



## Original article

**Effects of different irrigation levels on biochemical traits, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) under conservation and conventional tillage systems**Nezam Karzani<sup>1</sup>, Ehsan Zeidali<sup>2</sup>, Yaser Alizadeh<sup>2\*</sup>, Hamzeh Ali Alizadeh<sup>3</sup>, Ekhlās Amini<sup>4</sup>

1. Ph.D. student of Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

4. PhD in Crop Ecology, Ilam Agricultural Jihad Organization, Ilam, Iran

Received 27 January 2025; Revised 14 March 2025; Accepted 21 March 2025

**Extended abstract****Introduction**

Water stress is a primary limiting factor for plant growth and crop productivity. Given the scarcity of water resources in Iran and the need to enhance water use efficiency (WUE), various deficit irrigation strategies have become essential for sustainable agricultural water management. Regulated deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) are two important management approaches under water-limited conditions. Conservation tillage is a fundamental practice in conservation agriculture that can effectively mitigate the adverse impacts of water stress on plant growth and yield. In agroecosystems, conservation tillage enhances crop productivity and promotes sustainability while conserving water resources and improving environmental quality. Therefore, this study aimed to evaluate the responses of maize yield, yield components, and biochemical traits to different tillage systems and irrigation regimes in Ilam.

**Materials and methods**

The field experiment was conducted as a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications at the research farm of the Faculty of Agriculture, Ilam University, during the 2022–2023 growing season. The main plots consisted of three tillage levels (no-tillage, minimum tillage, and conventional tillage), while the subplots included five irrigation regimes (irrigation at 100, 75, and 50% of soil field capacity, and variable PRD at 75 and 50% of soil field capacity).

**Results and discussion**

Significant interaction effects of the studied factors were observed on grain yield, biological yield, total phenols, and ear height. Increasing the irrigation level from 50% to 100% field capacity significantly improved the number of rows per ear, 100-grain weight, and both grain and biological yields. The highest grain and biological yields were obtained under irrigation at 100% of soil field capacity combined with conventional tillage (11,479 and 24,623 kg ha<sup>-1</sup>, respectively), likely due to improved soil structure, enhanced root development, and reduced competition for water uptake. Also, the highest 100-grain weight (30.24 g) was recorded under full irrigation conditions. The maximum number of rows per ear (15.62), harvest index (46.62%), and chlorophyll content (a, b, and total: 13.1, 9.25, and 22.36 mg g<sup>-1</sup> FW, respectively) were recorded under 100% irrigation. Chlorophyll a, b, and total contents were higher under 50% PRD irrigation compared to 50% deficit irrigation. The highest carotenoid content was recorded under 50% deficit irrigation (3.56 mg g<sup>-1</sup> FW) and under conventional tillage (3.34 mg g<sup>-1</sup>

\* Corresponding author: Yaser Alizadehi; E-Mail: [y.alizadeh@ilam.ac.ir](mailto:y.alizadeh@ilam.ac.ir)



FW). Water deficit decreased chlorophyll content and increased carotenoids, indicating a physiological response of the plant to water stress. Total phenol content also increased under drought stress, indicating plant adaptation to adverse environmental conditions. The highest total phenol content (6.88 mg gallic acid g<sup>-1</sup> FW) was observed under conventional tillage combined with 75% PRD irrigation. Furthermore, cob height reached its maximum under no-tillage conditions at both 75% and 100% irrigation levels (105.8 and 105.67 cm, respectively), with no significant difference between these two treatments. The no-tillage system outperformed other tillage treatments under deficit irrigation by enhancing soil moisture retention, thereby promoting higher dry matter accumulation.

### **Conclusion**

The findings indicate that irrigation levels and tillage systems significantly affect maize agronomic and biochemical traits. Under deficit irrigation conditions, the best performance was achieved with PRD. Integrating PRD with a no-tillage system can enhance water use efficiency and promote dry matter accumulation. Furthermore, preserving natural soil structure and crop residues improves soil moisture retention, thereby mitigating the adverse impacts of drought stress.

