Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, Sep.-Oct. 2024, p. 445-461

Investigating the Effect of Tillage and Fertilization on the Yield and Yield Components of Safflower (*Carthamus tinctorius*) under Rainfed Conditions

D. Parmah[1], H.R. Chaghazardi[2*], F. Mondany[3], A. Beheshti Ale Agha[4], D. Kahrizi[5]

1, 2, 3 and 5- M.Sc. of Ecology (Agroecology), Assistant Professor, Associate Professor and Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: h.chaghazardi@razi.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 18-02-2024
Revised: 29-06-2024
Accepted: 29-06-2024
Available Online: 29-06-2024

How to cite this article:
Parmah, D., Chaghazardi, H.R., Mondany, F., Beheshti Ale Agha, A., & Kahrizi, D. (2024). Investigating the effect of tillage and fertilization on the yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius*) in rainfed conditions. *Journal of Water and Soil*, *38*(4), 445-461. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86923.1387

Introduction

Optimum yield production under rainfed cultivation directly depends on the amount of rainfall and moisture storage in the soil. The tillage system directly influences soil moisture retention as well as the soil's physical and chemical properties. Selecting the appropriate tillage system can significantly impact crop yields. Oilseeds are particularly important among crops, representing the second-largest food reserve in the world after grains. These products are rich in fatty acids. Today, the oil extraction and production industry is one of the most strategic industries in most countries. Iran has vast arable land and favorable conditions for cultivating oilseeds. However, according to available statistics, over 80% of the country's oil needs are met through imports. Given the increasing demand for higher-quality oil products and the challenges posed by climate issues, such as recurring droughts, cultivating and developing crops with lower water requirements and greater resilience appears to be a promising solution. Implementing effective management practices and appropriate fertilizers aligned with conservation agriculture could help increase crop yields while maintaining and improving long-term soil quality. To explore the potential of oilseed cultivation, an experiment was conducted to examine the effects of tillage and fertilization on the yield and yield components of safflower under rainfed conditions.

Materials and Methods

This experiment was carried out as split plots based on random complete blocks design, with three replications under rainfed conditions. The treatments included tillage systems (conventional tillage, reduced tillage, and no-tillage) as the main factor and NPK fertilizer (a mixture of urea, triple superphosphate, and potassium sulfate) at four levels of zero, 33, 66, and 100% as a secondary factor. Potassium and phosphorus fertilization and 50% of nitrogen fertilizer were used at the same time as planting, and the remaining 50% of nitrogen fertilizer was used four months after planting. Each block had three main plots; the distance between each block was 3 meters, and between the main plots was 2 meters. In each main plot, four sub-plots were created, and the distance between the sub-plots was 1 meter. The area of the main plots was 21 × 15 meters, and the area of each sub-plot was 4.5 ×15 meters. The amount of seed used for safflower was 25 kg per hectare. The safflower seeds were sown in 5 rows and planted at a distance of 50 cm and a distance between plants of 10 cm. At all stages of planting, maintenance, and harvesting, agricultural management followed the traditional practices of the study area, as performed by the local farmers. The final sampling, or harvesting, was carried out manually at the physiological maturity stage. Before conducting

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86923.1387

variance analysis, a normality test was performed on the data. In this research, the LSD test was used to compare the mean at the 5% probability level, Excel software was used to draw graphs, and SAS 9.4 software was used to analyze the data.

Results and Discussion

The research showed that the traits examined, including leaf area index, dry matter content, thousand seed weight, seed yield, and biological yield, were affected by the tillage system, fertilizer, and their interaction effect. The highest safflower seed yield of 195.6 g/m^2 was obtained from the fertilizer ratio of 33% and conventional tillage, and the lowest seed yield of 116.2 g/m^2 was obtained from no-tillage and no fertilizer use. The results indicated that the conventional tillage system outperformed both reduced tillage and no-tillage systems. In reduced and no-tillage systems, the changes in the leaf area index of the safflower plant were similar, with the 100% fertilizer application under reduced tillage having a more pronounced effect compared to no-tillage. Additionally, in the absence of fertilizer in the no-tillage system, the leaf area index was lower. Fertilizer application increased the plant's biological yield, but its impact was greater under conventional tillage compared to reduced and no-tillage systems. Applying 33% of the required fertilizer in the conventional tillage system resulted in the highest biological yield for safflower, leading to a 94% increase in biological performance compared to the control.

Conclusion

In most of the examined traits, the application of 33 and 66% of the fertilizer requirement caused the best results, and the 100% fertilizer ratio left adverse effects, which indicates the lower fertilizer requirement of this cultivar in the studied conditions compared to cultivars in other regions. Since the research was conducted in rainy years, conventional tillage was better than low tillage. It is suggested that this plant's production amount be evaluated under different irrigation conditions and moisture limitations so that tillage systems and management methods can be examined and selected more carefully.

Keywords: Conservation agriculture, Conventional tillage, Crop management, No-tillage, Oilseeds

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۳، ص. ۴۴۵-۴۶۱

بررسی تأثیر خاک‌ورزی و کوددهی بر اساس نیاز گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) در شرایط دیم

دنیا پرماه[۱]- حمیدرضا چقازردی[۲*]- فرزاد مندنی[۳]- علی بهشتی آل آقا[۴]- دانیال کهریزی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

چکیده

تولید عملکرد مطلوب در کشت دیم به‌طور مستقیم به میزان بارندگی و ذخیره رطوبت در خاک بستگی دارد. سیستم خاک‌ورزی به‌طور مستقیم بر محتوی ذخیره رطوبتی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارد و انتخاب سیستم مناسب خاک‌ورزی درنهایت عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین منظور و با توجه به ارزش کشت گیاهان دانه روغنی، آزمایشی برای بررسی تأثیر خاک‌ورزی و کوددهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط دیم انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به‌صورت دیم انجام گردید. تیمارها شامل سامانه‌های خاک‌ورزی (خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بی‌خاک‌ورزی) به‌عنوان عامل اصلی و کود NPK (مخلوطی از کودهای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم)، در چهار سطح صفر، ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد به‌عنوان عامل فرعی بودند. در تمام مراحل کاشت، داشت و برداشت تمام مدیریت‌های زراعی بر اساس مدیریت مرسوم منطقه مورد بررسی و به شیوه کشاورز صورت گرفت. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری نهایی یا برداشت به‌صورت دستی انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، میزان ماده خشک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی، کود و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفتند. بالاترین عملکرد دانه گلرنگ به میزان ۱۹۵/۶ گرم در متر مربع از نسبت کودی ۳۳ درصد و خاک‌ورزی مرسوم و کمترین عملکرد دانه به میزان ۱۱۶/۲ گرم در متر مربع نیز از بی خاک‌ورزی و عدم مصرف کود حاصل شد. نتایج نشان داد که سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نتیجه بهتری داشت. در بیشتر صفات مورد بررسی کاربرد نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد نیاز کودی سبب بهترین نتیجه شده و نسبت کودی ۱۰۰ درصد تأثیرات منفی بر جای گذاشته است که این امر نشان دهنده نیاز کودی کمتر این رقم در شرایط مورد مطالعه نسبت به ارقام در مناطق دیگر می‌باشد. با توجه به این‌که پژوهش در سال‌های پرباران انجام شد، خاک‌ورزی مرسوم بهتر از کم خاک‌ورزی بوده است. پیشنهاد می‌شود میزان تولید این گیاه در شرایط آبیاری‌های مختلف و محدودیت رطوبتی ارزیابی شود تا سیستم‌های خاک‌ورزی و روش‌های مدیریتی با دقت بیشتری بررسی و انتخاب شوند.

واژه‌های کلیدی: بی‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی مرسوم، دانه روغنی، کشاورزی حفاظتی، مدیریت زراعی

مقدمه

در تولید محصولات زراعی تقریباً ۳۰ درصد از انرژی مصرف شده مربوط به خاک‌ورزی است (Tabatabaeefar Singh *et al.*, 2008; *et al.*, 2009) خاک‌ورزی حفاظتی به‌دلیل حفظ رطوبت خاک، صرفه‌جویی در مصرف سوخت و نیروی کارگری و ایجاد پایداری در تولید محصول و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه محققان و کشاورزان است، بر همین اساس کشاورزان با توجه به مسائل

۱، ۲، ۳ و ۵- به‌ترتیب کارشناسی ارشد اکولوژیک (اگرواکولوژی)، استادیار، دانشیار و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: h.chaghazardi@razi.ac.ir
۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86923.1387

اقتصادی و زیست‌محیطی، تمایل زیادی به استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی دارند (Busari *et al*., 2015).

سامانه‌های کشاورزی حفاظتی می‌تواند موجب ایجاد کارایی در نهاده‌های اولیه، افزایش درآمد از مزرعه، بهبود شرایط پایدار تولید محصول و موجب حفظ و بازسازی مجدد خاک و منابع زیرزمینی شود. خاک‌ورزی حفاظتی روشی برای نگه‌داری آب در زمین و همچنین کاهش هزینه‌های تولید و افزایش مواد آلی خاک است. شیوه‌های رایج آماده‌سازی خاک و روش‌های مدیریت علف‌های هرز، نه تنها موجب تخریب ساختمان طبیعی خاک شده، بلکه باعث کاهش مواد غذایی و رطوبت، تغییر فرآیند زیستی و فشردگی خاک می‌شود (Khan *et al*., 2017). هدف از خاک‌ورزی در سیستم‌های کشاورزی فراهم کردن شرایط فیزیکی مناسب برای جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه است (Bayat *et al*., 2019; Ordoñez-Morales *et al*., 2019). عملیات خاک‌ورزی فشرده ممکن است به از بین رفتن ساختار خاک به‌دلیل از بین رفتن تدریجی خاکدانه‌های پایدار منجر شود و منجر به فرسایش و متراکم شدن خاک شود که باعث دسترسی کم رطوبت برای محصولات می‌شود (Nunes *et al*., 2020; Castellini & Ventrella, 2012).

