

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

Donya Parmah¹, Hamid Reza Chaghazardi^{2*}, Farzad Mondany³, Ali Beheshti Ale Agha⁴, Daniel Kehrizi⁵

Introduction

Optimum yield production in rainfed cultivation directly depends on the amount of rainfall and moisture storage in the soil. The tillage system directly affects the moisture storage and the physical and chemical properties of the soil, and choosing the right tillage system affects the yield of the product. Oilseeds are particularly important among crops, forming the second-largest food reserves 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 lands and favorable fields for cultivating oilseeds. Still, according to the available statistics, more than 80% of the country's required oil is supplied from abroad. Considering that our country needs more and better quality oil products on the one hand, and the other hand, is involved in climate issues and problems such as consecutive droughts, it seems that the cultivation and development of plants with fewer water requirements and high resistance and providing management methods and appropriate fertilizer in line with conservation agriculture is a suitable solution to increase crop yields and maintain and increase soil quality in the long term. For this purpose and considering the value of oilseed cultivation, an experiment was conducted to investigate the effect of tillage and fertilization on the yield and components of safflower yield in rainy conditions.

Materials and Methods

The experiment was carried out as split plots in a basic design of random complete blocks, with three replications in 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. In all the stages of planting, holding, and harvesting, all agricultural management was carried out based on the traditional management of the studied area and in the farmer's way. The final sampling or harvesting was done manually in the physiological treatment stage. Before analyzing the variance of the data, the normality test of the data was performed. 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/m² was obtained from the fertilizer ratio of 33% and conventional tillage, and the lowest seed yield of 116.2 g/m² was obtained from no-tillage and no fertilizer use. The results showed that the conventional tillage system had better results than low-tillage and no-tillage. The results showed that in reduced tillage and no-tillage, the changing trend of safflower plant leaf area index was not much different, and only in safflower, the 100% fertilizer ratio in reduced tillage had a more significant effect than no tillage. Also in the condition of no fertilizer use in no-tillage, the leaf area index was lower. The use of fertilizer increased the biological yield of the plant, but the effect of this use in conventional tillage was higher than in reduced tillage and no-tillage. Consumption of 33% of the fertilizer required by the plant under conventional tillage conditions caused the highest biological yield in the safflower plant. So, the biological performance of safflower increased by 94% compared to the control.

Conclusions

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.

مجله علمی پژوهشی
فصلنامه علمی پژوهشی
فصلنامه علمی پژوهشی

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

۱. کارشناسی ارشد اکولوژیک (اگرواکولوژی)، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۵. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

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 در نهایت 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 مترمربع از نسبت کودی ۳۳ درصد و خاک‌ورزی مرسوم و کمترین عملکرد دانه به میزان ۱۱۶/۲ گرم در مترمربع نیز از بی‌خاک‌ورزی و عدم مصرف کود حاصل شد. نتایج نشان داد که سیستم خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کم خاک‌ورزی 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 این که 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.

* ایمیل نویسنده مکاتبه کننده: h.chaghazardi@razi.ac.ir

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 (Singh et al., 2009; Tabatabaeifar et al., 2008). خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل 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 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 به دلیل 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 (Castellini and Ventrella, 2012; Nunes et al., 2020).

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 به دست 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 معنی‌دار وجود نداشت (López-Garrido et al., 2014). کاهش اجزای عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی را احتمالاً می‌توان به کاهش عملکرد زیستی و در نتیجه 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 در نتیجه افزایش تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کلزا همراه

می‌باشد (Ma and 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 در نتیجه باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود (Yu and Li, 2019).

