرستان خرم‌آباد

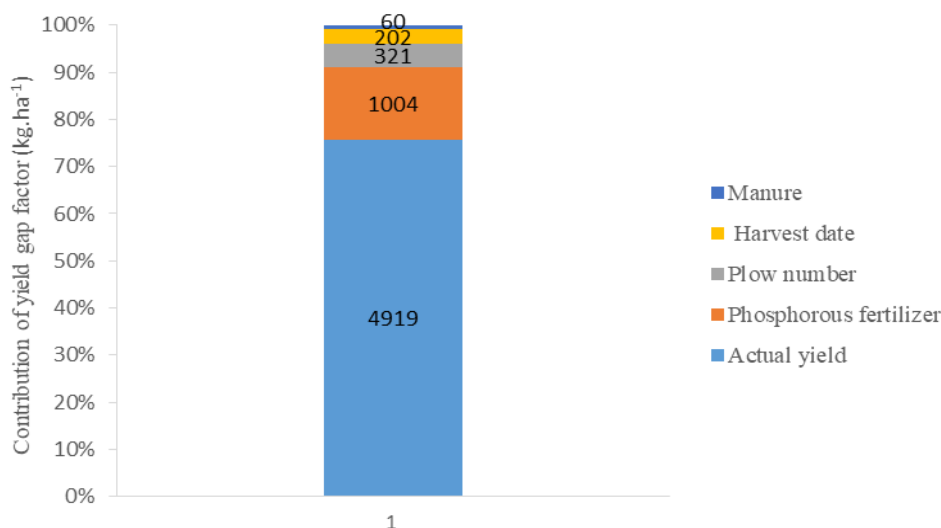
Fig. 4- Contribution of key factors to yield gap formation in Khorramabad county

به ترتیب برابر ۳۳۳۳ و ۴۹۱۹ کیلوگرم در هکتار، که نشان‌دهنده ۱۵۸۶ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد بود. خلأ عملکرد محاسبه شده به عنوان خلأ عملکرد قابل دستیابی در نظر گرفته می‌شود. عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از این عوامل در جدول ۵ و شکل ۵ نشان داده شده است. متغیرهای کود فسفر مصرفی (۶۳

رابطه بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی دارای ضریب همبستگی ۰/۵۷، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۳۵۹ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات ۱۱ درصد) می‌باشد (شکل ۱- d). میانگین و حداکثر عملکرد مشاهده شده در مزرعه ۳۳۳۴ و ۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه شده با مدل

۱۷، صفر و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار می باشد، که بسیار پایین تر از حد نیاز است. در بررسی کشت سویا نتایج نشان داد که مقدار فسفر مصرفی عامل ۲۲ درصد از خلأ عملکرد می باشد (Nehbandani et al., 2017).

درصد)، تعداد شخم (۲۰ درصد)، تاریخ برداشت (۱۳ درصد) و مقدار کود گاوی مصرف شده (چهار درصد) از مهم ترین عوامل مؤثر در خلأ عملکرد بودند. مقدار مصرف کود فسفر بیشترین اثر را بر خلأ عملکرد داشت. میانگین، حداقل و حداکثر مصرف آن در مزارع مورد بررسی به ترتیب



شکل ۵- سهم هر یک از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد در شهرستان نورآباد
Fig. 5- Contribution of key factors to yield gap formation in in Nourabad county

جدول ۵- کمی سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان نورآباد و سهم هر متغیر در مدل

Table 5- Quantification of wheat yield gap in Nourabad county and the contribution of each variable in the model

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه Values measured in the field		مقادیر محاسبه شده با مدل Values calculated by the model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Average	مطلوب Optimum	میانگین Average	مطلوب Optimum	مقدار Value	درصد Percentage
عرض از مبدأ Intercept	4229.23	1	1	4229.23	4229.23	-	-
تعداد شخم Plow number	237.48	1.65	3	291.85	712.46	320.6	20
مقدار فسفر مصرفی Phosphorous fertilizer	4.309	17	250	73.23	1077.25	1003.99	63
مقدار کود گاوی Manure	-59.86	1	0	-59.86	0	59.86	4
تاریخ برداشت Harvest date	-12.46	103	87	-1301.9	-1099.7	202.24	13
عملکرد Yield	-	-	-	3332.55	4919.26	1586.71	-

مدل شبیه سازی، مقدار مصرف فسفر یکی از عوامل اصلی ایجاد خلأ

در بررسی روند تولید گندم در یک دوره ۱۰ ساله با استفاده از

عملکرد بود (Hesam Arefi et al., 2018). در تحقیقات انجام شده روی کشت‌های برنج و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.)، مقدار مصرف فسفر و فسفر قابل جذب خاک از عوامل مؤثر در ایجاد خلأ عملکرد بودند (Kamali et al., 2021; Yousefian et al., 2021). اثر تعداد شخم بر خلأ عملکرد ۲۰ درصد بود. بررسی‌های میدانی نشان داد که مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز توسط شخم یکی از روش‌های غالب مهار علف‌هرز در منطقه است که اثر ثانویه آن، تهویه بیشتر خاک و تأثیر مثبت بر عملکرد می‌باشد. در یک بررسی نتایج نشان داد که استفاده از گاواهن قلمی در اراضی دیم کم‌بازده ۱۴/۵۶ درصد، زیرشکن در اراضی دیم پربازده ۱۰/۳۱ درصد و زیرشکن و فاروئر در نظام کشت آبی به ترتیب ۲۰ و ۹/۳۶ درصد در خلأ عملکرد مؤثر بودند (Hajjarpoor et al., 2017a)، اما در تحقیق دیگری، انجام شخم تابستانه در کشت کلزا تا ۱۵ درصد در کاهش خلأ عملکرد مؤثر بود (Sakhavati et al., 2019).

تاریخ برداشت، سومین عامل مؤثر در خلأ عملکرد بود. به نظر می‌رسد که کاهش بارندگی و گرم شدن هوا، رسیدگی فیزیولوژی را تسریع می‌کند، لذا برداشت نسبت به سنوات قبل باید زودتر انجام می‌گردد، درحالی‌که ورود ناوگان برداشت محصول به روال سال‌های گذشته باعث تأخیر حدود دو هفته‌ای در برداشت و افزایش ریزش گردید. در تحقیق انجام شده روی پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) بیان شد که تاریخ برداشت تا ۱۶ درصد بر خلأ عملکرد مؤثر است (Shokrgozar et al., 2018). در بررسی دیگر، تأخیر در برداشت از عوامل ایجاد خلأ عملکرد در کشت گندم بیان گردید (Nekahi et al., 2014).

(al., 2014).

با مقایسه نتایج به دست آمده در شهرستان‌های مورد بررسی (جدول ۶) و بررسی نقش برخی از متغیرهای سهیم در خلأ عملکرد (جدول ۷) مشاهده شد که با توجه به شرایط اقلیمی و میزان ورودی نهاده‌های تولید به مزرعه، عملکرد پتانسیل متفاوت می‌باشد. میانگین عملکرد واقعی و خلأ عملکرد در مناطق مختلف نسبت به یکدیگر متفاوت بود و در شهرستان‌های با عملکرد پتانسیل بالاتر، خلأ عملکرد بیشتری وجود داشت. پیشرفت فناوری می‌تواند سبب افزایش عملکرد پتانسیل و عملکرد قابل دستیابی گردد، اما میزان توانایی استفاده از فناوری بر افزایش عملکرد واقعی مؤثر خواهد بود که شرایط آب‌وهوایی می‌تواند اثر آن را محدود سازد. عملکرد تابع اثر متقابل ژنتیک، محیط و مدیریت زراعی می‌باشد، و در هر منطقه با توجه به شرایط اقلیمی باید مدیریت مطلوب و انعطاف‌پذیر اتخاذ گردد تا شرایط برای به حداکثر رسیدن اثر پیشرفت فناوری بر تولید مهیا و خلأ عملکرد کاهش یابد (Hatfield & Beres, 2019).

در همه مناطق مورد مطالعه مدیریت نامطلوب زراعی عامل ایجاد ۸۰ تا ۱۰۰ درصد خلأ عملکرد بود. در بررسی خلأ عملکرد گندم در نظام کشت آبی، مدیریت نامطلوب زراعی عامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد بود (Hajjarpoor et al., 2017b). همچنین در بررسی خلأ عملکرد گندم در نظام کشت دیم، تراکم پایین بوته، عدم پذیرش یافته‌های جدید توسط زارعین، تأخیر در کاشت، استفاده از رقم نامناسب و عدم مبارزه با علف‌های هرز عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد بودند (Nekahi et al., 2014).

جدول ۶- مقایسه نتایج کمی سازی خلأ عملکرد در شهرستان‌های مورد بررسی

Table 6- Comparison of quantified yield gap results across the studied counties

	عملکرد پتانسیل Potential yield (kg.ha ⁻¹)	میانگین عملکرد Average yield (kg.ha ⁻¹)	مقدار خلأ عملکرد Yield gap (kg.ha ⁻¹)	درصد خلأ عملکرد Yield gap percentage
نورآباد Nourabad	4919	3333	1587	32
کوه‌دشت Kouhdasht	6218	4183	2035	33
دورود Doroud	11815	5563	6252	53
خرم‌آباد Khorramabad	10936	5002	5934	54
میانگین Mean	8472	4520	3952	43

جدول ۷- مقایسه متغیرهای دارای بیشترین اثر را در ایجاد خلأ عملکرد
Table 7- Comparison of variables with the greatest impact on yield gap formation

شهرستان County	Table 7. Comparison of variables with the greatest impact on pest infestation														
	تعداد دفعات آبیاری Irrigation number		مقدار مصرف کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg.ha ⁻¹)				مقدار مصرف کود فسفر Phosphorous fertilizer (kg.ha ⁻¹)				مبارزه با علف هرز Weed control		مبارزه با آفات Pest control		
	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Average	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Average	درصد استفاده Usage percentage	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Average	درصد استفاده Usage percentage	میانگین دفعات Number mean	درصد انجام Percentage of completion	میانگین دفعات Number mean	درصد انجام Percentage of completion
نورآباد Nourabad	5	3	3.8	250	0	90	98	250	0	17	25	0.88	85	0.45	45
کوهدشت Kouhdasht	13	2	5.5	300	50	129	100	200	0	79	83	0.93	93	0.48	48
دورود Doroud	12	2	5	450	100	218	100	250	0	162	98	0.96	93	0.56	56
خرمآباد Khorramabad	10	1	16.5	350	50	187	100	200	0	38	42	1	98	0.47	47

خلأ عملکرد، مدیریت نامطلوب متغیرهایی مانند تعداد کود سرک، تعداد آبیاری، نوع رقم، تناوب، عدم استفاده از علف‌کش، مبارزه با آفات و مقدار و روش مصرف کودهای شیمیایی بودند. خلأ عملکرد قابل دستیابی در اقلیم‌ها و شهرستان مورد بررسی ۱۵۸۶ تا ۵۰۰۲ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. اگر میانگین خلأ عملکرد قابل دستیابی ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شود، با توجه به سطح زیر کشت گندم آبی استان، با بهینه کردن مدیریت موارد یادشده می‌توان تولید گندم آبی را ۱۴۸۴۸۸ تن در سال افزایش داد که تقریباً برابر ۸۰ درصد تولید گندم آبی و ۴۲ درصد کل تولید گندم استان می‌باشد.

سلطانی و میرزایی (Soltani & Mirzaei, 2022) مدیریت نامطلوب مزرعه را ناشی از عواملی از قبیل قیمت پایین فروش محصول تولیدی، عدم تمکن مالی، ناتوانی در استفاده از تسهیلات بانکی، عدم دسترسی کافی و به موقع به نهاده‌ها و ماشین‌آلات کشاورزی و مشکلات زیرساخت‌ها (جاده، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی) دانستند.