**Keywords:** Conservation agriculture, Drought stress, Phenolic compounds, Photosynthetic pigments, Root zone irrigation

## اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و متداول

نظام کارزانی<sup>۱</sup>، احسان‌اله زیدعلی<sup>۲</sup>، یاسر علیزاده<sup>۳\*</sup>، حمزه‌علی علیزاده<sup>۳</sup>، اخلاص امینی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

۲. استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

۳. استادیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

۴. دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، سازمان جهاد کشاورزی ایلام، ایلام

### چکیده

### مشخصات مقاله

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه ذرت تحت شرایط خاک‌ورزی حفاظتی و متداول آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام انجام شد. کرت‌های اصلی شامل: سه سطح خاک‌ورزی (بی‌خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول) و کرت‌های فرعی شامل: پنج رژیم آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌صورت کامل و ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌صورت PRD متغیر بود. روش آبیاری مورد استفاده از نوع سیستم آبیاری قطره‌ای - نوار تیپ استفاده گردید. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک تحت شرایط خاک‌ورزی متداول (به ترتیب ۱۱۴۷۹ و ۲۴۶۲۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد؛ همچنین بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۵/۶۲)، بالاترین شاخص برداشت (۴۴/۶۲ درصد) و بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب (۱۳/۱، ۹/۲۵ و ۲۲/۲۶ میلی‌گرم بر گرم تر برگ) در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. سطوح آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تحت شرایط بدون خاک‌ورزی دارای بیشترین ارتفاع استقرار بلال (به ترتیب ۱۰۵/۸ و ۱۰۵/۶۷ سانتیمتر) بودند. بیشترین میزان کاروتنوئید در سطح آبیاری ۵۰ درصد کم آبیاری (۳/۵۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و در خاک‌ورزی متداول نیز (۳/۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) حاصل شد. نتایج کلی این پژوهش نشان داد علاوه بر آبیاری ۱۰۰ درصد، آبیاری در سطح ۷۵ درصد ظرفیت زراعی هم می‌تواند عملکرد بالا و قابل توجهی داشته باشد و هم در مصرف آب صرفه‌جویی شود؛ همچنین از میزان عملکرد دانه، کلروفیل، کاروتنوئید و فنول کل برای بررسی واکنش‌های ذرت به روش خاک‌ورزی و تنش آبی بهره برد.

واژه‌های کلیدی:

آبیاری ناحیه‌ای ریشه

ترکیبات فنولی

تنش خشکی

رنگیزه‌های فتوسنتزی

کشاورزی حفاظتی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

### مقدمه

همچنین عملکرد گیاهان زراعی را به میزان قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد و به طور متوسط، باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد آن‌ها می‌شود (Wang et al., 2003). با توجه به وضعیت منابع آبی کشور و تلاش برای تولید محصولات بیشتر در واحد حجم آب، روش‌های مختلف مدیریت کم آبیاری از مهم‌ترین رویکردهای مدیریت آب در این بخش است. کم

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، تولید محصولات زراعی با چالش کمبود آب و تأثیر آن بر گیاهان به شکل تنش خشکی مواجه است (Bazrgar et al., 2023). تنش کم‌آبی یکی از عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان است. این تنش، فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را مختل کرده و مانع از توسعه و بهره‌وری گیاه می‌شود (Gheysari et al., 2009; Seleiman et al., 2021).

می‌شوند. همچنین، آن‌ها می‌توانند قدرت شخم‌پذیری خاک را نیز بهبود بخشند (Salehi et al., 2011). بی‌خاک‌ورزی به دلیل تأثیر مستقیمی که بر خاک دارد، قادر است ویژگی‌های فیزیکی و فرآیندهای دینامیکی خاک را در طول زمان و در مکان‌های مختلف تغییر دهد (Strudley et al., 2008). بر اساس مطالعات انجام شده توسط جین و همکاران (Jin et al., 2009) مشخص شده است که سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نه تنها عملکرد دانه مناسبی را به همراه دارند، بلکه می‌توانند مصرف آب گیاه را تا ۱۵/۸ درصد کاهش دهند.