عوامل زیادی بر بهره‌وری تولید گیاه گلرنگ تأثیر می‌گذارند، اما مهم‌ترین آن‌ها کوددهی، رطوبت خاک (Omidi and Sharifmogadas, 2010)، میزان بذر (Mojiri and 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 and Sepaskhah, 2017). میراسکندری (Mirshakari, 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 and 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 زمین‌های 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 یک سو نیازمند محصولات روغنی بیشتر و با کیفیت‌تر بوده و از سوی دیگر درگیر مسائل و مشکلات اقلیمی از جمله 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 فصل زراعی قبلی آیش بود. پارامترهای هواشناسی در سال اجرای آزمایش در ایستگاه کرمانشاه در جدول ۳ نشان داده شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به صورت 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. کود دهی سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل و ۵۰ درصد کود اوره به صورت پایه هم‌زمان با کاشت و ۵۰ درصد باقی‌مانده کود اوره به صورت 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 ۲۱ × ۱۵ متر و مساحت هر کرت فرعی ۴/۵ × ۱۵ 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 سانتی متر و فاصله بین بوته ۱۰ سانتی متر در ۱۳ آبان ماه کشت شدند. قبل از انجام کشت نمونه‌های مرکب به صورت 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 ۱).

Table 1- The results of physical and chemical properties of soil at a depth of 0 to 30 cm

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر

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

Table 2- The meteorological parameters in meteorological stations in Kermanshah Province

جدول ۲- پارامترهای هواشناسی در سال اجرای آزمایش در ایستگاه کرمانشاه

ماه Month	Rainfall amount	Minimum temperature	Average temperature	Maximum temperature
	(mm) میزان بارندگی	(°C) دمای حداقل	(°C) دمای متوسط	(°C) دمای حداکثر
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

عمق کاشت دانه گلرنگ ۳ تا ۴ سانتی متر 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 گاواهن برگردان دار، برای کم‌خاک‌ورزی از چیزل پنجه‌غازی 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 به صورت دستی انجام شد. جهت برداشت نمونه‌ها از کوادرات ۱ مترمربعی استفاده شد به این طریق که ۱۰ نمونه از خطوط میانی کرت‌ها توسط کوادرات ۱ مترمربعی به صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه‌ای 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 در مجموع ۵ مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت. به منظور

نمونه‌برداری تخریبی از خطوط میانی کرت‌ها توسط کوادرات ۱ مترمربعی، 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 خشک کردن، 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 اندازه‌گیری شدند.

$$YG = m \times 10^4 \quad \text{معادله ۱}$$

YG عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار
m وزن دانه بر حسب کیلوگرم

در طول فصل رشد شاخص‌های رشد بر اساس درجه روز رشد (GDD)^۱ مطابق معادله (۲) محاسبه شدند (Jones et al., 2003).

$$GDD = [(T_{min} + T_{max}) / 2] - T_b \quad \text{معادله ۲}$$

Tmax حداکثر دمای روزانه
Tmin حداقل دمای روزانه

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

قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف 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 نسبت‌های مختلف کود و شخم‌ها تفاوت قابل توجه وجود نداشت، ولی با رسیدن شاخص سطح برگ به مقدار بیشینه در ۱۲۰۰ درجه - روز در گلرنگ بعد از کاشت، اختلاف‌ها قابل توجه شد. به طوری که 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 کاهش یافته تأثیر بیشتری نسبت به بی‌خاک‌ورزی داشت، همچنین در شرایط عدم مصرف کود در بی‌خاک‌ورزی شاخص سطح برگ کمتر بود. به‌طور کلی در خاک‌ورزی کاهش یافته و بی‌خاک‌ورزی نسبت کودی ۶۶ درصد بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد. به طوری که بالاترین شاخص سطح برگ گلرنگ در خاک‌ورزی کاهش یافته و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب در محدوده ۳/۵ و ۲/۷ بود (شکل ۱).

^۱. Growing degree days

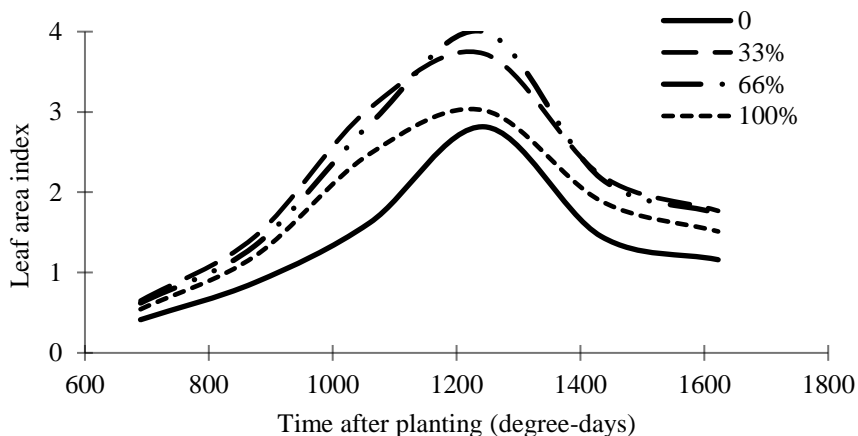
Table 2- The results of variance analysis of the effect of treatments on leaf area index, dry matter, thousand seed weight, seed yield and biological yield of safflower