نتیجه‌گیری

خلأ عملکرد از ۱۵۸۷ کیلوگرم در هکتار (۳۲ درصد) تا ۶۲۵۲ کیلوگرم در هکتار (۵۳ درصد) متغیر بود (جدول ۶). عوامل اصلی ایجاد

References

1. Abravan, P., Soltani, A., Majidian, M., & Mohsenabadi, G. (2016). Study of field management factors and underlying reasons limiting yield of oilseed rape in east of Golestan province using CPA method. *Jornal of Agroecology*, 7(2), 46-60. (in Persian with English abstract). <https://sid.ir/paper/254758/fa>
2. Ahmadi Alipour, H., Soltani, A., Kazemi, H., & Nehbandani, A. (2018). Zoning Golestan province in terms of the ability and the wheat production gap using a simulation model (SSM). *Crop Improvement (Journal of Agricultural Crop Production)*, 20(1), 129-144. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.237053.1784>
3. Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crop*, 109, 346-357. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049>
4. Broomand, M., Esfahani, M., Alizadeh, M.R., & Alami, A. (2013). Evaluation of morphological characteristics related to lodging in native and improved rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Cereal Research*, 3(3), 181-195. (in Persian with English abstract).
5. Center for Statistics, technology and communication, deputy for economic planning, Ministry of Agricultural Jihad. (2024). *Agricultural Letter Statistics*. 126 p.
6. Daneshmand, A.R., Shirani-Rad, A.H., Noormohammadi, G., Zarei, G., & Daneshian, J. (2007). Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on seed yield and its components, nitrogen uptake and water use and nitrogen utility efficiency in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8 (4), 323-342. (in Persian with English abstract). DOR: 20.1001.1.15625540.1385.8.4.4.9
7. Dhillon, J., Li, X., Bheemanahalli, R., & Reed, V. (2022). Mississippi state and county level yield gap in corn production. *Agricultural & Environmental Letters*, 7, e20092. <https://doi.org/10.1002/ael2.20092>
8. Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W.J., & Zhang, F. (2012). Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. *Journal of Experimental Botany*, 63(1), 13-24. <https://doi.org/10.1093/jxb/err248>
9. FAO, (2009). *Global Agriculture towards 2050. How to Feed the World in 2050*.
10. Fischer, T., Byerlee, D., & Edmeades, G.O. (2014). *Crop yields and global food security: Will yield increases continue to feed the world?* Canberra, Australia. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). 634 p.
11. Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., & Zaks, D.P.M. (2011). Solutions for a cultivated planet.

- Nature*, 478, 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
12. Gebrechorkos, S.H., Hülsmann, S., & Bernhofer, C. (2019) Changes in temperature and precipitation extremes in Ethiopia, Kenya, and Tanzania. *International Journal of Climatology*, 39(1), 18–30. <https://doi.org/10.1002/joc.5777>
 13. Gao, J., Shi, J., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2018). Grain development and endogenous hormones in summer maize (*Zea mays* L.) submitted to different light conditions. *International Journal of Biometeorology*, 62, 2131–2138. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1613-4>
 14. Gorgizad, A., Soltani, A., Dastan, S., & Ajamnoroozi, H. (2019). Evaluation of potential yield and yield gap associated with crop management in improved rice cultivars in Neka region. *Journal of Agroecology*, 11(1), 277–294. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.67430>
 15. Hajjarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2016. Using boundary line analysis in yield gap studies: case study of wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, 8(4), 183–201. (in Persian with English abstract). <https://dori.net/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.4.10.6>
 16. Hajjarpour, A., Soltani, A., Zenali, E., Kashiri, H., & Aynehband, A. (2017 a). Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in Golestan province of Iran using comparative performance analysis method. *Iranian Journal of Crop Science*, 19(2), 86–101. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.15625540.1396.19.2.1.9>
 17. Hajjarpour, A., Soltani, A., Zenali, E., Kashiri, H., Aynehband, A., & Nazari, M. (2017 b). Determination of the optimum managements ranges in order to increasing wheat yield in Golestan province. *Crop Improvement (Journal of Agricultural Crop Production)*, 19(3), 577–590. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60463>
 18. Halalkhor, S., Dastan, S., Soltani, A., & Ajam Nowrozi, H. (2018). Documenting the process of rice production and gap yield associated with crop management in rice production (case study: Mazandaran province, Babol region). *Crop Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, 20(2), 397–414. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.237805.1795>
 19. Hatfield, J.L., & Beres, B.L. (2019). Yield Gaps in Wheat: Path to Enhancing Productivity. *Frontiers in Plant Science*, 10:1603. <https://doi.org/doi:10.3389/fpls.2019.01603>.
 20. Huerta-Espino, J., Singh, R.P., & Guzmán, C. (2018). Milling, processing and end-use quality traits of CIMMYT spring bread wheat germplasm under drought and heat stress. *Field Crops Research*, 215, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.003>
 21. Hesam arefi, A., Safari, M., & Moradi, R. (2018). Gap analysis of wheat production and influencing factors in Kerman province. *Jornal of Agroecology*, 8(1), 106–123. (in Persian with English abstract). <https://www.magiran.com/p1846625>
 22. Hoque, F., Kamruzzaman, M., Rana, M.J., Hassan, M.K., & Hassan, J. (2022). Yield gap in bitter gourd production: A perspective of farm-specific efficiency in Narsingdi district in Bangladesh. *Social Sciences & Humanities*, 6(1), 100335. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2022.100335>
 23. Jaenisch, B.R., Munaro, L.B., Bastos, L.M., Moraes, M., Lin, X., & Lollato, R.P. (2021). On-farm data-rich analysis explains yield and quantifies yield gaps of winter wheat in the U.S. Central Great Plains. *Field Crop Research*, 272, 108287. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108287>
 24. Kamali, B., Rahemi Karizaki, A., Biabani, A., & Mollashahi, M. (2021). Analysis of the limiting factors of Pea (*Pisum sativum* L.) yield in the Mediterranean condition, case study: Gonbad Kavus. *Iranian Journal of Pulses Research*, 12(2), 122–135. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.84317>
 25. Keramat, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2021). Evaluation of rice production potential and yield gap in Iran using SSM-iCrop2 model. *Cereal Research*, 11(3), 175–191. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/CR.2022.20971.1697>
 26. Khansari, V.A., Sabouri, H., Biabani, A., Gholizadeh, A., Falahi, H.A., & Zareae, M. (2015). Correlation study and causal analysis of agronomic traits in wheat-wheat and sugar beet-wheat rotations. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 2(2): 145–156. (In Persian with English abstract).
 27. Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H., & Wart, J.V. (2017). Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China - Distinguish irrigated and rainfed conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 239, 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.035>

28. Liu, Y., Li, Y., Lü, T., Xing, J., Xu, T., Cai, W., Zhang, Y., Zhao, J., & Wang, R. (2021). The priority of management factors for reducing the yield gap of summer maize in the north of Huang-Huai-Hai region, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), 450–459. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63294-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63294-4)
29. Lollato, R.P., Roozeboom, K., Lingenfelser, J.F., Da Silva, C.L., & Sassenrath, G. (2020). Soft winter wheat out yields hard winter wheat in a subhumid environment: weather drivers, yield plasticity, and rates of yield gain. *Crop Science*, 60(3), 16167-1633. <https://doi.org/10.1002/csc2.20139>
30. Mansouri Rad, A., Nakhzari Moghadam, A., Soltani, A., Rahemi-Karizaki, A., & Torabi, B. (2018). Identifying soybean yield-limiting factors by using Comparative performance Analysis (Case study: Golestan province-Kalaleh). *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, 19(4), 1033-1046. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.227778.1675>
31. Matourian, H., Khodaei Joghian, A., Moradi Telavat, M., Siadat, S.A., & Torabi, B. (2022). Analyzing Rapeseed (*Brassica napus* L.) Yield gap using Comparative performance Analysis (CPA) in Khorramshahr. *Journal of Agroecology*, 14(2), 275-289. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/agry.2021.67226.0>
32. Mekonnen, A., Getnet, M., Nebiyu, A., & Tesfaye Abebe, A. (2022). Quantifying potential yield and yield gap of soybean using CROPGRO-Soybean model in the humid tropics of southwestern Ethiopia. *International Journal of Plant Production*, 16(6), 653-667 <https://doi.org/10.1007/s42106-022-00218-z>
33. Nehbandani, A., Soltani, A., Zainli, A., & Hosseini, F. (2017). Analysis of soybean yield constraints in Gorgan and Aliabad Ketoul using CPA method. *Journal of Agroecology*, 7(1), 109-123.(in Persian). <https://www.magiran.com/p1733925>
34. Nehbandani, A., Soltani, A., Hajjarpoor, A., Dadrasi, A., & Nourbakhsh, F. (2020). Comprehensive yield gap analysis and optimizing agronomy practices of soybean in Iran. *The Journal of Agricultural Science*, 158(8-9), 739-747. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000241> .
35. Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmarguee, A., & Bagherani, N. (2014). Yield gap associated with crop management in wheat (Case study: Golestan province Bandar-gaz). *Journal of Crop Production*, 7(2), 135-156. (in Persian with English abstract). [DOR 20.1001.1.2008739.1393.7.2.8.3](https://doi.org/10.1007/978-96-3-10-0087-3_7)
36. Nezamzadeh, S.E., Soltani, A., Dastan, S., & Ajam Norouzi, H. (2019). Evaluation of yield gap associated with crop management in rapeseed production using comparative performance analysis (CPA) and boundary line analysis (BLA) methods in Neka region. *Applied Research in Field Crop*, 32(2), 76-107. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2019.120656.1251>
37. Peña-Bautista, R.J., Hernandez-Espinosa, N., Jones, J.M., Guzmán, C., & Braun, H.J. (2017). CIMMYT Series on Carbohydrates: Wheat-based foods: Their global and regional importance in the food supply, nutrition, and health. *Cereal Foods World*, 62(5), 231–249. <https://doi.org/10.1094/CFW-62-5-0231>
38. Popovici, M., & Bucurean, E. (2009). The influence of crop rotation over the yield and the quality of the seeds for the Dropia autumn wheat cultivar. *Research Journal of Agricultural Science*, 41 (1): 99-102.
39. Rainfall Bulletin, National Meteorological Organization, National Center for Climate and Drought Management. 2021-2022.
40. Rezvantalab, N., Dastan, S., & Soltani, A. (2019). Identification of production constraints and yield gap monitoring of local rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Mazandaran Province. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(2), 155-172. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/abj.21.2.155>
41. Sekhavati, S., Ramhi Karizki, A., Nakhzari Moghadam, A., & Molashahi, M. (2019). Identification of Rapeseed limiting factors using performance comparison analysis. *Journal of Crop Improvement*, 22(1), 13-25. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2019.280944.2212>
42. Shokrgorzar Darabi, M., Soltani, A., & Zainli, A. (2018). Study of cotton yield gap with Boundary Line Analysis method in Aq-Qla and Aliabad Katul cities in Golestan province. *Journal of Crop Production*, 11(3), 15-28. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.11399.1875>
43. Shirinzade, A., Hossen Heidari, S.A., Eslam Majidi, H., Nourmohammadi, G., & Madani, H. (2020). Analyzing Wheat Yield Constraints in Parsabad Moghan, North-West of Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(2), 49-65. (in Persian). <https://doi.org/10.47176/jcpp.10.2.35211>
44. Soltani, A. (2009). Mathematical modeling in field crop. Mashhad, Jahad Daneshgahi of Mashhad Press, 172 p. (in Persian).
45. Soltani, A., Hajjarpour, A., & Vadez, V. (2016). Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield

- in Iran. *Field Crops Research*, 185, 21–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.015>
46. Soltani, A., & Mirzaei, A.R. (2022). Analysis of potential yield and yield gap in plant production systems. Gorgan, Sirang vocabulary. 45 p. (in Persian).
 47. Soukhtehsaraei, M., Dadashi, M.R., Faraji, A., & Soltani, A. (2023). Determination gap yield in product soybean on Aliabad Katol area by use analysis CPA and bunderace linear. *Journal of Crop Production*, 16(1), 25-41. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.17284.2282>
 48. Surjani, U.K., & Wrigley, C. (2017). Chapter 5 - Wheat: Grain-quality characteristics and management of quality requirements, Cereal grains: Assessing and managing quality. Edited by Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. Kidlington, United Kingdom, Woodhead Publishing. 788 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100719-10.8.00005-X>
 49. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, A., & Kazemi korgehei, M. (2013). Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, 6(1), 171-189. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1392.6.1.10.6>
 50. Torabi, B., Soltani, A., Galshi, S., & Zinli, A. (2019). Yield gap analysis: quantifying the gap between actual yield and potential yields of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 13(1), 1-24. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.12532.1975>
 51. Tseng, M.C., Roel, A., Macedo, I., Marella, M., Terra, J., Zorrilla, G., & M Pittelkow, C. (2021). Field-level factors for closing yield gaps in high-yielding rice systems of Uruguay. *Field Crops Research*, 264, 108097. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108097>
 52. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.
 53. UN, 2017. World Population Prospects: the 2017 Revision. Division of the United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York. <https://population.un.org/>
 55. Vasco Silva, J., Jaleta, M., Tesfaye, K., Abeyo, B., Devkota, M., Frija, A., Habarurema, I., Tembo, B., Bahri, H., Mosad, A., Blasch, G., Sonder, K., Snapp, S., & Baudron, F. (2023). Pathways to wheat self-sufficiency in Africa. *Global Food Security*, 37(2023)100684. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100684>
 56. Yang, Y.S., Guo, X.X., Liu, H.F., Liu, G.Z., Liu, W., Ming, B., Xie, R.Z., Wang, K.E., Hou, P., & Li, S.K. (2021). The effect of solar radiation change on the maize yield gap from the perspectives of dry matter accumulation and distribution. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), 482–493. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63581-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63581-X)
 57. Yousefian, M., Soltani, A., Dostan, S., & Ajam-Nooruri, H. (2021). Identification of production constraining factors of local rice cultivars production in Sari region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 67-82. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.277054.654585>
 58. Zarea Feizabadi, A., & Koocheki, A. (1999). Yield and yield components of Alamout and Bezostaya varieties of wheat under different rotations in conventional and ecological cropping systems. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 1(3), 55-63. (In Persian with English abstract). DOR: 20.1001.1.15625540.1377.1.3.6.6
 59. Zare Faizabadi, A., & Azizi, M. (2012). Effect of different crop rotation systems on wheat productivity in the cold Agro-climate Region of Khorasan-e-Razavi. *Seed and Plant Production Journal*, 28(3), 261-275. <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110475>
 60. Zahed, M., Soltani, A., Zeinli, E., Torabi, B., Zand, E., & Alimagham, S.M. (2019). Modeling of irrigated wheat yield potential and gap in Iran. *Journal of Crop Production*, 12(3), 35-52. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.15436.2150>
 61. Zegeye, F., Alamirew Alemu, B., & Tolossa, D. (2020). Analysis of Wheat Yield Gap and Variability in Ethiopia. *International Journal of Agricultural Economics*, 5(4), 89-98. <https://doi.org/10.11648/j.ijae.20200504.11>
 62. Zhao, H., Chang, J., Havlík, P., Van Dijk, M., Valin, H., Janssens, C., Ma, L., Bai, Z., Herrero, M., Smith, P., & Obersteiner, M. (2021). China's future food demand and its implications for trade and environment. *Nature Sustainability*, 4, 1042–1051. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00784-6>



The Effect of Nitrogen and Sulfur Fertilization in Combination with *Pseudomonas aeruginosa* and Seaweed on Agricultural Traits and Seed Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Fields after Rice (*Oryza sativa* L.) Harvest

Seyyed Mohammad Akhgar¹, Naser Mohammadian Roshan^{2*}, Hamid Reza Doroudian², Majid Ashouri³ and Seyyed Mostafa Sadeghi³

1- PhD student of Agronomy, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

(*- Corresponding author's Email: Nmroshan71@yahoo.com)

How to cite this article:

Akhgar, S.M., Mohammadian Roshan, N., Doroudian, H.R., Ashouri, M., & Sadeghi, S.M. (2025). The effect of nitrogen and sulfur fertilization in combination with *Pseudomonas aeruginosa* and Seaweed on agricultural traits and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) in fields after rice (*Oryza sativa* L.) harvest. *Journal of Agroecology*, 17(1), 165-179. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2025.91118.1225>

Received: 06-12-2024
Revised: 06-02-2025
Accepted: 15-02-2025
Available Online: 21-05-2025

Introduction

Rapeseed (*Brassica napus* L.) is one of the most important oilseed crops globally, ranking third in oil production after soybean and oil palm. The seeds contain over 40% oil, with rapeseed oil being the only edible oil that includes sulfur-containing fatty acids. Nitrogen is one of the most important nutritional elements and a key factor in achieving optimal yield in rapeseed. The bacterium *Pseudomonas aeruginosa* is used as a plant growth promoter in agriculture. This bacterium helps increase nitrogen uptake and improve root growth in plants. This study aims to assess the combined effects of nitrogen and sulfur fertilizers and a growth regulator on rapeseed performance in a rice-paddy rotation system.

Materials and Methods

A split-factorial experiment was carried out to investigate the effects of nitrogen and sulfur fertilizers, as well as a growth regulator (a blend of *Pseudomonas aeruginosa* and seaweed), on the yield and quality of rapeseed (Hyola 401 variety) in the second crop following rice cultivation in Gilan Province. The study was designed in a completely randomized block design with three replications over two crop years (2021-2022 and 2022-2023) at a farm located in Bazkiagurab, Lahijan City. The main experimental factors included: (1) the application (or non-application) of a growth regulator at a concentration of 5 mg.L⁻¹, and (2) nitrogen fertilization at four levels (0, 90, 180, and 270



©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.2025.91118.1225>

kg.ha⁻¹) using urea (46% N) and sulfur fertilization at three levels (0, 35, and 70 kg.ha⁻¹) using ammonium sulfate (24% S, 12% N).

Results and Discussion

The results revealed that the highest seed yield (4081 kg.ha⁻¹) and oil yield (1135 kg.ha⁻¹) were obtained from the treatment involving the growth regulator, 270 kg.ha⁻¹ of nitrogen, and 70 kg.ha⁻¹ of sulfur. Conversely, the lowest seed yield (1085 kg.ha⁻¹) and oil yield (368 kg.ha⁻¹) were recorded when the growth regulator was applied without nitrogen, and with 70 kg.ha⁻¹ of sulfur fertilizer. The application of nitrogen fertilizer improved soil microbial activity, enhanced the availability of growth hormones and stimulants, and increased nutrient uptake, all of which contributed to higher photosynthesis and improved plant dry matter. These factors played a significant role in boosting seed yield.

The treatment involving 270 kg of nitrogen and 70 kg of sulfur fertilizer resulted in the highest plant height (171.3 cm). In contrast, the lowest plant height (137.3 cm) was observed in the treatment that did not include a growth regulator, nitrogen fertilizer, and only 35 kg.ha⁻¹ of sulfur fertilizer. Additionally, the growth regulator and the nitrogen and sulfur fertilization treatments significantly affected the duration of flowering, vegetative growth, and seed filling ($p \leq 0.01$). The longest durations for flowering (31 days), vegetative growth (207 days), and seed filling (82 days) were recorded in the treatment combining 270 kg.ha⁻¹ of nitrogen, 70 kg.ha⁻¹ of sulfur, and the growth regulator.

Conclusion

The findings suggest that plant height is strongly influenced by both the number of nodes and the length of internodes, with a significant relationship observed between plant height and the application of nitrogen and sulfur fertilizers. A positive and significant correlation was found between plant height and seed yield, highlighting the importance of plant height in determining seed production. The highest seed yield (4081 kg.ha⁻¹) was achieved when nitrogen and sulfur fertilizers were applied along with the growth regulator. Overall, the interactions between nitrogen and sulfur fertilizers were found to impact grain yield and its components significantly. Future research exploring these interactions, particularly in combination with microbial agents, could provide valuable insights for optimizing rapeseed cultivation and better addressing the nutritional needs of plants.

Keywords: Bacteria, Flowering period, Growth regulator, Oil percentage

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۶۵-۱۷۹

تأثیر نیتروژن و گوگرد در حضور ترکیب سودوموناس آئروژینوزا - جلبک دریایی
(*Pseudomonas aeruginosa*) بر صفات زراعی و عملکرد دانه کلزا (*Brassica napus* L.)
در اراضی پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.)

سید محمد اخگر^۱، ناصر محمدیان روشن^{۲*}، حمیدرضا دورودیان^۲، مجید عاشوری^۳ و سید مصطفی صادقی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی اثرات کودهای شیمیایی نیتروژنی و گوگردی و تنظیم‌کننده رشد (ترکیب فرموله‌شده باکتری سودوموناس آئروژینوزا و جلبک دریایی) بر صفات کمی و کیفی کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) در کشت دوم شالیزارهای استان گیلان انجام شد. آزمایش مزرعه‌ای به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه‌ای واقع در بازکیاگوراب شهرستان لاهیجان اجرا گردید. در این تحقیق، عامل‌های آزمایشی شامل عدم مصرف و مصرف پنج میلی‌گرم در لیتر تنظیم‌کننده رشد به‌عنوان عامل اصلی و چهار سطح کود نیتروژن خالص شامل صفر، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) و سه سطح کود شیمیایی گوگرد خالص (صفر، ۳۵ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سولفات آمونیوم (گوگرد ۲۴ درصد و نیتروژن ۱۲ درصد) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب به‌میزان ۴۰۸۱ و ۱۱۳۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف تنظیم‌کننده رشد، کاربرد ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی و ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگردی مشاهده گردید. در مقابل، کمترین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب به‌میزان ۱۰۸۵ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف تنظیم‌کننده رشد بدون نیتروژن و مصرف ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگردی به دست آمد. همچنین، طول دوره گل‌دهی، رشد و پرشدن دانه تحت تأثیر تنظیم‌کننده رشد و کودهای شیمیایی نیتروژنه و گوگردی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین طول دوره گل‌دهی (۳۱ روز)، رشد (۲۰۷ روز) و پرشدن دانه (۸۲ روز) مربوط به تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم گوگردی همراه با تنظیم‌کننده رشد بود. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده هم‌زمان از تنظیم‌کننده‌های رشد و کودهای نیتروژنی و گوگردی در بهبود عملکرد و کیفیت محصول کلزا در اراضی پس از برداشت برنج است.

واژه‌های کلیدی: باکتری، تنظیم‌کننده رشد، درصد روغن، دوره گل‌دهی

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در دنیا و پس از سویا و نخل روغنی، به‌عنوان سومین منبع تولید روغن شناخته می‌شود. دانه‌های این گیاه حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن بوده که اغلب از اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل شده‌اند (Seyedi

- ۱- دانشجوی دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- ۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- ۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Nmroshan71@yahoo.com)
<https://doi.org/10.22067/agry.2025.91118.1225>

روغن خوراکی حاوی اسیدهای چرب گوگرددار شناخته می‌شود که ویژگی‌های تغذیه‌ای برجسته‌ای را به این محصول می‌بخشد (Ohara et al., 2009). درصد بالای روغن و قابلیت رشد و توسعه گیاه در شرایط مختلف جغرافیایی، از جمله در ایران باعث می‌شود که کلزا به‌عنوان یک منبع امیدبخش برای تأمین نیازهای روغن کشور مورد توجه قرار گیرد. در کنار ارزش غذایی بالا، روغن کلزا مشابه آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، سویا (*Glycine max*) و ذرت (*Zea mays*)، به‌دلیل داشتن اسیدهای چرب اشباع نشده و عدم وجود کلسترول، از نظر تغذیه‌ای بسیار ارزشمند است. این گیاه، با وجود ارقام پاییزه و بهاره، در مناطق وسیعی از جهان در عرض‌های جغرافیایی مختلف کشت می‌شود و از پتانسیل بالایی برای توسعه برخوردار است (Ortas et al., 2019).