نتایج پژوهشی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه سویا در تیمارهای وجود بقایا با خاک‌ورزی، وجود بقایا بدون خاک‌ورزی و حذف بقایا با خاک‌ورزی است. بیشترین درصد روغن دانه سویا نیز در تیمارهای بدون خاک‌ورزی با مصرف ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، انجام خاک‌ورزی با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، انجام خاک‌ورزی با مصرف ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد. نتایج آزمایش نشان داد که در کشت سویا واکنش عملکرد دانه به افزایش مصرف کود نیتروژن مثبت نبود و وجود بقایا تأثیر معنی‌داری مثبتی بر عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت (Safahani *et al*., 2017).

در بررسی اثر مقادیر کود نیتروژن (صفر، ۷۵، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در گیاه گلرنگ، تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در طول فصل رشد بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد و با دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین مقدار این شاخص در زمان دریافت ۸۰۰ درجه روز رشد با میانگین ۳/۱ بود که تقریباً مصادف با اوایل گلدهی گیاه بود (Hasanvandi *et al*., 2013).

وزن هزار دانه آفتابگردان در سیستم بدون خاک‌ورزی نسبت به سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته و مرسوم کمتر بود، در حالی بین سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته و مرسوم از لحاظ آماری تفاوت معنی دار وجود نداشت (López-Garrido *et al*., 2014). کاهش اجزای عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی را احتمالاً می‌توان به کاهش عملکرد زیستی و درنتیجه کم بودن سطوح فتوسنتز کننده در زمان پر شدن دانه‌ها نسبت داد. همچنین به نظر می‌رسد که کاهش مراحل مختلف نمو گیاه در اثر کاهش دمای خاک می‌تواند دلیلی برای کاهش وزن هزار دانه در سیستم بدون خاک‌ورزی باشد (Lv *et al*., 2024).

افزایش کاربرد نیتروژن، موجب افزایش شاخص سطح برگ و تعداد شاخه جانبی می‌شود که این امر با افزایش میزان تولید مواد فتوسنتزی و دوره گلدهی و درنتیجه افزایش تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کلزا همراه می‌باشد (Ma & Herath, 2016). با افزایش مصرف کود نیتروژن شاخص برداشت کاهش پیدا می‌کند. استفاده بیش از حد از کود نیتروژن موجب افزایش عملکرد دانه شده ولی بیش از آن، رشد رویشی و شاخ و برگ گیاه را بیشتر نموده و درنتیجه باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود (Yu & Li, 2019).

عوامل زیادی بر بهره‌وری تولید گیاه گلرنگ تأثیر می‌گذارند، اما مهم‌ترین آن‌ها کوددهی، رطوبت خاک (Omidi & Sharifmogadas, 2010)، میزان بذر (Mojiri & Arzani, 2003) و سیستم خاک‌ورزی (Iboyi *et al*., 2021) است. در بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن (صفر، ۷۵، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در گیاه گلرنگ، تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در طول فصل رشد بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد (Shahrokhnia & Sepaskhah, 2017). میراسکندری (Mirshekari, 2010) در تحقیقی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ را بررسی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که از نظر درصد سبز شدن بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود داشته، ولی از نظر اجزای عملکرد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

در حال حاضر، در بین محصولات زراعی دانه‌های روغنی اهمیت خاصی دارند و پس از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات دارای ذخایر غنی از اسیدهای چرب هستند (Singh & Nimbkar, 2016). امروزه صنعت روغن‌کشی و تولید روغن در اغلب کشورهای جهان جز صنایع راهبردی محسوب می‌شود. در ایران نیز اراضی قابل کشت وسیع و زمینه‌های مساعدی برای کشت دانه‌های روغنی وجود دارد اما بر اساس آمارهای موجود بیش از ۸۰ درصد روغن مورد نیاز کشور از خارج تأمین می‌شود.

با توجه به اینکه کشور ما از یک‌سو نیازمند محصولات روغنی بیشتر و با کیفیت‌تر بوده و از سوی دیگر درگیر مسائل و مشکلات اقلیمی ازجمله خشک‌سالی‌های متوالی (Madani *et al*., 2016) است به نظر می‌رسد کشت و توسعه گیاهان با نیاز آبی کمتر و مقاومت بالا و ارائه روش‌های مدیریتی و کودی مناسب در راستای کشاورزی حفاظتی راهکاری مناسب برای افزایش عملکرد محصولات و نیز حفظ و افزایش کیفیت خاک در طولانی‌مدت باشد. برای همین منظور این پژوهش با هدف بررسی تأثیر خاک‌ورزی و کوددهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد، زمین در فضل زراعی قبلی آیش بود. پارامترهای هواشناسی در سال اجرای آزمایش در ایستگاه کرمانشاه در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به‌صورت دیم انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سامانه‌های خاک‌ورزی (خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بی‌خاک‌ورزی) به‌عنوان عامل اصلی، کود NPK در چهار سطح صفر، ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد به‌عنوان عامل فرعی بودند. تیمار کودی مخلوطی از کودهای اوره، کود سولفات پتاسیم و کود سوپر فسفات تریپل به ترتیب با نسبت‌های ۴۶، ۴۶ و ۸ درصد بود. مقدار کودهای موجود در مخلوط کودی بر اساس نیاز گیاه گلرنگ تعیین شدند. تیمارهای کود مصرفی شامل صفر درصد (صفر کیلوگرم در هکتار)، ۳۳ درصد (۱۵۱/۸ کیلوگرم در هکتار)، ۶۶ درصد (۳۰۳/۶ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰۰ درصد (۴۶۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. کوددهی سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل و ۵۰ درصد کود اوره به‌صورت پایه هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد باقی‌مانده کود اوره به‌صورت سرک ۴ ماه بعد از کاشت استفاده شد.

هر بلوک دارای سه کرت اصلی بود و فاصله بین هر بلوک ۳ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت اصلی، چهار کرت فرعی ایجاد شد که فاصله بین کرت‌های فرعی ۱ متر بود. مساحت کرت‌های اصلی ۱۵× ۲۱ متر و مساحت هر کرت فرعی ۱۵×۴/۵ متر بود. مقدار بذر مصرفی برای گلرنگ ۲۵ کیلوگرم در هکتار که از مرکز تحقیقات دیم سرآرود تهیه شده بود (مقدار کاشت بذر در نشریه فنی کشت گلرنگ دیم در مناطق سرد و معتدل سرد کشور بین ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم در هکتار ذکر شده است) (Jabari *et al.*, 2023). بذرهای گلرنگ در ۵ ردیف خط کاشت و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۱۰ سانتی‌متر در ۱۳ آبان ماه کشت شدند. قبل از انجام کشت نمونه‌های مرکب به‌صورت تصادفی از خاک مزرعه تهیه شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت با روش‌های علمی و تأیید شده (Estefan, 2013)، تعیین شدند (جدول ۲).

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی در سال اجرای آزمایش در ایستگاه کرمانشاه

Table 1- The meteorological parameters in meteorological stations in Kermanshah Province

ماه Month		میزان بارندگی Rainfall amount (mm)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای متوسط Average temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)
آبان	October	125.3	6.8	12.3	17.7
آذر	November	104	3.4	7.4	11.6
دی	December	41.5	-1.3	4.5	10.2
بهمن	January	96.3	-0.5	5.4	11
اسفند	February	79.1	0.1	6.5	12.2
فروردین	March	194.8	4.7	10.4	16.2
اردیبهشت	April	17.5	6.6	16.7	24.4
خرداد	May	0	13	26	34
تیر	June	0	16.6	29.9	38.7

جدول ۲- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

Table 2- The results of physical and chemical properties of soil at a depth of 0 to 30 cm

EC (dS/m)	pH	بافت خاک Soil texture	نیتروژن کل Total Nitrogen	کربن آلی Organic carbon	فسفر قابل جذب Available Phosphorus	پتاسیم قابل جذب Available Potassium
			(%)		(mg/kg)	
0.86	7.4	clay loam	0.097	0.97	12	480

عمق کاشت دانه گلرنگ ۳ تا ۴ سانتی‌متر بوده برای اجرای طرح آزمایشی، ابتدا عملیات آماده‌سازی زمین و خاک‌ورزی انجام شد. برای این منظور از یک تراکتور MF399 جفت دیفرانسیل جهت انجام شخم مرسوم، بی‌خاک‌ورزی و سپس دیسک زنی مرسوم استفاده گردید. لازم به ذکر است. برای انجام عملیات خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار، برای کم خاک‌ورزی از چیزل پنجه غازی و برای بی‌خاک‌ورزی از روش کشت مستقیم با کارنده خطی کار استفاده شد.