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر شاخص سطح برگ، ماده خشک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیستی گلرنگ

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

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.
**and * significant at 1% and 5% and ns, not significant respectively

الف



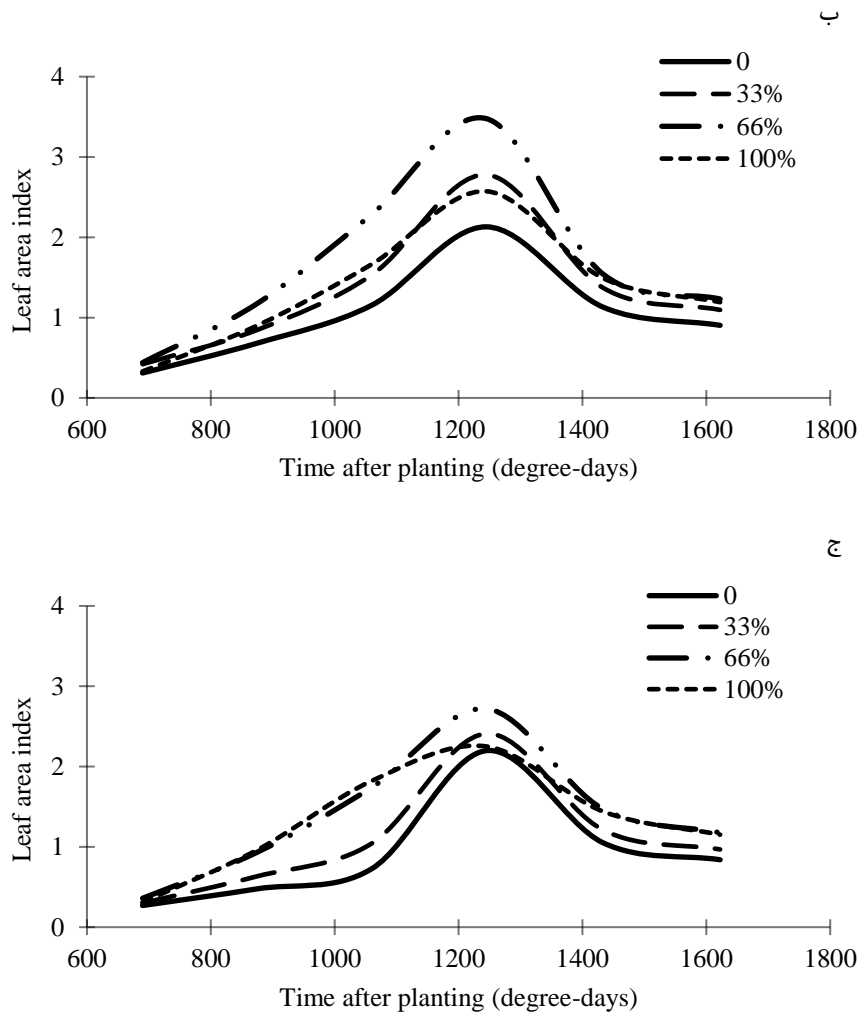


Figure 1- The trend of safflower leaf are index changes in tillage and different fertilizer ratios a) conventional tillage, b) reduced tillage and c) no tillage

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

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).