با توجه به رشد جمعیت جهانی و بهبود استانداردهای زندگی، تقاضا برای تولید روغن‌های گیاهی از جمله روغن کلزا افزایش یافته است. در عین حال، توسعه ارقام ویژه و ایجاد بازارهای خاص برای این محصول، کشت و تولید آن را در بسیاری از کشورها تقویت کرده است (Safikhani et al., 2015). از آنجاکه ناپایداری تأمین نفت در سطح جهانی وجود دارد، روغن کلزا به‌عنوان یک گزینه قابل توجه برای تأمین انرژی زیستی در حال گسترش است (Hama, 2021). از جمله کشورهای تولیدکننده اصلی کلزا می‌توان به کانادا، چین، هند، آلمان، فرانسه و استرالیا اشاره کرد که بیش از ۷۴ درصد از تولید جهانی کلزا را به خود اختصاص می‌دهند (FAO, 2023).

حاصلخیزی خاک و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز برای گیاه کلزا، تأثیر زیادی بر عملکرد دانه و کیفیت آن دارد. استفاده از کودهای شیمیایی، به‌ویژه در بهینه‌سازی مصرف عناصر غذایی، می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه کلزا ایفا کند (Mostafavirad et al., 2018). میزان و نوع کودهای مورد استفاده در تغذیه گیاه کلزا نه تنها بر میزان تولید دانه تأثیرگذار است، بلکه کیفیت روغن تولیدی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Asare & Scarisbrick, 1995). نیتروژن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی و عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی، به‌ویژه در کلزا شناخته می‌شود (Tedone et al., 2018). کلزا نیاز بالایی به نیتروژن دارد و در بسیاری از اراضی زراعی ایران که با کمبود نیتروژن قابل جذب مواجه هستند، استفاده از کودهای نیتروژنی به‌منظور بهینه‌سازی

عملکرد ضروری است. علاوه بر نیتروژن، گوگرد نیز به‌عنوان یکی از عناصر غذایی پرمصرف در گیاهان زراعی، نقش مهمی در بهبود عملکرد کلزا ایفا می‌کند. کمبود گوگرد می‌تواند نه تنها بر کاهش عملکرد گیاه تأثیر بگذارد، بلکه باعث کاهش کیفیت روغن و پروتئین دانه‌ها نیز گردد (Malhi & Gil, 2006; Ghaderi et al., 2017). این عنصر به‌ویژه در خاک‌های کم‌حاصل و بافت سنگین، در شرایط خشک و در مناطقی که مقدار نیتروژن زیادی به خاک اضافه می‌شود، بیشتر دچار کمبود می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که در این شرایط، عملکرد کلزا با استفاده از کود گوگردی می‌تواند تا چهار برابر افزایش یابد (Mostafavirad et al., 2018). با توجه به قیمت بالای کودهای شیمیایی و اثرات مخرب مصرف بی‌رویه آن‌ها بر محیط زیست، توجه به استفاده بهینه از منابع غذایی نظیر گوگرد می‌تواند در افزایش بهره‌وری کشاورزی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی مؤثر باشد (Ghaderi et al., 2017). در این راستا، کاربرد گوگرد در کشاورزی به‌ویژه در تولید دانه‌های روغنی مانند کلزا، به‌عنوان یکی از اولویت‌های پژوهشی و کاربردی در نظر گرفته می‌شود (Jamal et al., 2010). مصرف گوگرد به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌تواند به افزایش ۱۵ درصدی عملکرد دانه کلزا منجر شود (Singh et al., 2022). کاربرد توأم گوگرد و نیتروژن سبب افزایش معنادار تعداد شاخه جانبی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد روغن در کلزا در مقایسه با شاهد شد (Habibi et al., 2014). در بین فیتوهورمون‌ها، اکسین‌ها که عمدتاً در انتهای ساقه‌ها و ریشه‌ها تولید می‌شوند، نقش کلیدی در توسعه و رشد اندام‌ها دارند و موجب تحریک کشتش سلولی و افزایش طول ساقه می‌شوند. سیتوکینین‌ها که در بافت‌های مریستمی و جوان تولید می‌شوند، به تقسیم سلولی کمک کرده و موجب تأخیر در پیری سلول‌ها می‌شوند. از سوی دیگر، جیبرلین‌ها در جوانه‌زنی بذر و رشد ساقه‌ها مؤثرند و به تحریک رشد طولی گیاه کمک می‌کنند. ارتباطات پیچیده‌ای بین این هورمون‌ها وجود دارد که موجب تعادل در فرآیندهای فیزیولوژیک و رشدی گیاه می‌شود (Ljung, 2013). تنظیم‌کننده‌های رشد، ترکیبات تولیدشده‌ای هستند که فرآیندهای فیزیولوژیکی را تغییر می‌دهند. این مواد با تقلید اثرات هورمون‌ها، کاهش ساخت هورمون‌ها و از بین بردن یا انتقال و یا تغییر محل تأثیر یک هورمون، رشد و نمو را در گیاه تنظیم می‌کنند (Pirasteh-Anosheh & Emam, 2019). باکتری *Sودوموناس آئروژینوزا* (*Pseudomonas aeruginosa*) به‌عنوان

یک محرک رشد گیاه در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این باکتری به افزایش جذب نیتروژن و بهبود رشد ریشه در گیاهان کمک می‌کند (Klockgether, et al., 2011). جلبک‌های قهوه‌ای دریایی (مثل جلبک‌های خانواده Laminariaceae) حاوی هورمون‌های طبیعی گیاهی مانند اکسین، سیتوکین و جیبرلین هستند که می‌توانند به تحریک رشد ریشه و جوانه‌زنی کمک کنند. این هورمون‌ها همچنین به بهبود تولید میوه و کیفیت محصولات کمک می‌کنند (Pérez-López et al., 2015). عصاره جلبک دریایی قهوه‌ای، به‌طور وسیعی، در کشت گیاهان برای تحریک رشد و ارتقاء تحمل آن‌ها در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری، دمایی و کمبود عناصر غذایی، استفاده می‌شود (Yaghoobi, 2020). این پژوهش با هدف بررسی کودهای شیمیایی نیتروژنه و گوگردی در شرایط استفاده از تنظیم‌کننده رشد بر صفات کمی و کیفی کلزا در اراضی پس از برداشت برنج طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱، در مزرعه‌ای واقع در بازکیاگوراب شهرستان لاهیجان، به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عرض جغرافیایی محل آزمایش ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی بود. محل آزمایش دارای آب و

هوای معتدل و مرطوب است و میزان بارندگی سالانه برحسب میانگین ۱۰ ساله برابر با ۱۳۳۰ میلی‌متر می‌باشد (Statistics of the Ministry of Agricultural Jihad, 2022). اطلاعات هواشناسی منطقه در طول اجرای این آزمایش در جدول ۱ آمده است. قبل از اجرای آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اندازه‌گیری شد (جدول ۲). در این آزمایش از کلزا رقم هایولا ۴۰۱ استفاده شد. از ترکیب تجاری شونتکس (باکتری سودوموناس آئروژینوزا ATCC 10145 با غلظت 10^7 CFU.ml⁻¹ با عصاره جلبک دریایی (*Ascomphyllum nodosum*) در شرکت دانش‌بنیان نوآوران عرصه اندیشه کاسپین پاریسیان) به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد استفاده شد. عامل‌های آزمایشی شامل مصرف و عدم مصرف تنظیم‌کننده رشد به‌مقدار پنج میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر کود نیتروژن خالص در چهار سطح صفر، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره با نیتروژن ۴۶ درصد) و کود شیمیایی گوگرد در سه سطح (صفر، ۳۵ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سولفات آمونیوم (گوگرد ۲۴ درصد و نیتروژن ۱۲ درصد) به‌عنوان عامل فرعی بودند. کاشت در نیمه اول آبان هر سال انجام شد. کود نیتروژنه در سه زمان یک‌سوم در زمان کاشت (BBCH 00)، یک‌سوم در زمان به ساقه رفتن (BBCH 30) و یک‌سوم در زمان قبل گل‌دهی (BBCH 60) کلزا به زمین داده شد.

جدول ۱- میانگین پارامترهای هواشناسی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشد
Table 1- Average meteorological parameters of the study area during the growing season

پارامترهای هواشناسی	آذر 22 Nov. -21 Dec.		دی 22 Dec. -20 Jan.		بهمن 21 Jan. -19 Feb.		اسفند 20 Feb. -12 Mar.		فروردین 13 Mar.-20 Apr.		اردیبهشت 21 Apr.-20 May	
Climatic item	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023
بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	141	130	90	52	106	101	132	63	98	57	81	47
رطوبت نسبی (درصد) Humidity (%)	92	91	92	96	93	90	94	92	90	93	95	90
میانگین دما (سانتی- گراد) T mean (°C)	14	10	7	8	8	7	10	12	14	14	17	17
سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed (m.s ⁻¹)	22	11	20	12	18	11	22	14	18	13	14	12

جدول ۲- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of soil in the experiment site

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن کل Total N (%)
				(mg.kg ⁻¹)		
Clay silty	1.17	1.7	7.4	15.1	217	0.179

داده شده. عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه محاسبه شد (Yahyapoor et al., 2023; Fanaei et al., 2014). در مرحله نهایی، از هر کرت مساحت دو مترمربع با داس برداشت و عملکرد دانه آن تعیین شد (Soleimanzadeh et al., 2007). برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع گیاه بیانگر رشد و بهره‌برداری از منابع محیطی است و تحت تأثیر تعداد گره در ساقه و طول میان‌گره قرار می‌گیرد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنظیم‌کننده رشد، تیمارهای کود نیتروژن و گوگردی (در سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود (جدول ۳). استفاده از تنظیم‌کننده رشد سبب افزایش ارتفاع در کلزا گردید که این ترکیب به همراه مصرف ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم کود گوگردی با میانگین ۱۷۱/۳ سانتی-متر بیشترین ارتفاع بوته را داشت. تیمار بدون مصرف تنظیم‌کننده رشد و کود نیتروژن و ۳۵ کیلوگرم کود گوگردی با ارتفاع میانگین ۱۳۷/۳ سانتی-متر کم‌ترین ارتفاع بوته را داشت. نتایج این آزمایش نشان داد که تنظیم‌کننده رشد به‌تنهایی روی ارتفاع بوته تأثیر معنی-داری نداشته است، در صورتی که به همراه کود نیتروژن و گوگرد، اثر افزایشی در رشد و ارتفاع گیاه داشته است (جدول ۴). معادله خطی برازش شده بر داده‌ها نشان داد که رابطه ارتفاع گیاه و عملکرد دانه مستقیم است به‌طوری که بالاترین عملکرد دانه در ارتفاع ۱۷۱ سانتی-متر به دست آمد (شکل ۱). نتایج همبستگی ارتفاع بین صفات مختلف نشان داد که میزان همبستگی بین ارتفاع با عملکرد دانه بالاترین مقدار بین صفات به‌میزان 0.814^{**} بود (نتایج ارائه نشده است). رامهه (Rameeh, 2014) در مطالعه خود نشان داد که عملکرد دانه با ارتفاع بوته دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری می‌باشد. شروع گل‌دهی در کلزا با افزایش ارتفاع سریع گیاه از طریق افزایش فواصل بین گره‌ها و رشد ساقه گل‌دهنده همراه است (Safari et al., 2021). ارتفاع بیشتر بوته باعث افزایش مقدار کپسول در بوته و در نتیجه، تعداد دانه