این پژوهش با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با بررسی سطوح مختلف آبیاری به دنبال ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف آب و انواع خاک‌ورزی به منظور شناسایی بهترین روش برای حفظ رطوبت خاک و بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و عملکرد ذرت خواهد بود.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل: سه سطح خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی متداول) و کرت‌های فرعی شامل: پنج رژیم آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به صورت کامل و ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به صورت PRD متغیر بود. در طول فصل رشد مجموع تبخیر پتانسیل ۱۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای حداقل و حداکثر در طول دوره رشد، به ترتیب ۱۷/۷ و ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱). در جدول ۱ نیز مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه ارائه شده است.

مزرعه سال قبل از اجرای آزمایش زیر کشت گندم بود و در بهار سال ۱۴۰۲ اقدام به آماده‌سازی زمین گردید و بر اساس تیمارهای خاک‌ورزی زمین شخم زده شد. برای خاک‌ورزی متداول با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار تا عمق

آبیاری کنترل شده RDI<sup>۱</sup> و خشک کردن موضعی ریشه PRD<sup>۲</sup> دو رویکرد مدیریتی مهم در شرایط کم آبی هستند (Saeedinia et al., 2018). در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش تنفس و کاهش تولید انرژی در سلول، ساخت رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد و این امر همراه با تخریب رنگیزه‌ها (ناشی از تنش اکسیداتیو ایجاد شده) سبب کاهش شدید مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (La lor and Cornic, 2012). نصر اله زاده اصل و همکاران (Nasrollehzaeh Asl, et al., 2017) گزارش کردند تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل (a+b) تا ۱۵/۷۱ درصد می‌گردد. گیاهان قادرند با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدها، از ساختار سلولی خود در برابر رادیکال‌های آزاد که در شرایط تنش ایجاد می‌شوند، محافظت کنند (Bettaieb et al., 2011). پلی‌فنول‌ها، به‌عنوان یکی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی، ترکیبات فعالی هستند که در شرایط آزمایشگاهی خواص آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی از خود نشان می‌دهند. این ترکیبات قادرند به‌طور مؤثری فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و نیتروژن را مهار کنند. از جمله مهم‌ترین انواع پلی‌فنول‌ها می‌توان به فلاونوئیدها و اسیدهای فنولی اشاره کرد (Di Domenico et al., 2012).

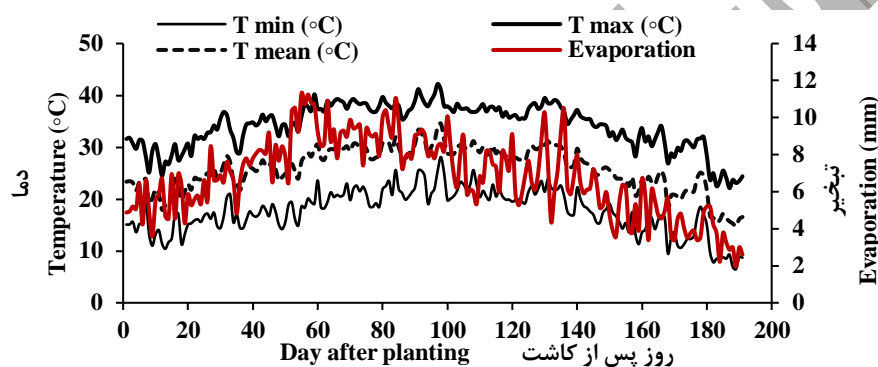
خاک‌ورزی حفاظتی، یکی از روش‌های ضروری در کشاورزی حفاظتی است که می‌تواند تأثیر تنش آبی بر رشد و عملکرد گیاهان را کاهش دهد. در اکوسیستم‌های زراعی، این نوع خاک‌ورزی نه تنها به حفظ و بهبود منابع آب و محیط‌زیست کمک می‌کند، بلکه باعث افزایش تولید محصولات و پایداری آن نیز می‌شود (FAO, 2014). خاک‌ورزی حفاظتی به روشی اطلاق می‌شود که در پی اجرای آن، پس از پایان دوره کشت، ۳۰ درصد از سطح خاک با بقایای گیاهی پوشانده می‌شود (Jarecki and Lal, 2003). در سیستم خاک‌ورزی حفاظتی میزان ورودی مواد آلی افزایش می‌یابد (Hu and Cao, 2007). بقایای گیاهان می‌توانند با جایگزینی یا تأمین عناصر غذایی در خاک، به حفظ باروری آن کمک کنند. این بقایا موجب افزایش غلظت مواد آلی در خاک، حفظ رطوبت، کاهش تبخیر، تحریک فعالیت‌های میکروبی، بهبود دانه‌بندی، کاهش نوسانات دمایی و ارتقاء ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