در مراحل کاشت، داشت و برداشت تمام مدیریت‌های زراعی بر اساس مدیریت مرسوم منطقه مورد بررسی و به شیوه کشاورز صورت گرفت. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نمونه‌برداری نهایی یا برداشت به‌صورت دستی انجام شد. جهت برداشت نمونه‌ها از کوادرات ۱ متر مربعی استفاده شد به این طریق که ۱۰ نمونه از خطوط میانی کرت‌ها توسط کوادرات ۱ متر مربعی به‌صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه-ای برداشت گردید. مرحله نمونه‌برداری تخریبی در اواسط اردیبهشت ماه انجام شد که هدف از این عملیات اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (شاخص سطح برگ در ابتدای شروع گلدهی در یک مرحله توسط دستگاه Leaf area meter CI 202-CID USA اندازه‌گیری شد) و وزن خشک کل بود. برای این منظور فاصله نمونه‌برداری‌ها ۱۰ روز یک‌بار در نظر گرفته شد که درمجموع ۵ مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت. به‌منظور نمونه‌برداری تخریبی از خطوط میانی کرت‌ها توسط کوادرات ۱ متر مربعی، برای گلرنگ ۳ نمونه انتخاب شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اجزای نمونه‌ها مانند برگ، ساقه، برگ‌های زرد و ... از هم جدا شدند و وزن خشک و شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شد. از نمونه‌های برداشت شده به روش تخریبی برای محاسبه وزن خشک استفاده شد. برای خشک‌کردن، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک هر نمونه به‌طور مجزا اندازه‌گیری شد. سپس صفات شاخص سطح برگ (Khadempir *et al*., 2014)، وزن هزار دانه، عملکرد دانه (معادله ۱) و عملکرد زیستی گیاه گلرنگ اندازه گیری شدند.

$$YG = m \times 10^4 \quad (۱)$$

YG عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار

m وزن دانه برحسب کیلوگرم

در طول فصل رشد شاخص‌های رشد بر اساس درجه روز رشد (GDD[1]) مطابق معادله (۲) محاسبه شدند (Jones *et al*., 2003).

$$GDD = [(Tmin+Tmax)/2] - Tb \quad (۲)$$

Tmax حداکثر دمای روزانه Tmin حداقل دمای روزانه

Tb دمای پایه بوده که برای گیاه گلرنگ ۵ درجه سانتی‌گراد است (Streck *et al*., 2005).

1- Growing degree days

قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرونوف و همگنی واریانس تیمارها با استفاده از آزمون لون به کمک نرم‌افزار SPSS 25، در سطح ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق برای مقایسه میانگین از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد و همچنین برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 استفاده گردید.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس شاخص سطح برگ در مقدار بیشینه نیز مشخص نمود که در این زمان شاخص سطح برگ تحت تأثیر خاک‌ورزی (سطح احتمال ۱ درصد)، کود (سطح احتمال ۱ درصد) و اثرات متقابل آن‌ها (سطح احتمال ۵ درصد) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج روند تغییرات سطح برگ گلرنگ در انواع مختلف خاک‌ورزی و نسبت‌های مختلف کودی در شکل ۱ قابل مشاهده است. تغییرات این روندها مشخص نمود که در خاک‌ورزی مرسوم، بالاترین شاخص سطح برگ گلرنگ مشاهده شد. در ماه‌های ابتدایی رشد، بین نسبت-های مختلف کود و شخم‌ها تفاوت قابل‌توجه وجود نداشت، ولی با رسیدن شاخص سطح برگ به مقدار بیشینه در ۱۲۰۰ درجه – روز در گلرنگ بعد از کاشت، اختلاف‌ها قابل‌توجه شد. به‌طوری‌که در خاک‌ورزی مرسوم در نسبت‌های کودی ۳۳ و ۶۶ درصد شاخص سطح برگ گلرنگ به محدوده ۴ رسیده که بیشترین شاخص سطح برگ در این گیاه بوده و بعد از این زمان، شاخص سطح برگ در گیاه گلرنگ کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد در خاک‌ورزی کاهش یافته و بدون خاک‌ورزی روند تغییرات شاخص سطح برگ گیاه گلرنگ تفاوت زیادی نداشته و تنها در گلرنگ نسبت کودی ۱۰۰ درصد در خاک‌ورزی کاهش‌یافته تأثیر بیشتری نسبت به بی‌خاک‌ورزی داشت، همچنین در شرایط عدم مصرف کود در بی‌خاک‌ورزی شاخص سطح برگ کمتر بود. به‌طور کلی در خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بی‌خاک‌ورزی نسبت کودی ۶۶ درصد بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد. به‌طوری‌که بالاترین شاخص سطح برگ گلرنگ در خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب در محدوده ۳/۵ و ۲/۷ بود (شکل ۱).

طبق نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل، همواره مصرف کود سبب بهبود شاخص سطح برگ شده و نوع خاک‌ورزی بر این تأثیرات نقش مثبتی داشت. مصرف ۶۶ درصد کود و خاک‌ورزی مرسوم بالاترین شاخص سطح برگ بیشینه را به خود اختصاص داد و در نسبت‌های ۳۳ درصد و ۱۰۰ درصد تأثیرات کاهش پیدا کرد (شکل ۲). همچنین کمترین شاخص سطح برگ بیشینه نیز از بی‌خاک‌ورزی

و عدم مصرف کود حاصل شد که شاخص سطح برگ بیشینه ۲/۲ برآورد شد (شکل ۲).

در پژوهشی گزارش شد که بالاترین شاخص سطح برگ در گیاه گلرنگ در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مشاهده شده و بیشترین مقدار این شاخص نیز در زمان دریافت ۸۰۰ درجه روز رشد بود که تقریباً مصادف با اوایل گلدهی گیاه می‌باشد (Hasanvandi *et al.*, 2013) که با نتایج ما همخوانی نداشت و دلیل این تفاوت می تواند نوع رقم به کار رفته باشد. همچنین گزارش شد، افزایش شاخص سطح برگ لوبیا سبز در اثر مصرف سطوح مختلف نیتروژن در ابتدا تدریجی بوده و در ادامه با گسترش سطح برگ توسط گیاه، با سرعت زیادی افزایش یافت و در مرحله گلدهی به حداکثر خود رسید (Lack *et al.*, 2015) که با نتایج ما در این مطالعه نیز مطابقت دارد. افشون و همکاران (Afshoon *et al.*, 2021) نیز گزارش کردند کود نیتروژن (سطح ۱۰۰ درصد) تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ گیاه ذرت علوفه‌ای داشته به‌طوری‌که بیشترین مقدار شاخص سطح برگ با کاربرد ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن در خاک‌ورزی مرسوم حاصل شد. محققان بیان نمودند، با افزایش مصرف نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) سطح برگ بیشتری به وجود آمده که خود با جذب تشعشع بیشتر نور خورشید، موجب افزایش میزان فرآیند فتوسنتز در گیاه لوبیا شده و درنهایت ماده خشک بیشتری تولید شد (Gan *et al.*, 2008; Mousavi *et al.*, 2005). تأثیرات مثبت خاک‌ورزی می‌تواند به دلیل وضعیت رشدی بهتر جامعه گیاهی گندم در سیستم خاک‌ورزی مرسوم از طریق بهبود سیستم گسترش ریشه در اثر افزایش نفوذ در خاک و افزایش جذب آب و عناصر غذایی از خاک باشد. در اکثر گیاهان شاخص سطح برگ در مرحله‌ی گلدهی به بیشترین مقدار خود رسید که این افزایش با افزایش سایه‌انداز گیاهی و کاهش نفوذ نور به درون سایه‌انداز گیاهی همراه بود که سبب کاهش وزن خشک برگ‌های پایینی و از بین رفتن آن‌ها خواهد شد. با نزدیک شدن به پایان فصل رشد و بعد از مرحله گلدهی شاخص سطح برگ کاهش یافته که این امر در سطوح پایین‌تر نیتروژن شدیدتر می‌شود. بدیهی است که فرآیندهای فتوسنتزی گیاه که باعث ایجاد عملکرد می‌شوند عمدتاً در برگ صورت گرفته و هر عاملی که بر شاخص سطح برگ تأثیر می‌گذارد به میزان زیادی بر عملکرد نیز مؤثر خواهد بود. علت افزایش شاخص سطح برگ درنتیجه افزایش کود نیتروژن تأثیر این عنصر بر تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها عنوان شده است که موجب گسترش سطح برگ در گیاه و افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (Malakouti & Homaee, 2004).