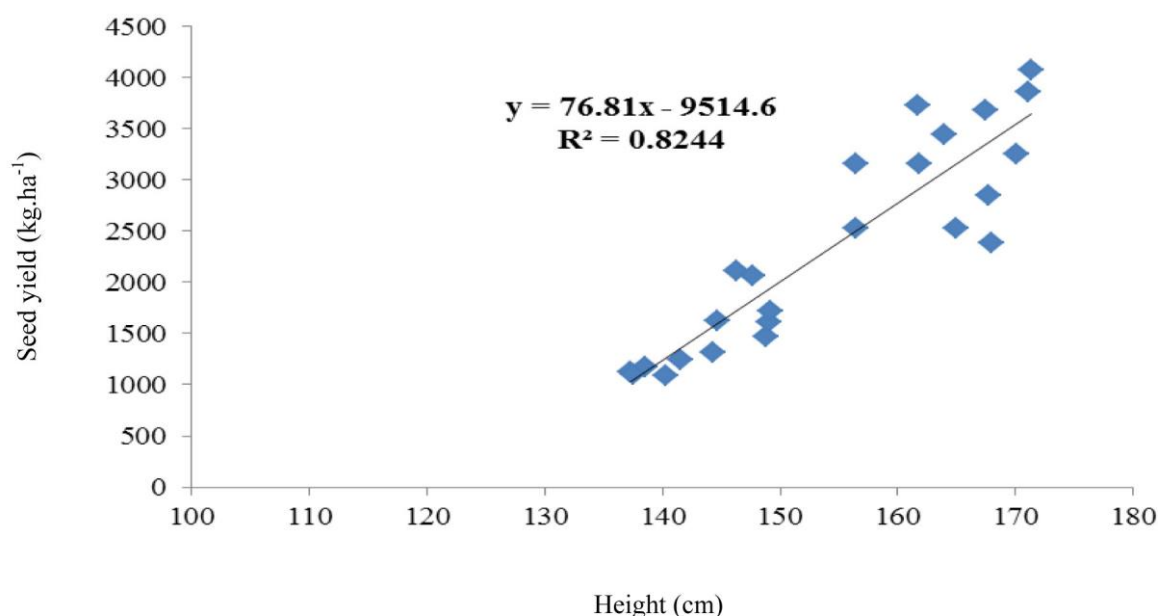
کود آمونیوم سولفات برای تأمین میزان گوگرد در مرحله به ساقه رفتن به زمین داده شد (Mostafavirad et al., 2018). بافت خاک محل آزمایش، سیلتی رسی با اسیدیته برابر ۷/۴ و میزان کربن آلی خاک ۱/۹ درصد بود. هر کرت آزمایش شامل هشت خط کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر و به‌طول سه متر بود. بعد از برداشت برنج در اوایل مهر، عملیات شخم حداقل با استفاده از دو بار روتیواتور به‌عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متر انجام گرفت و برای مبارزه با علف‌های هرز از علف‌کش ترفلان به‌میزان سه لیتر در هکتار استفاده شد. کود آمونیوم سولفات به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم سولفات به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برحسب نتایج تجزیه خاک به مزرعه داده شد. میزان نیتروژن در آمونیوم فسفات به نیتروژن مورد استفاده به کود اوره اضافه شد. به‌منظور خروج زه‌آب و جلوگیری از غرقابی شدن مزرعه، دور تا دور زمین زهکش‌هایی به‌عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متر و به‌عرض ۴۰-۳۵ سانتی‌متر احداث گردید. فاصله بین تیمارها یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته خواهد شد. کاشت بذرها در اوایل آبان به‌صورت دستی و میزان بذر مصرفی در هر کرت، ۱۰ گرم و برحسب ۱۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. تنظیم‌کننده رشد به‌میزان پنج میلی‌گرم در لیتر به‌صورت پاششی در مرحله رزت طبق فاکتور آزمایشی روی بوته‌های کلزا محلول‌پاشی ترکیب فرموله‌شده شو تکس انجام شد. در طول فصل رشد، عملیات زراعی لازم مانند مبارزه با علف‌های هرز و آفات انجام خواهد گرفت. پس از کاشت کلزا و در مرحله شش‌برگی برای مهار علف‌های هرز باریک‌برگ از علف‌کش گالانت به‌میزان سه لیتر در هکتار استفاده گردید. برای مبارزه با حلزون در دو زمان ابتدای سبز شدن کلزا و در زمان ۳-۴ برگی، از سم متالدهاید استفاده شد. برای محاسبه ارتفاع، تعداد ۲۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین ارتفاع (ارتفاع بوته‌ها از سطح زمین تا نقطه انتهایی ساقه اصلی) هر تیمار ثبت شد. مرحله گل‌دهی با کد ۶۱ از شاخص Scale- BBCH (باز شدن ۱۰ درصد از گل‌های شاخه اصلی و طولی شدن شاخه اصلی) تعیین شد. روغن دانه‌ها با استفاده از حلال استن و دستگاه سوکسله استخراج و مقدار آن به درصد محاسبه خواهد شد. بر این اساس، جهت استخراج روغن، مقدار ۱۰ گرم بذر خرد شده و ۳۰۰ سی‌سی بنزن در دستگاه سوکسله قرار

روغن بر عملکرد دانه مستقیم و مثبت است. عملکرد بالا اغلب با تولید تعداد بیشتر خورجین در بوته یا واحد سطح همراه است (Paseban Islam et al., 2001). در این تحقیق، استفاده از کود نیتروژن و گوگرد در سطوح پایین نیز منجر به افزایش عملکرد شده است، اما مصرف نیتروژن از ۹۰ تا ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد دانه تا ۷۰ درصد شد. همچنین با افزایش میزان گوگرد، عملکرد و عملکرد روغن نیز تحت تأثیر قرار گرفته است. استفاده از کود نیتروژن از طریق بهبود فعالیت میکروبی خاک و در دسترس قرار دادن انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد، همچنین فراهمی عناصر غذایی، باعث افزایش فتوسنتز و بهبود ماده خشک گیاهی شده است که این مسئله در نهایت، موجب بهبود عملکرد دانه شده است (Yaw et al., 2008). میزان همبستگی بین عملکرد دانه و طول دوره رشد (0.728^{**}) با طول دوره گل‌دهی (0.941^{**}) و با طول دوره پرشدن دانه (0.726^{**}) دارای یک رابطه مستقیم و معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) بود. میزان همبستگی با درصد روغن معکوس و معنی‌دار (سال اول -0.779^{**} و سال دوم -0.813^{**})، در سطح احتمال یک درصد بود (نتایج ارائه نشده است).

بیشتری در بوته می‌گردد که با نتایج مطلبی‌پور و همکاران (Motablipour et al., 2000) مطابقت دارد. استفاده از ۱۰۰، ۱۶۰ و ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن سبب افزایش ارتفاع گیاه کلزا به ترتیب ۳۴، ۴۲ و ۳۹ درصد نسبت به بدون استفاده از کود نیتروژن شد (Mosavian et al., 2022).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تنظیم‌کننده رشد، کود نیتروژن و کود گوگرد و اثر متقابل تنظیم‌کننده رشد، تیمارهای کود نیتروژن و گوگردی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به میزان ۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف تنظیم‌کننده رشد، کاربرد ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگردی به دست آمد. کمترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۸۵ کیلوگرم در هکتار در مصرف تنظیم‌کننده رشد بدون نیتروژن و مصرف ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگردی ثبت شد. معادله خطی براش شده بر داده‌های مختلف اجزای عملکرد و عملکرد روغن کلزا نشان داد که رابطه تعداد ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد



شکل ۱- رابطه رگرسیونی بین ارتفاع بوته و عملکرد دانه کلزا در اثر متقابل سه عامل تنظیم‌کننده رشد و کودهای نیتروژن و گوگرد
 Fig. 1- Regression relationship between plant height (cm) and seed yield (kg.ha⁻¹) of rapeseed in the interaction of growth regulator, nitrogen, and sulfur fertilizer treatments

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر سال، تنظیم کننده رشد و کودهای نیتروژنه و گوگردی بر صفات ارتفاع گیاه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، طول دوره رشد، گل دهی و پر شدن در کلزا
Table 3- Combined analysis of variance (ANOVA) for the effect of year, growth regulator, and nitrogen, and sulfur fertilizers on plant height, seed yield, oil content, oil yield, growth duration, flowering duration, and seed filling duration in rapeseed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)						
		ارتفاع گیاه Plant height	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil content	عملکرد روغن Oil yield	طول دوره رشد Growth duration	طول دوره گل دهی Flowering duration	طول دوره پر شدن Seed filling duration
سال (Y)	1	0.56	389168	14.06	88446.7*	845.8**	160.4**	164.6*
بلوک (سال)	4	157.4	166788	24.8	8728	26.52	2.69	10.13
R × Y	1	7.56	18814	1.56	69.1	0.84	0.44	0.69
تنظیم کننده (R)	1	416.8	5178658**	11.67	411073.3**	55.01	20.25*	0.694
خطای اصلی Error 1	4	88.05	74317	1.53	17053.2	1.319	4.972	3.361
نیتروژن (N)	3	5854.8**	43515149**	576.08**	2373923**	1733.1**	1338.5**	272.04**
گوگرد (S)	2	93.39*	625158**	5.75	81675.2*	114.7**	1.506	18.58*
R × N	3	92.6*	419916**	0.87	34440.8	1.803	3.7129	0.935
R × S	2	18.8*	9745	21.14**	5374.2	0.632	0.145	0.361
N × S	6	165.9**	228760**	3.3	34296**	22.96**	17.75**	4.046*
R × N × S	6	11.8**	47760**	4.62**	4774.5*	2.956	3.803**	0.824
Y × N	3	4.62	109380*	2.89	16758.1*	2.525	0.018	2.0462
Y × S	2	0.1457	6251	1.27	1143.8	0.923	0.3402	0.694
Y × R × N	3	1.87	42338	0.136	3333.3	2.5254	0.0185	2.0463
Y × R × S	2	0.817	9695	0.021	398.3	0.923	0.3402	0.695
Y × N × S	6	1.67	23962	0.91	1457.3	1.0811	0.2199	0.768
Y × R × N × S	6	0.47	3436	0.456	725.2	1.081	0.212	0.7685
خطای دوم Error 2	88	30.53	33639	4.04	5702.9	12.6	2.2	2.5
درصد ضریب تغییرات CV		3.5	7.8	6.3	10.5	1.7	6.6	2.1

ns, *, ** and *** non significant and significant at 1% and 5%.
ns, *, ** and *** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات ارتفاع بوته، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن کلزا در اثر تیمارهای تنظیم کننده رشد، کود نیتروژن و کود گوگردی
Table 4- Comparison of mean values for plant height, seed yield, oil content, oil yield and flowering duration of rapeseed under the effect of growth regulator, nitrogen, and sulfur fertilizer treatments

تنظیم کننده رشد R	نیتروژن N	گوگرد S	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	درصد روغن دانه Oil content (%)	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha ⁻¹)	طول دوره گل دهی Flowering duration (days)
بدون تنظیم کننده رشد Without growth regulator (R ₁)	0	0	138.5 ^d	1168 ^l	34.5 ^{abc}	403.8 ^m	15.1 ^{kl}
	0	35	137.3 ^d	1129 ^l	34.8 ^{abc}	385.4 ^m	15.3 ^{kl}
	0	70	137.5 ^d	1098 ^l	35.7 ^a	398.1 ^m	14.1 ^l
	90	0	148.8 ^{cd}	1470 ^{kl}	34.3 ^{abc}	498.8 ^{kl}	20.3 ^{ghi}
	90	35	149.1 ^{cd}	1617 ^{jk}	37.8 ^a	612.3 ^{ijk}	19.6 ^{ghi}
	90	70	144.6 ^{cd}	1622 ^{jk}	36.6 ^a	587.4 ^{ijkl}	19.6 ^{ghi}
	180	0	168.1 ^{ab}	2390 ^{gh}	29.5 ^{defg}	702.8 ^{ghi}	22.6 ^{efg}
	180	35	156.5 ^{bc}	2533 ^{fg}	31.1 ^{cde}	785.2 ^{efgh}	25.1 ^{de}
	180	70	165.1 ^{ab}	2525 ^{fg}	30.8 ^{cdef}	778.5 ^{efgh}	26.3 ^{de}
	270	0	161.8 ^{ab}	3156 ^{de}	26.3 ^g	831.3 ^{cdefg}	30.6 ^a
مصرف تنظیم کننده رشد With growth regulator (R ₂)	270	35	164.2 ^{ab}	3450 ^d	26.7 ^{efg}	921.4 ^{bode}	28.3 ^{abc}
	270	70	161.6 ^{ab}	3734 ^{abc}	28.8 ^{d^{efg}}	1078.8 ^{ab}	29.6 ^{ab}
	0	0	144.3 ^d	1320 ^{kl}	24.2 ^{abc}	452.1 ^{klm}	17.3 ^{ijk}
	0	35	141.5 ^d	1247 ^{kl}	34.7 ^{abc}	433.3 ^{lm}	16.3 ^{ijkl}
	0	70	140.3 ^d	1085 ^l	34.1 ^{abc}	368.1 ^m	15.6 ^{kl}
	90	0	149.2 ^{cd}	1720 ^{ij}	36.2 ^a	622.9 ^{hij}	19.1 ^{ij}
	90	35	147.6 ^{cd}	2070 ^{hi}	34.5 ^{abc}	711.6 ^{ghi}	21.3 ^{fgh}
	90	70	146.3 ^{cd}	2115 ^{hi}	35.5 ^{ab}	748.5 ^{efgh}	20.3 ^{ghi}
	180	0	167.6 ^{ab}	2851 ^{ef}	31.2 ^{bed}	890.3 ^{cdef}	24.5 ^{def}
	180	35	156.5 ^{bc}	3157 ^{de}	29.3 ^{defg}	925.1 ^{bode}	25.1 ^{de}
تنظیم کننده رشد (R)	180	70	170.1 ^a	3254 ^d	29.3 ^{defg}	957.4 ^{bed}	26.6 ^{bed}
	270	0	167.5 ^{ab}	3682 ^{bc}	27.1 ^{defg}	995.5 ^{abc}	31.3 ^a
	270	35	171.1 ^a	3862 ^{ab}	26.5 ^{fg}	1026.1 ^{abc}	28.3 ^{abc}
	270	70	171.3 ^a	4081 ^a	27.8 ^{d^{efg}}	1135.1 ^a	29.8 ^{ab}