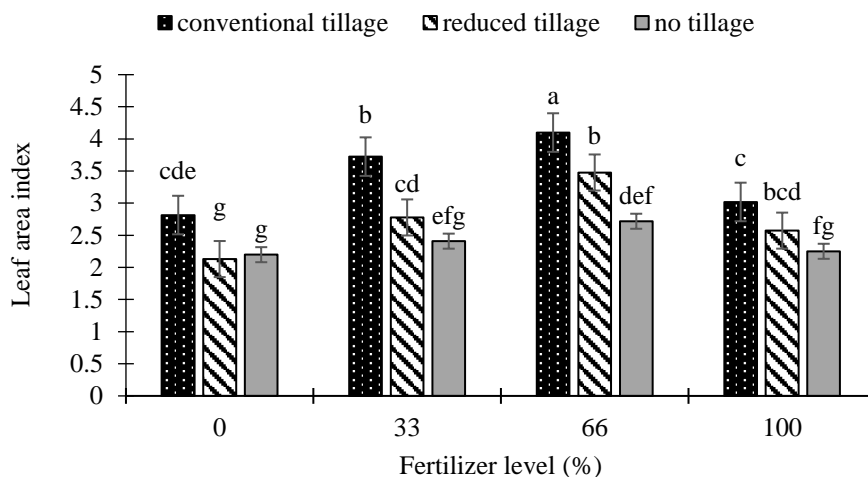


Figure 2- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on the maximum leaf area of safflower (different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD=0.19). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average)

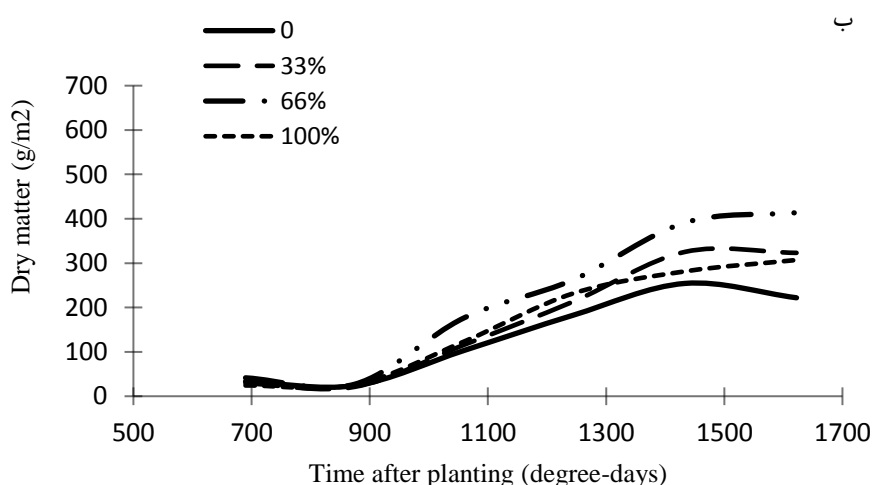
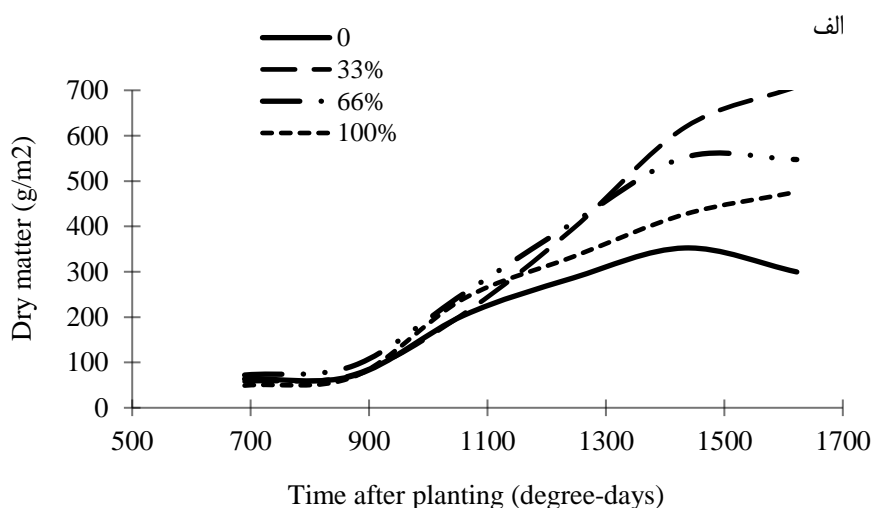
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و کود بر بیشینه شاخص سطح برگ گلرنگ (حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD=۰/۱۹). همچنین نوارهای خطا، میزان تغییرپذیری داده‌ها و نزدیکی به میانگین را نشان می‌دهد)

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 می‌تواند 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 به طوری که 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 در نهایت 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 در نتیجه 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 and Homae, 2004).