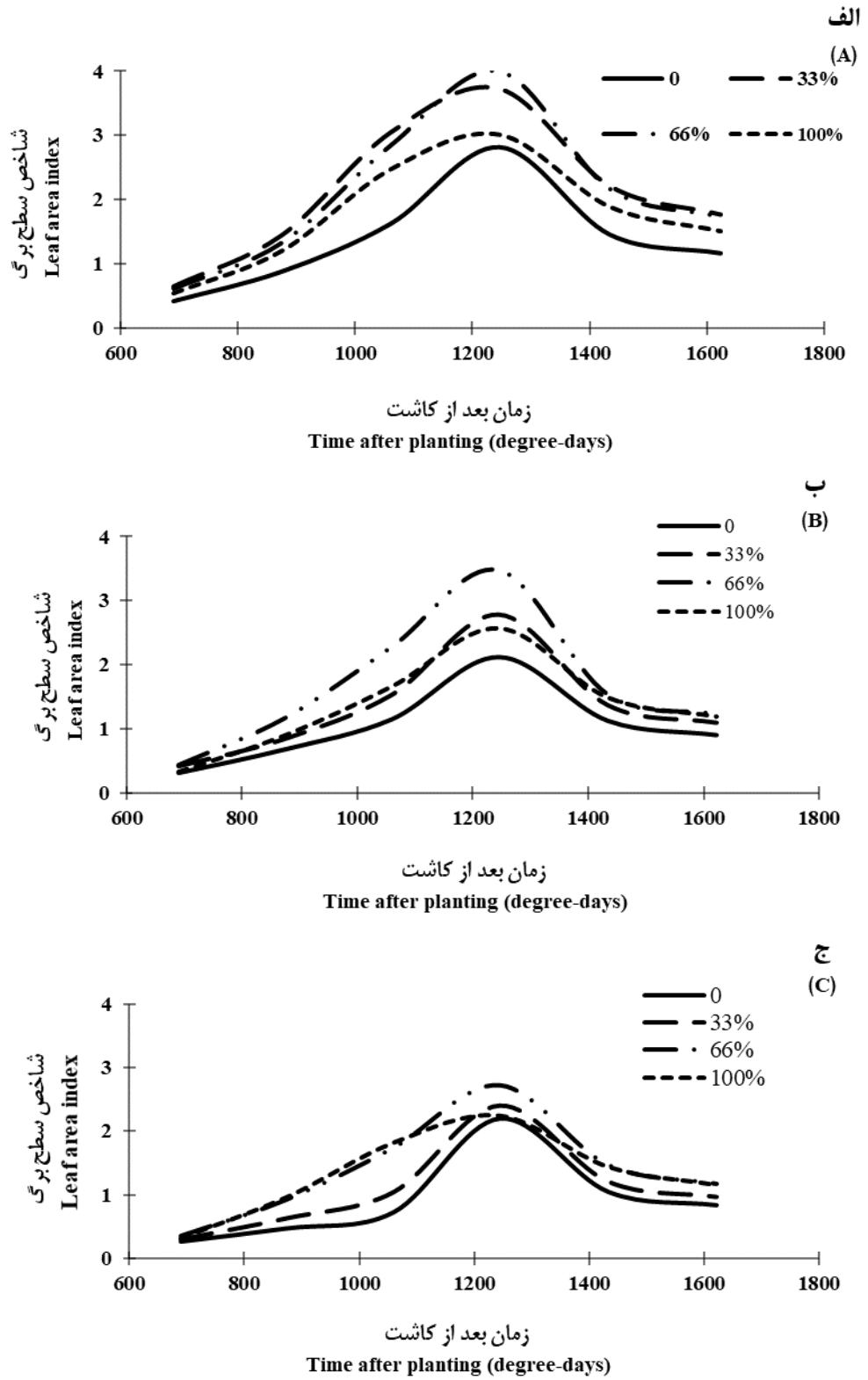
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر شاخص سطح برگ، ماده خشک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیستی گلرنگ

Table 3- The results of variance analysis of the effect of treatments on leaf area index, dry matter, thousand seed weight, seed yield and biological yield of safflower

Sources of variance منابع تغییرات	df	میانگین مربعات Mean square				
		شاخص سطح برگ Leaf area index	ماده خشک Dry matter	وزن هزار دانه Thousand seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield
بلوک Block	2	0.018 ns	3990.2 ns	16.32 ns	17446.53 ns	19791.18 ns
خاک‌ورزی Tillage	2	3.236 **	285413.4 **	254.33 *	833773.6 **	4349977.8 **
خطای اصلی Whole-plot error	4	0.034	2081.1	15.82	22784.9	318122.6
کود Fertilizer	3	1.886 **	92698.3 **	110.42 **	365973.9 **	16217824 **
خاک‌ورزی×کود Tillage × Fertilizer	6	0.153 *	22897.2 **	36.22 **	64150.2 **	3068633.9 **
خطای فرعی Split-plot error	18	0.04	5046.2	6.68	7864.5	247383.9
درصد ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	–	7	20.7	6.4	5.8	10.2

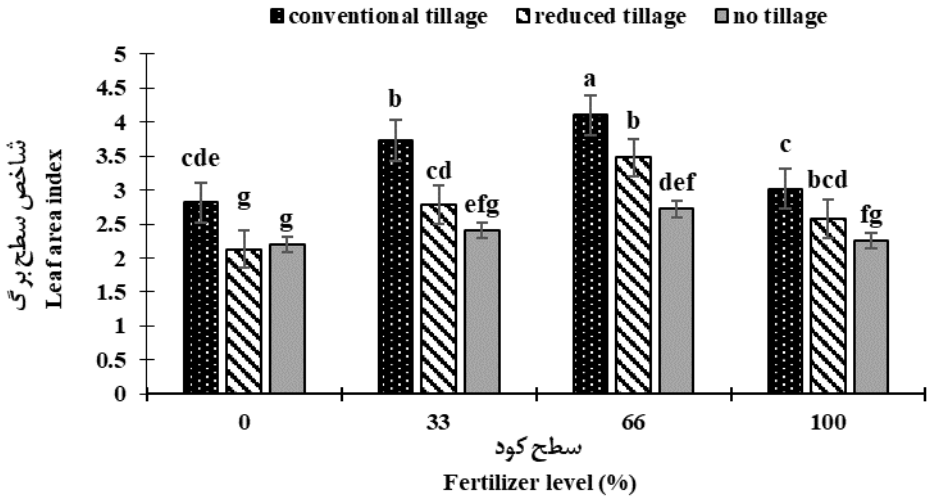
**و * به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

**and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively.



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ گلرنگ در خاک‌ورزی و نسبت‌های مختلف کود. الف) خاک‌ورزی مرسوم، ب) خاک‌ورزی کاهش‌یافته و ج) بی‌خاک‌ورزی

Figure 1- The trend of safflower leaf are index changes in tillage and different fertilizer ratios a) conventional tillage, b) reduced tillage and c) no tillage



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و کود بر بیشینه شاخص سطح برگ گلرنگ

(حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD=۰/۱۹). همچنین نوارهای خطا، میزان تغییرپذیری داده‌ها و نزدیکی به میانگین را نشان می‌دهد).

Figure 2- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on the maximum leaf area of safflower

(Different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD=0.19). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average).