تنظیم کننده رشد (R) در دو سطح بدون استفاده (R₁) و استفاده پنج میلی گرم در لیتر (R₂)، نیتروژن (N) در چهار سطح ۰، ۳۵، ۷۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و گوگرد (S) در سه سطح ۰، ۳۵ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می باشد.
Growth regulator (R) at two levels of no use (R₁) and use of five mg l⁻¹ (R₂), nitrogen (N) at four levels of 0, 90, 180 and 270 kg ha⁻¹ and sulfur (S) at three levels of 0, 35 and 70 kg ha⁻¹. Like letters indicate non-significance between treatments at the five percent level.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات طول دوره رشد و دوره پر شدن دانه در اثر تیمارهای کود نیتروژنه و کود گوگردی

Table 5- Comparison of mean values for growth duration, and seed filling duration in the effect of nitrogen and sulfur fertilizer treatments

نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) N (kg ha ⁻¹)	گوگرد (کیلوگرم در هکتار) S (kg ha ⁻¹)	طول دوره رشد Growth duration (days)	طول دوره پر شدن دانه Seed filling duration (days)
0	0	192 ^e	75.9 ^c
	35	186 ^f	73.4 ^d
	70	192 ^e	75.8 ^c
90	0	202 ^{cd}	79.6 ^b
	35	201 ^d	79.1 ^b
	70	202 ^{cd}	79.7 ^b
180	0	204 ^{bc}	80.3 ^{ab}
	35	203 ^{cd}	80.1 ^{ab}
	70	204 ^{bc}	80.1 ^{ab}
270	0	207 ^a	81.6 ^a
	35	204 ^c	80.6 ^{ab}
	70	206 ^{ab}	81.5 ^a

نیتروژن (N) در چهار سطح ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار و گوگرد (S) در سه سطح ۰، ۳۵ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار

حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می باشد.

Nitrogen (N) at four levels of 0, 90, 180 and 270 kg/ha and sulfur (S) at three levels of 0, 35 and 70 kg ha⁻¹. Like letters indicate non-significance between treatments at the five percent level.

اکسین ها و سیتوکینین ها می توانند به بهبود عملکرد کلزا از طریق افزایش رشد و توسعه ریشه، بهبود جذب مواد غذایی و افزایش تعداد خورجین و دانه ها در بوته کمک کنند. مطالعه ای دیگر نشان داده است که استفاده از تنظیم کننده های رشد باعث افزایش ۱۵ تا ۲۰ درصدی در عملکرد دانه کلزا می شود (Lee et al., 2021). نتایج یک تحقیق اخیر نیز نشان داد که استفاده از تنظیم کننده های رشد در کنار کود نیتروژن می تواند به طور قابل توجهی عملکرد کلزا را به ویژه در شرایط کمبود مواد غذایی افزایش دهد (Wang et al., 2024).

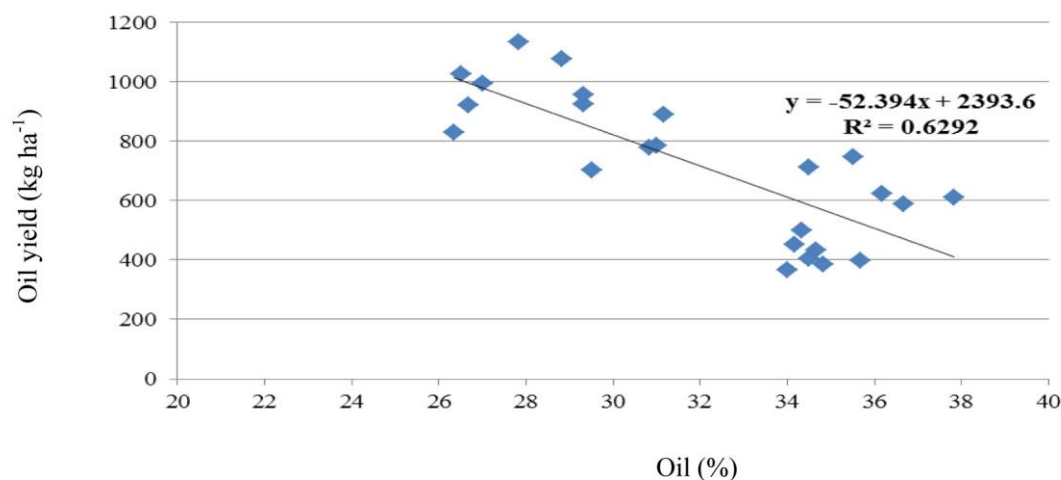
درصد و عملکرد روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عملکرد و درصد روغن دانه تحت تأثیر تنظیم کننده رشد و کودهای شیمیایی نیتروژنی و گوگردی معنی دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد روغن دانه از تیمار مصرف تنظیم کننده رشد، ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم کود گوگردی در هکتار با میانگین ۱۱۳۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و کمترین مقدار نیز متعلق به تیمارهای مصرف تنظیم کننده رشد،

افزایش عملکرد دانه کلزا در شرایط نیتروژن بالای مصرفی عمدتاً مربوط به تعداد خورجین بالاتر و وزن دانه بالاتر است، در حالی که تعداد دانه در هر غلاف تحت تأثیر قرار نمی گیرد (Safari et al., 2021). پژوهش ها بیانگر نقش مثبت گوگرد در مرحله رشد زایشی، فرآیند گل دهی و همچنین تعداد غلاف های رسیده، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه ها است (Fismes et al., 2000; Singh, 2001). به نظر می رسد که گوگرد از طریق تأثیر بر افزایش تعداد خورجین باعث افزایش عملکرد شده است (Majidian et al., 2008). بیشترین عملکرد دانه کلزا با مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل می شود و مصرف این میزان کود نیتروژن دار در مقایسه با مقادیر کمتر (۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش تولید دانه و وزن دانه می شود، اما در مقایسه با مصرف مقادیر بیشتر کود نیتروژن (۲۴۰ کیلوگرم در هکتار) وزن دانه تفاوتی نداشت (Mosavian et al., 2022). همچنین، کشت مداوم کلزا در یک قطعه زمین باعث کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصدی تولید دانه می شود (Sieling & Christen, 2015). تحقیقات نشان داده اند که تنظیم کننده های رشد مانند

بدون کود نیتروژن و مصرف ۷۰ کیلوگرم کود گوگردی با میانگین ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (جدول ۴). عملکرد روغن تابعی از محتوای روغن و عملکرد دانه می‌باشد (Safari et al., 2021). معادله خطی برآش شده بر داده‌ها نشان داد که رابطه درصد و عملکرد روغن معکوس است. بالاترین درصد روغن به میزان ۳۸ درصد در عملکرد روغن ۶۱۲ کیلوگرم در هکتار ثبت شده است (شکل ۲). نتایج حاصل از این تجزیه نشان داد که عملکرد روغن اثر مستقیم و مثبتی بر عملکرد دانه داشت، درحالی‌که درصد روغن رابطه مستقیم و منفی بر عملکرد نشان داد. بیشترین درصد روغن دانه از تیمار بدون تنظیم-کننده رشد، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن و ۳۵ کیلوگرم کود گوگردی با میانگین ۳۷/۸ درصد و کمترین مقدار درصد روغن در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن و بدون مصرف تنظیم‌کننده و کود گوگردی در هکتار با میانگین ۲۶/۳ درصد به دست آمد. تحقیقات منطقه‌ای احمدی و جاویدفر (Ahmadi & Javidfaar, 2000) نشان داد که علاوه بر عوامل ژنتیکی، عوامل محیطی نیز بر درصد روغن تأثیر دارد. در مطالعه گوگرد بر کلزا در هندوستان گزارش شده است که کاربرد منابع مختلف گوگرد در مرحله قبل از گل‌دهی سبب افزایش عملکرد دانه و درصد روغن گردید (Kumar et al., 2018). احمد و همکاران (Ahmad et al., 2007) دریافتند که افزایش تیمار گوگرد به میزان

۲۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش روغن دانه در کلزا می‌شود. مالهی و همکاران (Malhi et al., 2006) نشان دادند که با کاربرد گوگرد، میزان روغن و پروتئین دانه افزایش یافت. مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در سه مرحله با میانگین عملکرد روغن ۱۳۸۳ کیلوگرم در هکتار و مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار تماماً در زمان کاشت با میانگین ۵۰۶ کیلوگرم در هکتار پس از شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد روغن کلزا را به خود اختصاص دادند (Rabiei et al., 2011). مصرف ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) باعث افزایش عملکرد، محتوای گوگرد، پروتئین و درصد روغن گیاه شد (Surendra & Singh, 1991). با کاربرد نیتروژن، سوبسترای بیشتری برای سنتز پروتئین فراهم و مواد فتوسنتزی بیشتری به ساخت پروتئین اختصاص داده می‌شود و در نتیجه، جهت سنتز روغن، سوبسترای کافی در اختیار نخواهد بود. بنابراین، میزان روغن کاهش می‌یابد، اما این کاهش منجر به کاهش عملکرد روغن نگردید. در واقع، کاربرد نیتروژن بیشتر برای حصول عملکرد اقتصادی بالاتر مانعی ندارد، چون با کاهش مقدار نیتروژن، افزایش میزان روغن نمی‌تواند کاهش حاصل در عملکرد دانه را جبران کند (Hasanzadeh & Javadi, 2015). یافته‌های حاصل از این آزمایش نیز با این تحقیق تطابق دارد.