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، به صورت افزایشی بوده و در آخرین نمونه برداری که در محدود ۱۶۰۰ درجه - روز رشد در گلرنگ صورت گرفت، تغییرات ماده خشک کل در محدوده ۳۰۰ تا ۷۰۰ گرم در مترمربع بود. همچنین در سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته و بی‌خاک‌ورزی شیب تغییرات ماده خشک کاهش یافته به طوری که در سیستم بی‌خاک‌ورزی کاهش جزئی در ماده خشک نیز قابل مشاهده است. همچنین مشاهده شد که در زمان‌های اولیه رشد بین انواع سیستم‌های شخم و نسبت‌های مختلف کود تفاوت وجود نداشته و با رسیدن گیاه به انتهای فصل رشد تفاوت‌ها بیشتر و معنی دار گردید. تأثیرات کودهای مورد استفاده در خاک‌ورزی مرسوم قابل توجه بوده ولی در شرایط بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کاهش یافته این تأثیرات کمتر و غیره معنی دار به نظر می‌رسد (شکل ۳).

نتایج تجزیه واریانس ماده خشک در آخرین نمونه برداری 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 معنی دار بود (جدول ۳). اثر متقابل خاک‌ورزی در کود در مورد ماده خشک مشخص کرد که در خاک‌ورزی مرسوم تأثیرات کود قابل توجه بوده به طوری که مصرف ۳۳ و ۶۶ درصد کود سبب افزایش ۱۶۰ و ۹۵ درصدی ماده خشک گلرنگ نسبت به شاهد شد، اما در خاک‌ورزی کاهش یافته و بی‌خاک‌ورزی نسبت به شاهد تفاوت‌ها کمتر بود (شکل ۴).



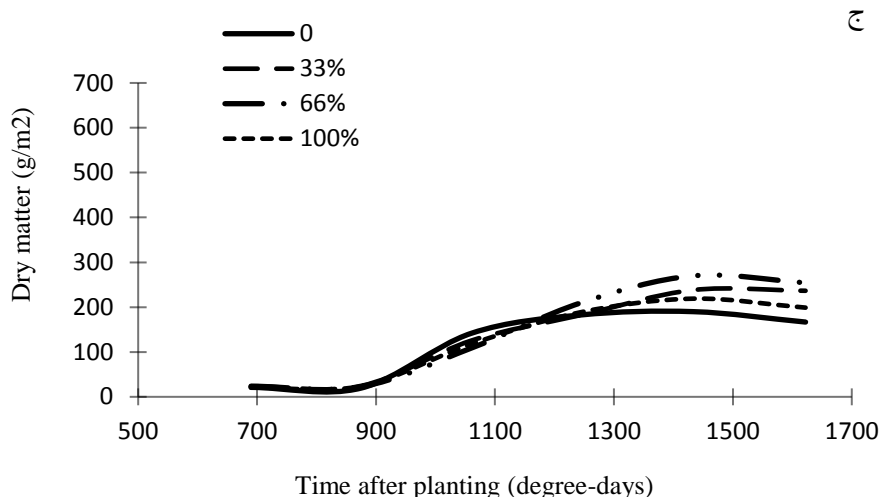


Figure 3- The trend of changes in safflower dry matter in tillage and different fertilizer ratios a) conventional tillage, b) reduced tillage and c) no tillage
 شکل ۳- روند تغییرات ماده خشک گلرنگ در خاک‌ورزی و نسبت‌های مختلف کود الف) خاک‌ورزی مرسوم، ب) خاک‌ورزی کاهش یافته و ج) بی‌خاک‌ورزی