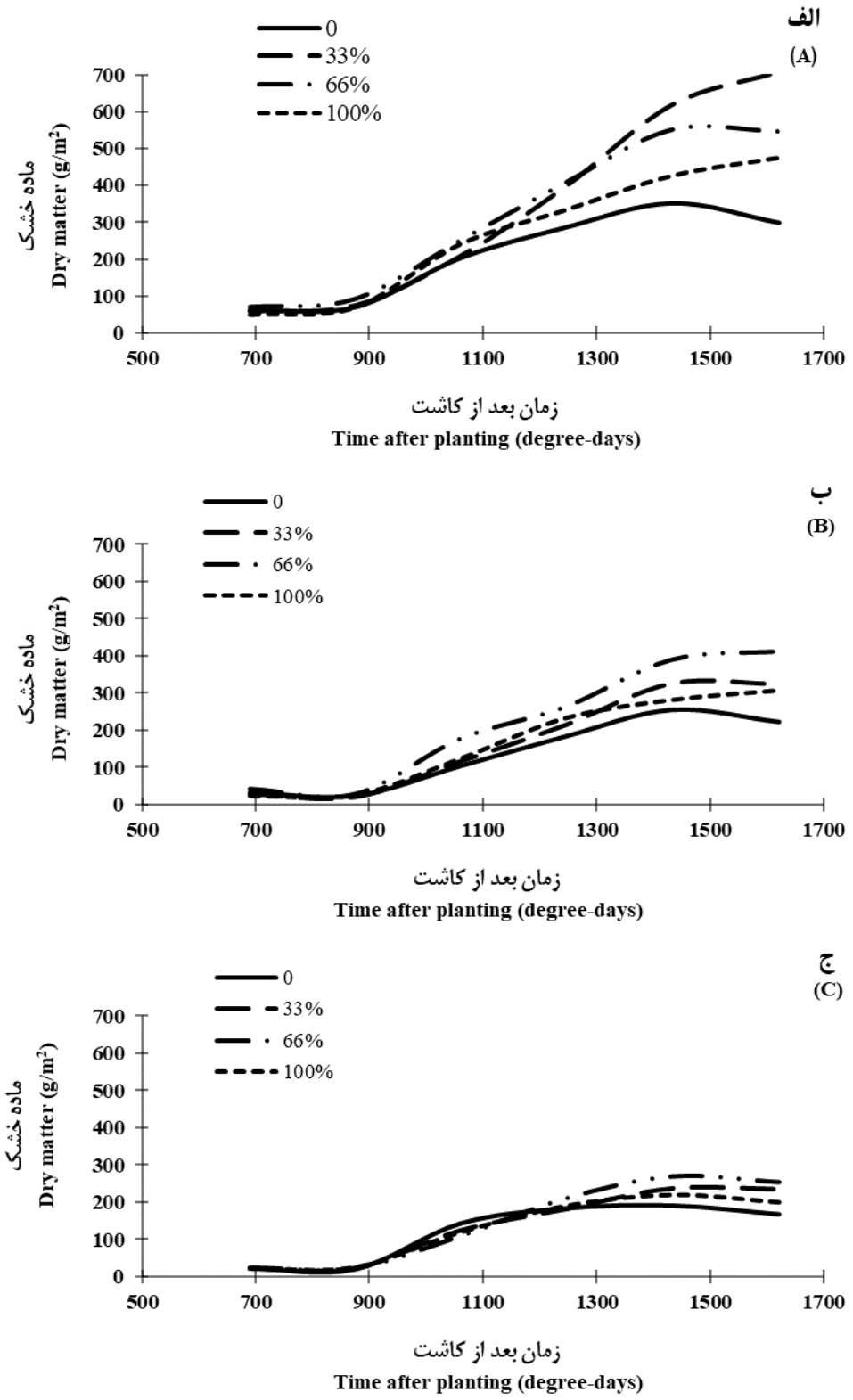
ماده خشک کل

نتایج مربوط به روند تغییرات وزن خشک تجمع یافته گلرنگ در شکل ۳ نشان داده شده است. روند تجمع ماده خشک در گلرنگ در شرایط خاک‌ورزی مرسوم، به‌صورت افزایشی بوده و در آخرین نمونه‌برداری که در محدود ۱۶۰۰ درجه – روز رشد در گلرنگ صورت گرفت، تغییرات ماده خشک کل در محدوده ۳۰۰ تا ۷۰۰ گرم در متر مربع بود. همچنین در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بی‌خاک‌ورزی شیب تغییرات ماده خشک کاهش یافته به‌طوری‌که در سیستم بی‌خاک‌ورزی کاهش جزئی در ماده خشک نیز قابل مشاهده است. همچنین مشاهده شد که در زمان‌های اولیه رشد بین انواع سیستم های شخم و نسبت‌های مختلف کود تفاوت وجود نداشته و با رسیدن گیاه به انتهای فصل رشد تفاوت‌ها بیشتر و معنی‌دار گردید. تأثیرات کودهای مورد استفاده در خاک‌ورزی مرسوم قابل‌توجه بوده ولی در شرایط بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کاهش‌یافته این تأثیرات کمتر و غیره معنی‌دار به نظر می‌رسد (شکل ۳).

نتایج تجزیه واریانس ماده خشک در آخرین نمونه‌برداری که با مرحله رسیدگی گیاهان همراه بود و ماده خشک به بالاترین مقدار خود می‌رسد نیز مشخص نمود که اثر خاک‌ورزی و کود و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل خاک‌ورزی در کود در مورد ماده خشک مشخص کرد که در خاک‌ورزی مرسوم تأثیرات کود قابل‌توجه بوده به‌طوری‌که مصرف ۳۳ و ۶۶ درصد کود سبب افزایش ۱۶۰ و ۹۵ درصدی ماده خشک گلرنگ نسبت به شاهد شد، اما در خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بی‌خاک‌ورزی نسبت به شاهد تفاوت‌ها کمتر بود (شکل ۴).

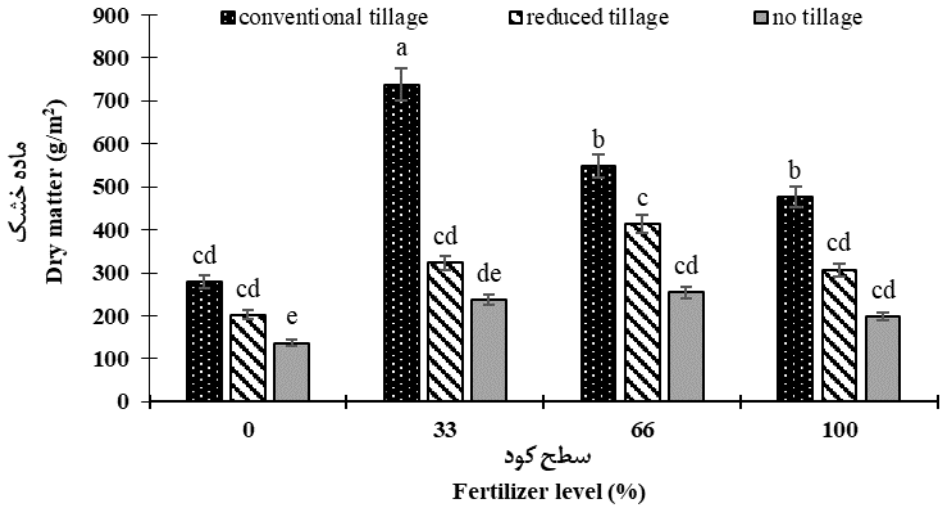
طبق گزارش‌های صورت گرفته، روند افزایش ماده خشک در همه تیمارها به‌صورت منحنی سیگموئیدی است. در ابتدای رشد سرعت تجمع ماده خشک به‌ویژه در تیمارهای شاهد و کشاورزی مرسوم پایین بود با گذشت زمان شاخص برگ، فتوسنتز کانوپی و شیب تجمع ماده خشک افزایش پیدا کرد. پس از آن به دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی، افزایش میزان تنفس، زرد شدن، پیری و ریزش برگ‌های پایین کانوپی از سرعت تجمع ماده خشک کاسته شد (Yadavi, 2013). در مطالعه ما نیز این روند تغییرات مشاهده شد به‌طوری‌که در ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه روز رشد، ماده خشک گلرنگ تغییرات اندکی داشته تا به مقدار نهایی خود رسیدند (شکل ۳).

سپیده‌دم و رمرودی (Sepide dam & Ramroudi, 2016) نیز گزارش کردند، ماده خشک کل تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی و کود نیتروژن قرار گرفته و بیش‌ترین ماده خشک از سیستم خاک‌ورزی متداول و افزایش سطوح نیتروژن تا ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن در سامانه بی‌خاک‌ورزی به‌دست آمد، همچنین بین مصرف ۱۶۰ و ۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار علی‌رغم افزایش ماده خشک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مطالعه ما نیز بالاترین ماده خشک از خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۳۳ درصد نیاز کودی حاصل شده که نشان‌دهنده مصرف بیشتر از حد نیاز واقعی در این ارقام مورد بررسی و شرایط کشت بوده که سبب کاهش ماده خشک در نیازهای کودی ۶۶ و ۱۰۰ درصد بود (شکل ۴).



شکل ۳- روند تغییرات ماده خشک گلرنگ در خاک‌ورزی و نسبت‌های مختلف کود. الف) خاک‌ورزی مرسوم، ب) خاک‌ورزی کاهش‌یافته و ج) بی‌خاک‌ورزی

Figure 3- The trend of changes in safflower dry matter in tillage and different fertilizer ratios a) conventional tillage, b) reduced tillage and c) no tillage



شکل ٤- نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و کود بر ماده خشک گلرنگ

(حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD=۶۱/۰۵). همچنین نوارهای خطا، میزان تغییرپذیری داده‌ها و نزدیکی به میانگین را نشان می‌دهد).

Figure 4- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on dry matter of safflower

(Different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 61.05). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average).

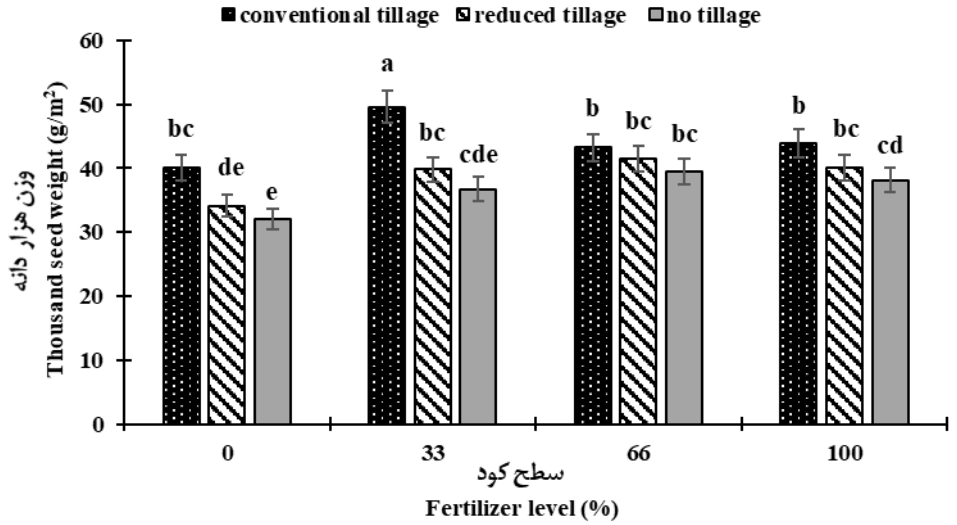
عبدالله (Abdullah, 2014) نیز در بررسی خاک‌ورزی مرسوم و کم خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گندم برای کشت کلزا مشاهده کردند که وجود بقایا منجر به افزایش ماده آلی خاک شد. همچنین کم خاک‌ورزی باوجود بقایا موجب افزایش ۲۴ درصدی در عملکرد زیستی نسبت به روش مرسوم بدون وجود بقایا شد. افشون و همکاران (Afshoon *et al.*, 2021) نیز گزارش کردند بیشترین میزان وزن خشک کل بوته، در مرحله گلدهی از تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کاربرد ۱۰۰ درصد نیاز کودی نیتروژن گیاه ذرت حاصل شد. ازآنجایی‌که وزن خشک کل بوته برآیندی از فتوسنتز برگ‌ها و همچنین رشد بافت‌های ساقه و برگ می‌شود. لذا کاهش شاخص سطح برگ منجر به کاهش وزن خشک کل بوته گیاه تحت شرایط عدم کاربرد کود نیتروژن در سامانه خاک‌ورزی حفاظتی شده است. علت افزایش ماده خشک در شرایط کم‌خاک‌ورزی را می‌توان به‌دلیل بیشتر بودن رطوبت موجود در خاک در روش کم خاک‌ورزی دانست؛ زیرا عملیات خاک‌ورزی، با تغییر در روش آماده‌سازی و شرایط خاک، بر رطوبت خاک و عملکرد محصول اثر مستقیم می‌گذارد (Bekele, 2020) از طرفی با توجه به این‌که مطالعه ما در سال‌های پرباران صورت گرفته است خاک‌ورزی مرسوم بهتر از کم خاک‌ورزی بوده است. در خاک‌ورزی مرسوم سیستم نفوذ ریشه تقویت‌شده و از این طریق گیاه قادر است آب و مواد غذایی را بهتر جذب نماید و متعاقب آن رشد بهتری داشته باشد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی خاک‌ورزی (سطح احتمال ۵ درصد) و کود (سطح احتمال ۱ درصد) و اثرات متقابل آن‌ها (سطح احتمال ۱ درصد) بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل خاک‌ورزی در کود مشخص نمود، مصرف کود سبب افزایش وزن هزار دانه گلرنگ شد. بالاترین وزن هزار دانه گلرنگ از خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۳۳ درصد کود مورد نیاز گیاه حاصل شد. این در حالی بود که در دو نوع دیگر خاک‌ورزی بین مقادیر مختلف کود تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و ۳۳ تا ۱۰۰ درصد کود در یک کلاس آماری قرار گرفتند. بیشترین وزن هزار دانه (۴۹/۶ گرم) از خاک‌ورزی مرسوم و مصرف ۶۶ و ۳۳ درصد کود حاصل شد که در مقایسه با عدم مصرف کود در این شرایط ۲۴ درصد افزایش نشان دادند (شکل ۵).