شکل ۲- رابطه رگرسیونی بین درصد روغن و عملکرد روغن کلزا در اثر متقابل سه عامل تنظیم‌کننده رشد و کودهای نیتروژن و گوگرد
 Fig. 2- Regression relationship between oil content (%) and oil yield (kg.ha⁻¹) of rapeseed under the interaction of growth regulator, nitrogen, and sulfur fertilizer treatments

سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین طول دوره گل‌دهی از تیمار مصرف تنظیم‌کننده رشد، ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم کود گوگردی در هکتار با میانگین ۳۱ روز در سال اول به

طول دوره رشد، گل‌دهی و پرشدن دانه کلزا
 نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که طول دوره گل‌دهی تحت تأثیر تنظیم‌کننده رشد، کود شیمیایی نیتروژنی و گوگردی در

دست آمد و کمترین مقدار نیز متعلق به تیمارهای عدم مصرف تنظیم‌کننده رشد، بدون استفاده از کود نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد با میانگین ۱۴ روز ثبت شد (جدول ۴). تحقیقات اخیر، تأثیرات قابل توجهی از مصرف کودهای شیمیایی و تنظیم‌کننده‌های رشد بر طول دوره گل‌دهی کلزا نشان داده‌اند. چن و دیک (Chen & Dick, 2011) گزارش کردند که مصرف بالایی نیتروژن و گوگرد در ترکیب با تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی طول دوره گل‌دهی را افزایش دهد و کیفیت و کمیت محصول را بهبود بخشد. در تحقیق مشابه، خان و همکاران (Khan et al., 2021) بیان کردند که افزایش میزان نیتروژن و گوگرد به همراه استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد باعث طولانی‌تر شدن دوره گل‌دهی و افزایش عملکرد دانه می‌شود که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد. در مقابل، اسمیت و همکاران (Smith et al., 2020) و یانگ و همکاران (Wang et al., 2024) اشاره کردند که کمبود نیتروژن و استفاده نامناسب از کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه طول دوره گل‌دهی شود. این کاهش به‌ویژه در شرایطی که تنها از کود گوگرد استفاده می‌شود و تنظیم‌کننده رشد به کار نمی‌رود، مشاهده شده است. این یافته‌ها با نتایج این تحقیق که نشان‌دهنده کمترین طول دوره گل‌دهی در این تیمارها است، سازگار است. تحلیل‌های اخیر همچنین نشان داده‌اند که مدیریت صحیح کودهای نیتروژنی و گوگردی به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد گیاه می‌تواند به‌طور چشمگیری بر بهبود طول دوره گل‌دهی و عملکرد نهایی تأثیر بگذارد (Zhang et al., 2020). این نتایج تأکید می‌کند که ترکیب مناسب کودها و تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند به‌طور مؤثری به بهینه‌سازی عملکرد و کیفیت محصول کلزا کمک کند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول دوره رشد تحت‌تأثیر کودهای شیمیایی نیتروژنی و گوگردی (اثرات متقابل) در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین طول دوره رشد از تیمار مصرف تنظیم‌کننده رشد، ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم کود گوگردی (و بدون مصرف کود گوگردی) در هکتار با میانگین ۲۰۷ روز به دست آمد و کمترین مقدار نیز متعلق به تیمارهای عدم مصرف تنظیم‌کننده رشد، بدون استفاده از کود نیتروژن و کود گوگرد با میانگین ۱۹۲ روز ثبت شد (جدول ۵). معادله خطی برآش شده بر داده‌ها نشان داد که رابطه طول دوره رشد و دوره پر شدن دانه مستقیم است. بین مقادیر کودی، مقدار ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار با

میانگین طول دوره رویش ۲۰۶ روز بیشترین و مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۲۰۳ روز پس از شاهد کمترین طول دوره رویش را به خود اختصاص دادند (Rabiei et al., 2011). به‌کارگیری مقدار بیشتر نیتروژن در کلزا سبب افزایش رشد سبزینه‌ای شده و موجب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد خورجین و در نتیجه، باعث افزایش طول دوره رویش می‌گردد. ابراهیم و همکاران (Ibrahim et al., 1989) با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی تا مقدار ۲۱۳ کیلوگرم در هکتار، یک افزایش ثابت و تصاعدی در عملکرد کلزا مشاهده کردند و گزارش نمودند که طول دوره رسیدگی گیاه کلزا با مصرف بیشتر نیتروژن افزایش می‌یابد. با فرارسیدن دوره رشد سریع گیاه زراعی همراه با مرحله ساقه رفتن گیاه و افزایش تعداد برگ، شاخص سطح برگ روندی افزایشی دارد و در مرحله گل‌دهی به حداکثر مقدار خود می‌رسد، پس از آن به دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی، زرد شدن و پیری برگ‌های پایینی و فرآیند انتقال مجدد مواد به سمت اندام‌های زایشی، شاخص سطح برگ کاهش خواهد یافت (Taheri & Soleimani, 2015).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که طول دوره پر شدن دانه تحت تأثیر سال، تحت‌تأثیر تنظیم‌کننده رشد و کودهای شیمیایی نیتروژنی و گوگردی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین طول دوره پر شدن دانه از تیمار مصرف تنظیم‌کننده رشد، ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم کود گوگردی (و ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن و بدون مصرف کود گوگردی) در هکتار با میانگین ۸۲ روز به دست آمد و کمترین مقدار نیز متعلق به تیمارهای عدم مصرف تنظیم‌کننده رشد، بدون استفاده از کود نیتروژن و ۳۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد با میانگین ۷۳ روز ثبت شد (جدول ۵). نتایج پژوهش‌ها نشان دادند که افزایش کاربرد نیتروژن به‌جهت افزایش دوام سطح سبز فتوسنتزی پس از گل‌دهی و طول دوره پر شدن دانه شد (Safikhani et al., 2015). گزارش شده است که کمبود گوگرد، عملکرد دانه سویا را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دوره پر شدن دانه کاهش می‌دهد (Boem et al., 2007). افزایش کاربرد نیتروژن به‌جهت افزایش دوام سطح سبز فتوسنتزی پس از گل‌دهی و طول دوره پر شدن دانه باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود. دلیل این امر به افزایش در فرآیند فتوسنتز است، به‌طوری که کربوهیدرات‌ها و نیتروژن ذخیره‌شده در طول دوره گل‌دهی تعیین‌کننده میزان دانه‌بندی بوده و کمبود نیتروژن، وزن دانه را از طریق کاهش مواد فتوسنتزی کاهش می‌دهد.

(Moraditochae, et al., 2012).

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مدیریت تلفیقی تغذیه کلزا با استفاده از تنظیم کننده رشد، کود نیتروژن و گوگرد می تواند به طور معنی داری عملکرد و کیفیت محصول را در اراضی پس از برداشت برنج بهبود بخشد. بیشترین عملکرد دانه (۴۰۸۱ کیلوگرم در هکتار) و طولانی ترین دوره گل دهی (۳۱ روز) و رشد (۲۰۷ روز) در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن و ۷۰ کیلوگرم گوگرد همراه با تنظیم کننده رشد مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی داری بین ارتفاع گیاه و عملکرد دانه وجود داشت که اهمیت رشد رویشی مناسب در بهبود عملکرد را نشان می دهد. افزایش مصرف نیتروژن اگرچه درصد روغن را کاهش

داد، اما به دلیل افزایش عملکرد دانه، منجر به افزایش عملکرد روغن شد. رابطه معکوس بین درصد و عملکرد روغن مشاهده گردید، به طوری که بالاترین درصد روغن (۳۸ درصد) در عملکرد روغن ۶۱۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. این یافته ها اهمیت مدیریت دقیق تغذیه گیاه را در بهینه سازی تولید کلزا آشکار می سازد و پیشنهاد می کند که برای دستیابی به عملکرد مطلوب، استفاده متعادل از کودهای نیتروژن و گوگرد همراه با تنظیم کننده های رشد ضروری است. این نتایج می تواند راهنمای ارزشمندی برای کشاورزان در مدیریت مزارع کلزا باشد و به توسعه راهکارهای پایدار برای افزایش تولید روغن در کشور کمک کند. پیشنهاد می شود که در تحقیقات آینده، اثرات طولانی مدت این روش های مدیریتی بر حاصلخیزی خاک و پایداری تولید مورد بررسی قرار گیرد.

References

- Ahmad, G., Jan, A., Arif, M., & Khattak, R.A. (2007). Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University Science*, 8, 731-737. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0731>
- Ahmadi, M.R., & Javaidfar, F. (2000). Methods of Evaluation and Correction of Drought Resistance in Oil Species of *Brassica* Genus. (Translation). Publication of Agricultural Education, Karaj, Iran. 141 p. (in Persian).
- Asare, E., & Scarisbrick, D.H. (1995). Rate of nitrogen and sulfur fertilizers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crop Research*, 44(1), 41-46. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00051-7](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00051-7)
- Boem, F.H.G., Prystupa, P., & Ferraris, G. (2007). Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. *Plant Nutrition*, 30, 93-104. <https://doi.org/10.1080/01904160601055095>
- Chen, L., & Dick, W.A. (2011). Gypsum as an Agricultural Amendment: General Use Guidelines. Ohio State University Extension. Bulletin 945. 36 p.
- Das, J., Pathak, K., Das, S., Dey, J., & Debanth, A. (2020). Response of late sown rapeseed varieties for physiological traits under different levels of irrigation. *The Pharma Innovation Journal*, 10(2), 639-642. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i2i.5750>
- Fanaei, H.R., Kakha, G., Davtalab, N., & Sarananie, F. (2014). Evaluation of seed yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) genotypes in response to delay planting. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, 108, 65-73. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2015.106713>
- FAO. (2021). FAOSTAT. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Fismes, J., Vong, G., Guckert, P.C., & Frossard, E. (2000). Influence of sulphur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed grown on calcareous soil. *European Agronomy Journal*. 12, 127-141. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00052-0)
- Ghaderi, J., Malkuti, M.J., Khavazi, K., & Davoudi, M.H. (2017). Investigating the effect of applying elemental sulfur on the yield and some quality characteristics of blue wheat. *Physiology of Agricultural Plants*, 9(33), 69-94. (in Persian with English abstract).
- Habibi, M., Majidian, M., & Rabiei, M. (2014). The effect of zinc, zinc and sulfur elements on seed yield and fatty acid composition of rapeseed oil. *To-Agricultural Agriculture*, 16(1), 69-84. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2014.51943>
- Hasanzadeh Ghorttapeh, A., & Javadi, H. (2015). Studying the effects of nitrogen fertilizer application and inoculation with biological fertilizers (*Azospirillum* and *Azotobacter*) on yield, yield components and oil of spring rapeseed in West Azerbaijan. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 5(18), 39-49. (in Persian with English abstract).
- Hama, S.J. (2021). Effect of NPK levels on seed yield and oil contents of Rapeseed (*Brassica napus* L.) under