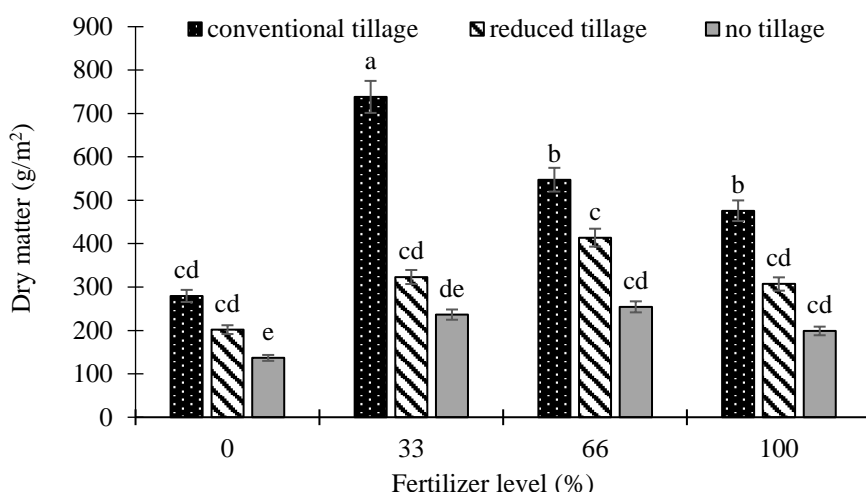


Figure 4- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on dry matter of safflower (different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 61.05). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average)

شکل Error! No text of specified style in document. نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و کود بر ماده خشک گلرنگ (حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده 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)

طبق گزارش‌های صورت گرفته، روند افزایش ماده خشک در همه تیمارها به صورت 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, ۲۰۱۵)

(2013). در مطالعه ما نیز این روند تغییرات مشاهده شد به طوری که در ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه روز رشد، ماده خشک گلرنگ تغییرات اندکی داشته تا به مقدار نهایی خود رسیدند (شکل ۳).

سپیده دم و رمودی (Sepide dam and 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 به دست 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 نشان دهنده 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).

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 با وجود 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. از آنجایی که 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 کم خاک‌ورزی را می‌توان به دلیل 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 این که مطالعه ما در سال‌های پرباران صورت گرفته است خاک‌ورزی مرسوم بهتر از کم خاک‌ورزی بوده است. در خاک‌ورزی مرسوم سیستم نفوذ ریشه تقویت شده 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).

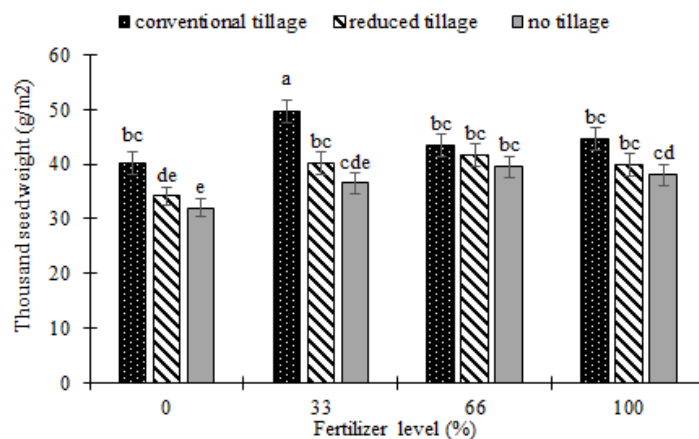


Figure 5- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on thousand seed weight of safflower (different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 3.37). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average)

شکل. Error! No text of specified style in document. نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و کود بر وزن هزار دانه گلرنگ (حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده 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)

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 and Bleharczyk, 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 کاهش یافته 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 and Faezriya, 2019; Roozbeh and Pooskani, 2003). کاهش اجزای عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی را احتمالاً می‌توان به کاهش عملکرد زیستی و در نتیجه 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 and Ramroudi, 2016).

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 معنی‌دار نداشت، اما در شرایط بی‌خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی کاهش یافته، 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 معنی دار بود (شکل ۶). به طور کلی بالاترین عملکرد دانه گلرنگ ۱۹۵/۶ گرم در مترمربع) از نسبت کودی ۳۳ درصد و خاکورزی مرسوم و کمترین عملکرد دانه ۱۱۶/۲ گرم در مترمربع نیز از بی خاکورزی 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 (بی خاکورزی و عدم مصرف کود) داشت (شکل ۶).