سیستم خاک‌ورزی و کود نیتروژن بر تعداد دانه در سنبله گیاه جو اثرگذار بوده و بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کم‌ترین آن مربوط به سیستم بدون خاک‌ورزی بود. همچنین با افزایش مصرف ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، تعداد دانه در سنبله افزایش پیدا کرد (Małecka & Blecharczyk, 2008) که با نتایج این مطالعه نیز مطابقت دارد. صبر و همکاران (Sabbr *et al.*, 2010) در مطالعه تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و کود نیتروژن بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای بیان کردند که تأثیر سامانه‌های

خاک‌ورزی بر خصوصیات زراعی و کیفی سورگوم علوفه‌ای در هر دو سال آزمایش معنی‌دار نشد، اما میانگین عملکرد علوفه سبز سورگوم در خاک‌ورزی مرسوم کمی بیش‌تر از خاک‌ورزی کاهش‌یافته بود. همچنین وزن هزار دانه آفتابگردان و ذرت در سیستم بدون خاک‌ورزی نسبت به سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته و مرسوم کمتر بود، در حالی بین سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته و مرسوم از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (Omidmehr & Faezniya, 2019 ; Roozbeh & Pooskani, 200). کاهش اجزای عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی را احتمالاً می‌توان به کاهش عملکرد زیستی و درنتیجه کم بودن سطوح فتوسنتز کننده در زمان پر شدن دانه‌ها نسبت داد. همچنین به نظر می‌رسد که کاهش مراحل مختلف نمو گیاه در اثر کاهش دمای خاک می‌تواند دلیلی برای کاهش وزن هزار دانه در سیستم بدون خاک‌ورزی باشد (Sepide dam & Ramroudi, 2016).



شکل ۵- نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و کود بر وزن هزار دانه گلرنگ

(حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD=۳/۳۷). همچنین نوارهای خطا، میزان تغییرپذیری داده‌ها و نزدیکی به میانگین را نشان می‌دهد).

Figure 5- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on thousand seed weight of safflower

(Different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 3.37). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average).

عملکرد دانه

در این مطالعه عملکرد دانه گیاه گلرنگ تحت تأثیر اثرات اصلی خاک‌ورزی و کود و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج اثرات متقابل نشان داد، در شرایط خاک‌ورزی مرسوم، در گلرنگ مصرف ۳۳ درصد از نیاز کودی گیاه بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد که با سطوح ۶۶ و ۱۰۰ درصد تفاوت معنی دار نداشت، اما در شرایط بی‌خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی کاهش‌یافته، بالاترین عملکرد دانه از نسبت ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز کودی حاصل شد و در نسبت ۱۰۰ درصد نیز نسبت به شاهد (بدون خاک‌ورزی و کوددهی) تغییرات غیر معنی‌دار بود (شکل ۶). به‌طور کلی بالاترین عملکرد دانه گلرنگ ۱۹۵/۶ گرم در متر مربع) از نسبت کودی ۳۳ درصد و خاک‌ورزی مرسوم و کمترین عملکرد دانه ۱۱۶/۲ گرم در متر مربع نیز از بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود حاصل شد و عملکرد دانه در نسبت کودی ۳۳ درصد و خاک‌ورزی مرسوم افزایش ۶۸/۳۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد (بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود) داشت (شکل ۶).

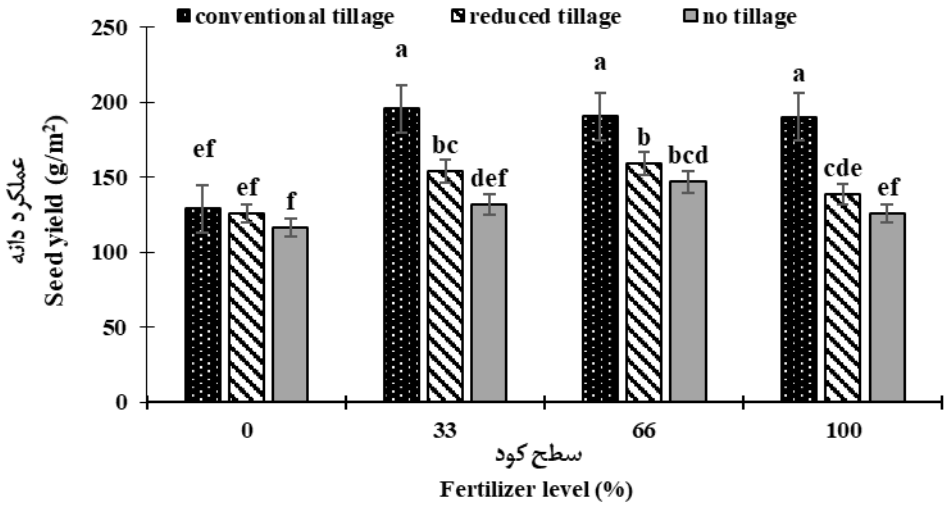
افزایش عملکرد دانه گندم بهاره در سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی گزارش شده است (Wozniak *et al.*, 2015). برخلاف نتایج مشاهده شده در این مطالعه، بی‌تأثیر بودن خاک‌ورزی (Jabro *et al.*, 2010) بر عملکرد گلرنگ و کاهش عملکرد (Baumhardt *et al.*, 2005) نیز گزارش شده است. تأثیر شخم بر رشد ریشه، میزان آب در دسترس و اندازه خاک‌دانه‌های لایه متراکم خاک و مصرف کودهای شیمیایی قطعاً تأثیرگذار است. ناکافی بودن ویژگی‌های فیزیکی مؤثر بر انتقال آب در خاک، هوادهی نامناسب برای سیستم ریشه و افزایش علف‌های هرز می‌تواند از علل کاهش عملکرد دانه در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی عنوان شود (Sepide dam & Ramroudi, 2016). گیاهان در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی برای جبران

عملکرد به مقدار بیشتری از کودهای شیمیایی نیتروژن نیاز دارند، علت این امر کاهش راندمان استخراج نیتروژن، کاهش رشد اولیه گیاهچه، تأخیر در استقرار و برخورد با گرمای آخر فصل، افزایش تراکم علف‌های هرز و تغییر خصوصیات فیزیکی خاک است (Mohammadi *et al*., 2009). از دلایل تأثیرات منفی خاک‌ورزی به اکسیده شدن سریع مواد آلی خاک و خرد شدن خاکدانه‌ها و همچنین افزایش فشردگی خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک که سبب کاهش تعداد منافذ درشت می‌گردد اشاره نمود (Bekele, Sharma *et al*., 2016;2020).

مشخص شده است که کود فسفر می‌تواند عملکرد دانه را افزایش دهد (Xie *et al*., 2014)، در حقیقت تجمع و توزیع ماده خشک با افزایش فسفر افزایش می‌یابد (Fageria *et al*., 2013). مصرف کود فسفر باعث افزایش فتوسنتز در برگ کتان شده و با افزایش انتقال ماده خشک به دانه، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. همچنین مصرف فسفر با افزایش تعداد کپسول در بوته و دانه در کپسول عملکرد دانه کتان را بهبود می‌بخشد (Xie *et al*., 2016). برخی از مطالعات همچنین اثر عرضه فسفر را بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ و آفتابگردان گزارش کرده‌اند (Abbadi & Gerendás, 2011).

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که خاک‌ورزی، کود و اثر متقابل خاک‌ورزی در کود بر میزان عملکرد زیستی گلرنگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد، مصرف کود سبب افزایش میزان عملکرد زیستی گیاه شد، اما تأثیر این مصرف در خاک‌ورزی مرسوم بالاتر از خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی بود. مصرف ۳۳ درصد از میزان کود مورد نیاز گیاه در شرایط خاک‌ورزی مرسوم بالاترین میزان عملکرد زیستی در گیاه گلرنگ را سبب شد. به‌طوری‌که میزان عملکرد زیستی گلرنگ ۹۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. همچنین مشاهده شد که با مصرف مقادیر بیشتر کود در خاک‌ورزی مرسوم تأثیر کود منفی شده ولی این تأثیر در خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی غیر معنی‌دار بود (شکل ۷). همچنین نتایج نشان داد که کمترین میزان عملکرد زیستی در گلرنگ (۲۵۲/۹ گرم در متر مربع) از عدم مصرف کود و بی‌خاک‌ورزی و مصرف ۱۰۰ درصد کود و بی‌خاک‌ورزی مشاهده شد که این نشان‌دهنده عدم تأثیر مصرف کود در شرایط بی‌خاک‌ورزی می‌باشد (شکل ۷).