- Sulaimani Condition-Iraq Kurdistan Region. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences*, 21(2), 99-111. <https://doi.org/10.25130/tjas.21.2.11>
14. Ibrahim, A.F., Abusteit, E., & Metwall, E.M. (1989). Response of rape seed growth, yield, oil content and its fatty acids to nitrogen rates and application times. *Journal of Agronomy Crop Science Egypt*, 162: 107-112. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1989.tb00695.x>
15. Jamal, A., Moon, Y.S., & Abdin, M.Z. (2010). Sulphur: A general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Sciences*, 4, 523-529.
16. Khan, A., Bakhsh, A., & Morteza, G. (2021). GA3 Effects on Potato Growth. *Journal of Plant Physiology*, 258, 50-58.
17. Klockgether, J., Munder, A., & Tümmeler, B. (2011). Interspecies and interspecies diversity of *Pseudomonas aeruginosa*. *Clinical Microbiology Reviews*, 24 (2), 164-208.
18. Kumar, Vinod., Tyagi, Sh., Paul, S. C., Dubey1, S. K., Suman, Sh., 2018. Effect of sources and doses of sulphur on S uptake and yield of Mustard (*Brassica juncea* L.). *Intenational Journal Microbiol Science*, 7, 5042-5047.
19. Lee, C., Kim, J., & Park, S. (2021). Optimizing fertilizer use and growth regulators for enhancing rice yield and quality. *Agronomy Journal*, 113(4), 1882-1894.
20. Ljung, K. (2013). Auxin metabolism and homeostasis during plant development. *Development*, 140(5), 943-945. <https://doi.org/10.1242/dev.086363>
21. Majidian, M., Qalavand, A., Crimean, N.A., & Kamgar, A.A., (2008). Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. *Electronic Journal of Crop Production*, 1(2), 67-85. (in Persian with English abstract).
22. Malhi, S.S., & Gill, K.S. (2006). Cultivar and fertilizer S rate interaction effects on canola yield, seed quality and S uptake. *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 91-98. <https://doi.org/10.4141/P05-058>
23. Moraditochaee, M., Motamed, M.K., Azarpour, A., & Khosravi Danesh, R. (2012). Effects of Plant Density on Sweet and Baby Corn (Hybrid KSC 403) Yield and Yield Components. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7(2), 133-137. <https://doi.org/10.22067/GSC.V14I1.34172>
24. Mosavian, S.N., Eskandari, H. A., Mossadeghi, A.A., & Kazemi, K. (2022). The effect of the type of pre-sowing plant and different amounts of nitrogen fertilizer on the yield and quality of rapeseed oil. *Production and Processing of Crops and Livestock*, 12(4): 83-96. (in Persian with English abstract).
25. Mostafavirad, M., Nobahar, A., & Mahjub Khammami, A. (2018). Nutrition management in canola cultivation. Research and training center for agriculture and natural resources of Gilan province. Library registration number 54304. 24 p. (in Persian).
26. Motablipour, S., Ahmadi, M.R., & Jokar, L. (2000). Compatibility study and performance comparison of canola cultivars and lines in Zarghan (Persian). *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 2(3), 39-50. (in Persian with English abstract).
27. Ohara, N., Naito, Y., Kasama, K., Shindo, T., Yoshida, H., Nagata, T., & Okuyama, H. (2009). Similar changes in clinical and pathological parameters in Wistar Kyoto rats after a 13-week dietary intake of canola oil or fatty acid composition-based interesterified canola oil mimic. *Food Chemistry and Toxicology*, 47, 157-162. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.10.022>
28. Ortas, I., Iqbal, T., & Yücel, Y.C. (2019). Mycorrhizae enhances horticultural plant yield and nutrient uptake under phosphorus deficient field soil condition. *Journal of Plant Nutrition*. 42, 1152-1164. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609500>
29. Paseban Islam, B.M., Shakiba, R., Moghadam, M., & Ahmadi, M. R. (2001). The effects of water deficit stress on the quantitative and qualitative characteristics of oil turnip. *Scientific Research Journal of the University of Agriculture, Tabriz University*, 10, 4. (in Persian with English abstract).
30. Pérez-López, E., Duran, J., & López-Romero, J.M. (2015). Seaweed extracts as bio stimulants in agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 27(6), 2095-2106.
31. Pirasteh-Anosheh, & H., Emam, Y. (2019). The role of plant growth regulators in enhancing crop yield under saline conditions: from theory to practice. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 21(3): 188-209. (in Persian with English abstract).
32. Rabiei, M., Kavoosi, M., & Tousi Kehal, P. (2011). Investigating the effect of nitrogen fertilizer levels and its distribution time on seed yield and some agricultural traits of canola (Hyola number 401) in autumn cultivation in Gilan. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, 15(58): 199-212. (in Persian with English abstract).
33. Rameeh, V. (2014). Comparison of yield and other dependent traits of seed yield in spring and hybrid canola cultivars. The 8th Congress of Agriculture and Plant Breeding. Gilan University, Iran. 46 p. (in Persian).

34. Safari, M.R., Faraji, A., Dadashi, M.R., & Armin, M. (2021). The effect of nitroxin application and irrigation levels on quantitative and qualitative traits of rapeseed cultivars. *Plant Physiology*, 13 (44), 43-57. (in Persian with English abstract).
35. Safikhani, S., Biabani, A., Faraji, A., Rahmi Karizki, A., & Qolizadeh, A.A. (2015). The response of some agricultural characteristics of rapeseed cultivars to nitrogen fertilizer and planting date. *Ecophysiology of Agricultural Plants*, 9(3): 429-446. (in Persian with English abstract).
36. Seyedi, M., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of Rapeseed growth and yield under nitrogen fertilizer in rotation with Corn and Chickpea. *Journal of Plant Production Research*, 28(1): 81-91. <https://doi.org/10.22069/JOPP.2020.17248.2590>
37. Sieling, K., & Christen, O. (2015). Crop rotation effects on yield of oilseed rape, wheat and barley and residual effects on the subsequent wheat. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61, 16531-16549. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1017569>
38. Singh, M.V. (2001). Importance of sulphur in balanced fertilizer use in India. *Fertilizer News*, 46(10), 13-18, 31-35.
39. Singh, Y.P., Arora, S., Mishra, V.K., & Singh, A.K. (2022). Synergizing microbial enriched municipal solid waste compost and mineral gypsum for optimizing rice-wheat productivity in sodic soils. *Sustainability*, 14, 7809. <https://doi.org/10.3390/su14137809>
40. Smith, J., Johnson, L., & Davis, M. (2020). Effects of growth regulators and nitrogen fertilizers on grain filling rate in corn. *Journal of Agricultural Science*, 158(3): 245-259.
41. Soleimanzadeh, H., Latifi, N., & Soltani, A. (2007). Relationship between phenology and physiological traits with seed yield in different rapeseed cultivars under rainfed conditions. *Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(5): 25-38.
42. Statistics of the Ministry of Agricultural Jihad. (2022). Ministry of Jihad and Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center, Iran. 89 p.
43. Surendra, S., & Singh, A. (1991). Direct and residual effect of pyrites on yield, sulphur content and quality characters of groundnut. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 39(2), 328-331.
44. Taheri, A., & Soleimani, A. (2015). The effect of different levels of nitrogen fertilizer on light absorption in the canopy and growth indicators of rapeseed cultivars. *Journal of Agricultural Research*, 8(3), 235-258. (in Persian with English abstract).
45. Tedone, L., Ali, S.A., Verdini, L., & De Mastro, G. (2018). Nitrogen management strategy for optimizing agronomic and environmental performance of rainfed durum wheat under Mediterranean climate. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2058-2074. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.215>
46. Wang, L., Wang, Y., & Zhang, Y. (2024). Combined effects of organic and inorganic fertilizers on chlorophyll and growth performance in oilseed crops. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 26(1), 112-124.
47. Yahyapoor, H., Niknezhad, Y., Fallah, H., Dastan, S., & Barati, D. (2023). Effect of soil amendments on yield components, yield and seed oil percentage of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Production*, 13(1):15-29. (in Persian with English abstract).
48. Yaghoobi, S.R. (2020). Seaweed Extract: Innovation for Organic Agriculture. *Journal of Technical and Vocational University*, 17(2), 23-31. (in Persian).
49. Yaw, A.J., Richard, A., Osei, S., Kofi, H., Seth, O.D., & Adelaide, A. (2008). Chemical composition of groundnut, *Arachis hypogaea* (L) landraces. *African Journal of Biotechnology*, 7(13): 2203-2208.
50. Zhang, Y., Liu, H., & Wang, X. (2020). Effect of nitrogen fertilizer on grain yield and harvest index in rice. *Field Crops Research*, 244, 107-115.

Contents

Investigating the Feasibility of the Autumn Cultivation of Sugar beet (<i>Beta vulgaris</i> L.) in Marvdasht	1
Ali Mojab Ghasroddashti, Alireza Koocheki, Mehdi Nasiri Mahallati	
Evaluation of the Performance and Growth Indices of Green Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) and Black Cumin (<i>Nigella sativa</i> L.) in a Replacement Intercropping System	15
Mahna sadat Ghotb Sharif, Gorban Ali Asadi and Mohammad Javad Mostafavi	
Investigating The Efficiency of Different Cover Crops on Weed Populations and Yield and Yield Components of Soybean(<i>Glycine max</i> L.)	37
Ali Jafari, Behnam Kamkar, Asieh Siahmarguee, Javid Gherekhloo, Ebrahim Zeinali and Parisa Alizadeh Dehkordi	
Evaluation of Environmental Effects of Applied Pesticides on Canola (<i>Brassica napus</i> L.), Sugar Beet(<i>Beta vulgaris</i> L.) and Potato(<i>Solanum tuberosum</i> L.) Fields in Ali Abad Katool County Golestan Province by EIQ Model	61
Zahra Deilam, Hossein Kazemi, Maral Neiazmoradi, Javid Gherekholoo	
The Effect of Different Levels of Vermicompost and Chemical Fertilizer on some Quantitative and Qualitative Traits of Three Maize (<i>Zea mays</i> L.) Cultivars	91
Mohammad Akbari, Gholamreza Heidari, Shiva Khalesro and Mohammad Majidi	
Evaluation of SSM-wheat model in simulating the growth and development of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) cultivars in different planting densities	109
Ali Rahemi Karizeki, Faramarz Sayyedi, Habibollah Soughi, Arazqlych Moarfy, Mojtaba Salehi Shaikhi1 and Saeed Bagherikia	
Investigating the Effect of using Different Energy Sources on Environmental Indices in Edible Oil Processing	123
Seyed Yaser Rahmati Khorshidi, Hemmatollah Pirdashti, Ali Motevali, Seyed Hashem Samadi4 and Benyamin Khoshnevisan	
Analysis of Managements Factors Affecting Irrigated Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) Yield Gap in Different Regions of Lorestan Province using the Comparative Performance Analysis (CPA) Method	145
Alinazar Nazari, Afshin Soltani, Ebrahim Zeinali and Alireza Nehbandani	
The Effect of Nitrogen and Sulfur Fertilization in Combination with <i>Pseudomonas aeruginosa</i> and Seaweed on Agricultural Traits and Seed Yield of Rapeseed (<i>Brassica napus</i> L.) in Fields after Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Harvest	165
Seyyed Mohammad Akhgar, Naser Mohammadianroshan, Hamid Reza Doroudian, Majid Ashouri and Seyyed Mostafa Sadeghi	

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 17

No. 1

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>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol. 17 No. 1

Spring 2025

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

Contents

- Investigating the Feasibility of the Autumn Cultivation of Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Marvdasht 1**
Ali Mojab Ghasroddashti, Alireza Koocheki, Mehdi Nasiri Mahallati
- Evaluation of the Performance and Growth Indices of Green Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Black Cumin (*Nigella sativa* L.) in a Replacement Intercropping System..... 15**
Mahna sadat Ghotb Sharif, Gorban Ali Asadi and Mohammad Javad Mostafavi
- Investigating The Efficiency of Different Cover Crops on Weed Populations and Yield and Yield Components of Soybean(*Glycine max* L.)..... 37**
Ali Jafari, Behnam Kamkar, Asieh Siahmarguee, Javid Gherekhloo, Ebrahim Zeinali and Parisa Alizadeh Dehkordi
- Evaluation of Environmental Effects of Applied Pesticides on Canola (*Brassica napus* L.), Sugar Beet(*Beta vulgaris* L.) and Potato(*Solanum tuberosum* L.) Fields in Ali Abad Katool County Golestan Province by EIQ Model..... 61**
Zahra Deilam, Hossein Kazemi, Maral Neiazmoradi, Javid Gherekholoo
- The Effect of Different Levels of Vermicompost and Chemical Fertilizer on some Quantitative and Qualitative Traits of Three Maize (*Zea mays* L.) Cultivars 91**
Mohammad Akbari, Gholamreza Heidari, Shiva Kholesro and Mohammad Majidi
- Evaluation of SSM-wheat model in simulating the growth and development of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in different planting densities 109**
Ali Rahemi Karizeki, Faramarz Sayyedi, Habibollah Soughi, Arazqlych Moarfy, Mojtaba Salehi Shaikhi1 and Saeed Bagherikia
- Investigating the Effect of using Different Energy Sources on Environmental Indices in Edible Oil Processing 123**
Seyed Yaser Rahmati Khorshidi, Hemmatollah Pirdashti, Ali Motevali, Seyed Hashem Samadi and Benyamin Khoshnevisan
- Analysis of Managements Factors Affecting Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield Gap in Different Regions of Lorestan Province using the Comparative Performance Analysis (CPA) Method 145**
Alinazar Nazari, Afshin Soltani, Ebrahim Zeinali and Alireza Nehbandani
- The Effect of Nitrogen and Sulfur Fertilization in Combination with *Pseudomonas aeruginosa* and Seaweed on Agricultural Traits and Seed Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Fields after Rice (*Oryza sativa* L.) Harvest..... 165**
Seyyed Mohammad Akhgar, Naser Mohammadianroshan, Hamid Reza Doroudian, Majid Ashouri and Seyyed Mostafa Sadeghi