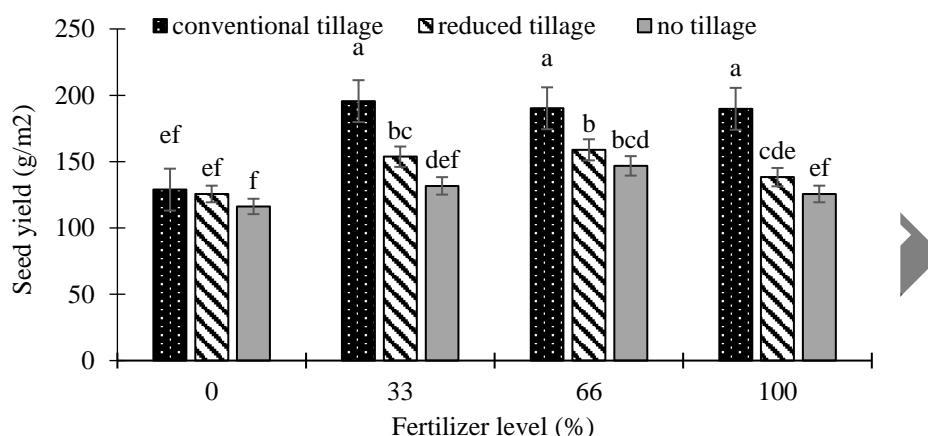


Figure 6- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on seed yield of safflower (different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 2.73). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average)

شکل - Error! No text of specified style in document. نتایج اثرات متقابل خاکورزی و کود بر

عملکرد دانه گلرنگ (حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی دار توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می باشد (LSD=۲/۷۳). همچنین نوارهای خطا، میزان تغییرپذیری داده‌ها و نزدیکی به میانگین را نشان می دهد)

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، بی تأثیر 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 خاک دانه‌های 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 and Ramroudi, 2016). گیاهان در سیستم خاکورزی کاهش یافته 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 اکسید 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, 2020; Sharma et al., 2016).

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 (Abadi and 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. به طوری که 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 مترمربع) از عدم مصرف کود و بی‌خاک‌ورزی و مصرف ۱۰۰ درصد کود و بی‌خاک‌ورزی مشاهده شد که این نشان دهنده عدم تأثیر مصرف کود در شرایط بی‌خاک‌ورزی می‌باشد (شکل ۷).

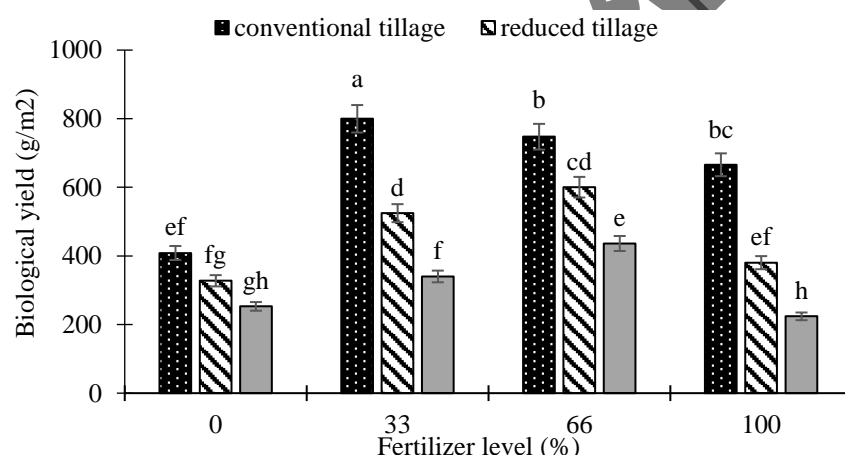


Figure 7- The results of the interaction effects of tillage and fertilizer on biological yield of safflower (different letters in each column show a significant difference by the LSD test at the 5% probability level (LSD= 5.66). Also, the error bars show the variability of the data and the closeness to the average)