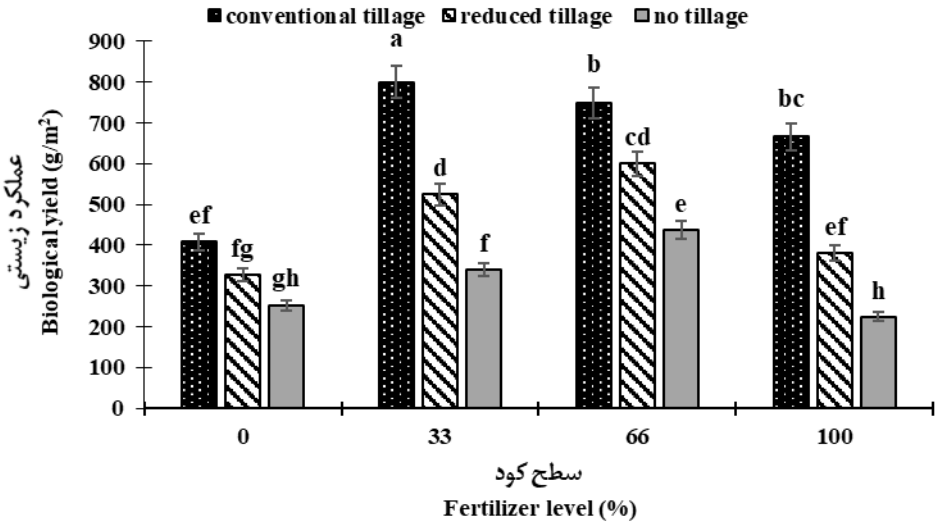


شکل ٦- نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و کود بر عملکرد دانه گلرنگ

(حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD=۲/۷۳). همچنین نوارهای خطا، میزان تغییرپذیری داده‌ها و نزدیکی به میانگین را نشان می‌دهد).

Figure 6- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on seed yield of safflower

(Different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 2.73). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average).



شکل ۷- نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و کود بر عملکرد زیستی گلرنگ

(حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD=۵/۶۶). همچنین نوارهای خطا، میزان تغییرپذیری داده‌ها و نزدیکی به میانگین را نشان می‌دهد).

Figure 7- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on biological yield of safflower

(Different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 5.66). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average).

نتایج مطالعات صورت گرفته نیز نشان داد، عملکرد زیستی تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی و کود نیتروژن قرار گرفته به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد زیستی از سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کم‌ترین آن در سیستم بدون خاک‌ورزی به دست آمد. در گندم نیز عملکرد زیستی در سیستم خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن +پنجه غازی) نسبت به سه سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته (گاوآهن قلمی +خطی کار، گاوآهن بدون صفحه برگردان +خطی کار و پنجه غازی +خطی کار) و سیستم بدون خاک‌ورزی طی سه سال متوالی بالاتر بود (Loveimi *et al.*, 2011). همچنین گزارش شد افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد زیستی شد. عملکرد زیستی نشان‌دهنده توانایی سایه‌انداز گیاهی در استفاده از عوامل محیطی مانند نور و مواد غذایی برای تولید ماده خشک می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد، افزایش مصرف نیتروژن می‌تواند باعث افزایش عملکرد زیستی شود (Sepide dam & Ramroudi, 2016). در بررسی اثر منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ گزارش شد که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره با میانگین ۸۱۰۹/۵۹ کیلوگرم در هکتار و تیمار عدم مصرف کود با میانگین ۵۴۵۲/۸۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار عملکرد زیستی را به خود اختصاص دادند (Mohsen Nia & Jalilian, 2012). وارنیووا و همکاران (Varényiová *et al.*, 2017) گزارش داد که بیشترین عملکرد کلزا به میزان ۳/۹۶ تن در هکتار با اعمال ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار حاصل شد. همچنین کومار و تریودی (Kumar *et al.*, 2011) نیز افزایش عملکرد دانه خردل را با اعمال سطوح گوگرد گزارش کرده‌اند. کلزا (*Brassica rapa* L.)، یک محصول روغنی مهم است که تقاضای بالایی برای گوگرد دارد (Fismes *et al.*, 2000). به‌دلیل نیاز به گوگرد بالا، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد برای حداکثر عملکرد کلزا توصیه شده است. همچنین نتایج تحقیق دیگری نشان داد که گوگرد نقش مهمی در تشکیل دانه‌های کنجد دارد و همچنین مسئول عملکرد مناسب سیستم گیاهی و افزایش کلی پارامترهای رشد و عملکرد کنجد است (Shen *et al.*, 2021). گوگرد به سنتز سیستئین، متیونین، کلروفیل، ویتامین‌ها (B، بیوتین و تیامین)، متابولیسم کربوهیدرات، روغن و پروتئین کمک می‌کند و موجب افزایش عملکرد و وزن دانه در گیاهان روغنی می‌شود (Najar *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نتیجه بهتری داشت یکی از علت‌های احتمالی، انجام آزمایش در بازه زمانی یکساله بوده و احتمالا در صورتی‌که آزمایش حداقل به‌مدت ۵ سال انجام شود نتایج تغییر خواهد کرد. در بیشتر صفات مورد بررسی کاربرد نسبت ۳۳ و ۶۶ درصد نیاز کودی سبب بهترین نتیجه شده و نسبت کودی ۱۰۰ درصد تأثیرات منفی بر جای گذاشته است که این امر نشان‌دهنده نیاز کودی کمتر این رقم در شرایط مورد مطالعه نسبت به ارقام در مناطق دیگر

می‌باشد. بالاترین عملکرد دانه گلرنگ (۱۹۵۶ کیلوگرم در هکتار) از خاک‌ورزی مرسوم و نسبت کودی ۳۳ و ۶۶ درصد مشاهده شد. با توجه با این‌که این مطالعه در شرایط بارندگی زیاد صورت گرفته است پیشنهاد می‌شود میزان تولید این گیاه در شرایط آبیاری‌های مختلف و محدودیت رطوبتی ارزیابی شود تا سیستم‌های خاک‌ورزی و روش‌های مدیریتی با دقت بیشتری بررسی و انتخاب شوند. همچنین توجه به هزینه شخم، سوخت، آلودگی زیست محیطی و غیره نیز باعث انتخاب دقیق‌تر روش مدیریتی در کشاورزی پایدار خواهد شد.

References

1. Abdullah, A.S. (2014). Minimum tillage and residue management increase soil water content, soil organic matter and canola seed yield and seed oil content in the semiarid areas of Northern Iraq. *Soil and Tillage Research*, *144*, 150-155. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.017
2. Afshoon, E., Jahansooz, M.R., Moghadam, H., & Oveisi, M. (2021). Effect of tillage, nitrogen fertilizer, and water stress on crop growth indices and yield of forage corn (*Zea mays* L.). *Journal of Crops Improvement*, *23*(2), 235-246. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2020.295787.2337
3. Baumhardt, R., Jones, O., Busscher, W., & Frederick, J. (2005). Long-term benefits of deep tillage on soil physical properties and crop yield. Proceedings of the 27th Southern Conservation Tillage Systems Conference,
4. Bayat, M., Pakina, E., Astarkhanova, T., Sediqi, A.N., Zargar, M., & Vvedenskiy, V. (2019). Review on agro-nanotechnology for ameliorating strawberry cultivation. *Research on Crops*, *20*(4), 731-736. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2019.108
5. Bekele, D. (2020). The effect of tillage on soil moisture conservation: A review. *International Journal of Research Studies in Computing*, *6*(10), 30-41. https://doi.org/10.20431/2454-6224.0610004
6. Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A.A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, *3*(2), 119-129. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002
7. Castellini, M., & Ventrella, D. (2012). Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. *Soil and Tillage Research*, *124*, 47-56. https://doi.org/10.1016/j.still.2012.04.008
8. Estefan, G. (2013). *Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.
9. Fageria, N.K., Moraes, O.P., & Vasconcelos, M.J. (2013). Upland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, *36*(12), 1868-1880. https://doi.org/10.1080/01904167.2013.818153
10. Fismes, J., Vong, P.C., Guckert, A., & Frossard, E.T.H.I.O.P.I.A.N. (2000). Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *European Journal of Agronomy*, *12*(2), 127-141. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00052-0
11. Gan, Y., Malhi, S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F., & Stevenson, C. (2008). Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of juncea canola under diverse environments. *Agronomy Journal*, *100*(2), 285-295. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0229
12. Hasanvandi, M.S., Rafiee, M., & Bagheri, A. (2013). Safflower growth analysis using regression modeling. *Journal of Crops Improvement*, *15*(3), 27-37. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2013.36384
13. Iboyi, J.E., Mulvaney, M.J., Balkcom, K.S., Seepaul, R., Bashyal, M., Perondi, D., Leon, R.G., Devkota, P., Small, I.M., & George, S. (2021). Tillage system and seeding rate effects on the performance of *Brassica carinata*. *GCB Bioenergy*, *13*(4), 600-617. https://doi.org/10.1111/gcbb.12809
14. Jabari, H., familiarity, S.P., Asadi, M.I., Noorgholipour, F., Tafete, A., Islamic, B.P., Shahsawari, M., Walipour, M.B., Moghadam, M.J., Safari, M., Nesab, H.S., Nazari, M.R., Pourdad, S.S., Kihanian, A.A., Garmarodi, H.S., Akbari, M., & Karminejad, M.R. (2023). *Irrigation and Rainfed Safflower Cultivation*. 63637 Issue. (In Persian)
15. Jabro, J., Stevens, W., Iversen, W., & Evans, R. (2010). Tillage depth effects on soil physical properties, sugarbeet yield, and sugarbeet quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *41*(7), 908-916. https://doi.org/10.1080/00103621003594677
16. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., & Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, *18*(3-4), 235-265. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7
17. Khadempir, M., Zeinali, E., Soltani, A., & Toorani, M. (2014). Investigation leaf area index, dry matter accumulation and allocation in two cultivars of faba bean (*Vicia faba* L.) affected by the distance between rows and planting date. *Applied Research of Plant Ecophysiology Journal*, *1*(3), 15-36. (In Persian). http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-115-en.html