شکل - Error! No text of specified style in document. نتایج اثرات متقابل خاک‌ورزی و کود بر

عملکرد زیستی گلرنگ (حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده 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)

نتایج مطالعات صورت گرفته نیز نشان داد، عملکرد زیستی تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی و کود نیتروژن قرار گرفته به طوری که 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 (گاواهن + پنجه‌غازی) نسبت به سه سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته (گاواهن قلمی + خطی کار، گاواهن بدون صفحه برگردان + خطی کار و پنجه‌غازی + 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 نشان دهنده 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 and 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 به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار عملکرد زیستی را به خود اختصاص دادند (Mohsen Nia and 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). به دلیل 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 سیستین، 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 کلی

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 احتمالاً در صورتی که آزمایش حداقل به مدت 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 نشان دهنده 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 به این که 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 هزینه‌های سوخت، آلودگی زیست محیطی و غیره نیز باعث انتخاب دقیق‌تر روش مدیریتی در کشاورزی پایدار خواهد شد.

منابع

- 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/https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.017>
- 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. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.295787.2337> (In Persian).
- 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,

- 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/http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2019.108>
- 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/http://dx.doi.org/10.20431/2454-6224.0610004>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.still.2012.04.008>
- 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.
- 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>
- 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](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00052-0)
- 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/https://doi.org/10.2134/agronj2007.0229>
- Hasanvandi, M. S., Rafiee, M., & Bagheri, A. (2013). Safflower growth analysis using regression modeling. *Journal of Crops Improvement*, 15(3), 27-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.22059/jci.2013.36384> (In Persian).
- 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/https://doi.org/10.1111/gcbb.12809>
- 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., Pourdard, S. S., Kihanian, A. A., Garmarodi, H. S., Akbari, M., & Karminejad, M. R. (2023). *Irrigation and Rainfed Safflower Cultivation* (63637 Issue). (In Persian)
- 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/https://doi.org/10.1080/00103621003594677>
- 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/https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- 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. <https://doi.org/http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-115-en.html> (In Persian).

- 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/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000019>
- 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.
- 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).
- 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/https://doi.org/10.1016/j.still.2014.02.008>
- 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. <https://doi.org/https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286829.1390.1.2.7.2> (In Persian).
- 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/https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127217>
- 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/https://doi.org/10.1071/CP15069>
- 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).
- Malakouti, M., & Homaei, M. (2004). *Fertile soils of arid and semi-arid problems and solutions*. Tarbiat Modares of University Press. (In Persian).
- Matecka, I., & Bleharczyk, A. (2008). Effect of tillage systems, mulches and nitrogen fertilization on spring barley (*Hordeum vulgare*). *Agronomy Research*, 6(2), 517-529.
- Mirshekari, B. (2010). Effect of different tillage methods on energy indexes and yield components of safflower. *Agroecology Journal*, 6(3), 77-84. (In Persian).
- 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. <https://doi.org/https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1388.16.4.5.6> (In Persian).
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.22067/jag.v4i3.15312> (In Persian).
- 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. <https://doi.org/http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-468-en.html> (In Persian).
- 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.
- 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.

- 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/https://doi.org/10.3390/su12052071>
- 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.
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.22092/idadj.2018.121791.218> (In Persian).
- 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/https://doi.org/10.3390/agriculture9030062>
- Roosbeh, 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).
- 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).
- 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).
- 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. <https://doi.org/http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-162-fa.html> (In Persian).
- 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/http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.021>
- 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/http://dx.doi.org/10.23910/IJBSM/2016.7.1.1387>
- 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>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.still.2008.04.011>
- Singh, V., & Nimbkar, N. (2016). Safflower. In *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production* (pp. 149-167). Elsevier.
- 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.

- 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/https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.09.023>
- 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). <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201765020555>
- Wozniak, A., Wesolowski, 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. <https://doi.org/http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.4.3.0>
- 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>
- 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>
- 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. <https://doi.org/https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1392.6.2.5.3> (In Persian).
- Yu, X., & Li, B. (2019). Release mechanism of a novel slow-release nitrogen fertilizer. *Particuology*, 45, 124-130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.partic.2018.09.005>