18. Khan, S., Shah, A., Nawaz, M., & Khan, M. (2017). Impact of different tillage practices on soil physical properties, nitrate leaching and yield attributes of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *17*(1), 240-252. https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000019
19. Kumar, R., & Trivedi, S.K. (2011). Effect of levels and sources of sulphur on yield, quality and nutrient uptake by mustard (*Brassica juncea*). *Progressive Agriculture*, *11*(1), 58-61.
20. Lack, S., Kermanshahi, M., & Noryani, H. (2015). Variation trend of leaf area index, yield and yield components of green beans (*Phaseolous vulgaris* L.) by using zinc sulfate and nitrogen. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(36), 599-610. (In Persian)
21. López-Garrido, R., Madejón, E., León-Camacho, M., Girón, I., Moreno, F., & Murillo, J. (2014). Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: A case study. *Soil and Tillage Research*, *140*, 40-47. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.02.008
22. Loveimi, N., Safari, M., & Heidarpour, N. (2011). Comparison of the effects of no tillage, minimum tillage and conventional tillage on dry land wheat yield in pebbly field in tropical region. *Journal of Agricultural Machinery*, *1*(2), 110-121. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286829.1390.1.2.7.2
23. Lv, Y.J., Zhang, X.L., Gong, L., Huang, S.B., Sun, B.L., Zheng, J.Y., Wang, Y.J., & Wang, L.C. (2024). Long-term reduced and no tillage increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and yield stability in Northeast China. *European Journal of Agronomy*, *158*, 127-217. https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127217
24. Ma, B., & Herath, A. (2016). Timing and rates of nitrogen fertiliser application on seed yield, quality and nitrogen-use efficiency of canola. *Crop and Pasture Science*, *67*(2), 167-180. https://doi.org/10.1071/CP15069
25. Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. *Iranian Studies*, *49*(6), 997-1016. (In Persian)
26. Malakouti, M., & Homaee, M. (2004). *Fertile soils of arid and semi-arid problems and solutions*. Tarbiat Modares of University Press. (In Persian)
27. Małecka, I., & Blecharczyk, A. (2008). Effect of tillage systems, mulches and nitrogen fertilization on spring barley (*Hordeum vulgare*). *Agronomy Research*, *6*(2), 517-529.
28. Mirshekari, B. (2010). Effect of different tillage methods on energy indexes and yield components of safflower. *Agroecology Journal*, *6*(3), 77-84. (In Persian)
29. Mohammadi, K., Nabi, E.K., Agha, A.M., & Khormali, F. (2009). Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rainfed wheat. *Journal of Plant Production Research*, *16*(4), 77-92. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1388.16.4.5.6
30. Mohsen Nia, O., & Jalilian, J. (2012). Effects of drought stress and fertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Agroecology Journal 4*(3), 235-245. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v4i3.15312
31. Mojiri, A., & Arzani, A. (2003). Effect of nitrogen rate and plant density on yield and yield components of sunflower. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *7*(2), 115-125. (In Persian). http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-468-en.html
32. Mousavi, S., Fathi, G., & Dadgar, M. (2005). Planting date and density on growth, yield components and yield of red beans. Proceedings of First Pulse National Conference.
33. Najar, G.R., Singh, S.R., Akhtar, F., & Hakeem, S.A. (2011). Influence of sulphur level on yield, uptake and quality of soybean (*Glycine max*) under temperate conditions of Kashmir valley. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *81*(4), 340.
34. Nunes, M.R., Karlen, D.L., & Moorman, T.B. (2020). Tillage intensity effects on soil structure indicators-A US meta-analysis. *Sustainability*, *12*(5), 2071. https://doi.org/10.3390/su12052071
35. Omidi, A., & Sharifmogadas, M. (2010). Evaluation of Iranian safflower cultivars reaction to different sowing dates and plant densities. *World Applied Science Journal*, *8*(8), 953-958.
36. Omidmehr, Z., & Faezniya, F. (2019). Effects of different tillage techniques on some soil properties and sunflower yield in dryland conditions of Shahrood (Miami). *Iranian Dryland Agronomy Journal*, *7*(2), 143-158. (In Persian). https://doi.org/10.22092/idaj.2018.121791.218
37. Ordoñez-Morales, K.D., Cadena-Zapata, M., Zermeño-González, A., & Campos-Magaña, S. (2019). Effect of tillage systems on physical properties of a clay loam soil under oats. *Agriculture*, *9*(3), 62. https://doi.org/10.3390/agriculture9030062
38. Roozbeh, M., & Pooskani, M. (2003). The effect of different tillage methods on wheat yield when in rotation with corn. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *34*(1), 29-38. (In Persian)
39. Sabbr, Z., Peirdashti, H., Esmaili, M., & Abassian, A. (2010). *Evaluation of growth promoting bacteria, nitrogen, and phosphorus on fertilizer efficiency and yield of wheat* The 11th Iranian Crop Sciences Congress, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian)

40. Safahani, A., Petroodi, M.A., Cherati, A., & Irani, A. (2017). Effect of management of plant debris of wheat, tillage and consumption of nitrogen fertilizer on growth, Function and grain yield components of soybean in summer planting. *Journal of Plant Production Sciences*, *7*(1), 51-65. (In Persian)
41. Sepide dam, S., & Ramroudi, M. (2016). Effects of tillage systems and nitrogen fertilizer on yield, yield components and seed protein of wheat. *Applied Research of Plant Ecophysiology Journal*, *2*(2), 33-46. (In Persian). https://doi.org/http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-162-fa.html
42. Shahrokhnia, M.H., & Sepaskhah, A.R. (2017). Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products*, *95*, 126-139. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.021
43. Sharma, P., Abrol, V., Sharma, K., Sharma, N., Phogat, V., & Vikas, V. (2016). Impact of conservation tillage on soil organic carbon and physical properties–a review. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, *7*(1), 151-161. https://doi.org/10.23910/IJBSM/2016.7.1.1387
44. Shen, Y., Hu, L.T., Xia, B., Ni, Z.J., Elam, E., Thakur, K., & Wei, Z.J. (2021). Effects of different sulfur-containing substances on the structural and flavor properties of defatted sesame seed meal derived Maillard reaction products. *Food Chemistry*, *365*, 130463. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130463
45. Singh, K., Prakash, V., Srinivas, K., & Srivastva, A. (2008). Effect of tillage management on energy-use efficiency and economics of soybean (*Glycine max*) based cropping systems under the rainfed conditions in North-West Himalayan Region. *Soil and Tillage Research*, *100*(1-2), 78-82. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.04.011
46. Singh, V., & Nimbkar, N. (2016). Safflower. In *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production* (pp. 149-167). Elsevier.
47. Streck, N.A., Bellé, R.A., Rocha, E.K.D., & Schuh, M. (2005). Estimating leaf appearance rate and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Ciência Rural*, *35*, 1448-1450.
48. Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Varnamkhasti, M.G., Rahimizadeh, R., & Karimi, M. (2009). Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, *34*(1), 41-45. https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.09.023
49. Varényiová, M., Ducsay, L., & Ryant, P. (2017). Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *65*(2). https://doi.org/10.11118/actaun201765020555
50. Wozniak, A., Wesołowski, M., & Soroka, M. (2015). Effect of long-term reduced tillage on grain yield, grain quality and weed infestation of spring wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *17*(4), 899-908. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.4.3.0
51. Xie, Y., Niu, J., Gan, Y., Gao, Y., & Li, A. (2014). Optimizing phosphorus fertilization promotes dry matter accumulation and P remobilization in oilseed flax. *Crop Science*, *54*(4), 1729-1736. https://doi.org/10.2135/cropsci2013.10.0672
52. Xie, Y., Niu, X., & Niu, J. (2016). Effect of phosphorus fertilizer on growth, phosphorus uptake, seed yield, yield components, and phosphorus use efficiency of oilseed flax. *Agronomy Journal*, *108*(3), 1257-1266. https://doi.org/10.2134/agronj2015.0537
53. Yadavi, A. (2013). Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phenological stages and grain yield of sesame. *Journal of Crop Production*, *6*(2), 73-100. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1392.6.2.5.3
54. Yu, X., & Li, B. (2019). Release mechanism of a novel slow-release nitrogen fertilizer. *Particuology*, *45*, 124-130. https://doi.org/10.1016/j.partic.2018.09.005