<sup>2</sup> Partial root zone drying

<sup>1</sup> Regulated deficit irrigation

فرعی به ترتیب ۲، ۲ و ۱ متر در نظر گرفته شد. بذور ذرت (رقم ای استار گروه فائو ۶۰۰) در ۱۰ خرداد ماه سال ۱۴۰۲ با فاصله ۲۰ سانتی متر از همدیگر و در عمق دو سانتی متری در ردیف‌های کاشت با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع به صورت دستی کشت گردید. به منظور اعمال صحیح و یکنواخت آبیاری واحدهای آزمایشی، آبیاری مزرعه با استفاده از نوار تیپ انجام شد و میزان آب مصرفی توسط کنتور اندازه‌گیری شد. تا زمان استقرار کامل گیاهان، همه کرت‌ها به میزان یکسان آبیاری شدند و پس از آن اعمال سطوح مختلف آبیاری آغاز شد.

۲۵-۳۰ سانتی متری زمین (بدون بقایای گیاهی) شخم زده و سپس با استفاده از دیسک، کلوخه‌های سطح مزرعه خرد و زمین را تسطیح نموده و با فاروئر اقدام به تهیه جوی و پشته برای کشت ذرت گردید. در کم‌خاک‌ورزی زمین با استفاده گاوآهن قلمی تا عمق ۳۰-۲۵ سانتی متری شخم زده شد به طوری که ۵۰ درصد بقایا در سطح خاک باقی ماند. در تیمار بدون خاک‌ورزی زمین بدون اعمال شخم و با پوشش ۱۰۰ درصدی بقایای گیاهی برای کشت مورد استفاده قرار گرفت. اندازه کرت‌های فرعی ۲×۲ مترمربع و چهار ردیف به فاصله ۵۰ سانتی متر بودند. فاصله بین بلوک‌ها، کرت‌های اصلی و



شکل ۱. حداقل، حداکثر و متوسط دمای روزانه و میزان تبخیر در طول دوره رشد ذرت در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲  
 Fig. 1. Minimum, maximum, and mean daily temperature and evaporation rate during the growing period of maize, the crop year 2021-2022

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک)

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental field soil (soil depth 0-30 cm)

اسیدیته PH	هدایت الکتریکی EC (ds.m <sup>-1</sup> )	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil Texture	کربن آلی Organic Carbon	فسفر N	نیتروژن P	پتاسیم K
		-----%				-----%	-----ppm-----		
7.41	0.185	27	45.5	27.5	لومی رسی Clay-loam	0.838	0.072	6.33	471.01

$$V = (\theta_{FC} - \theta) \times \rho_b \times D_r \times A \quad [2]$$

در این رابطه، V حجم آب ورودی بر حسب مترمکعب،  $\theta_{FC}$  درصد رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه،  $\theta$  درصد رطوبت وزنی قبل از آبیاری،  $\rho_b$  وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب،  $D_r$  عمق توسعه ریشه بر حسب متر و A مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع است ( $\theta_{FC} = 24$ ،  $\theta = 10$ ،  $\rho_b = 1/3$  و  $D_r = 55$ ). (میزان آب مصرفی در جدول ۲ ارائه شده است).

جهت اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید،

در هر مرحله از آبیاری به منظور تعیین میزان آب مصرفی، پیش از آبیاری از دستگاه TDR مدل R2V/6 ساخت شرکت Delta-T بر اساس رابطه ۱ برای اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده شد.

$$\theta_0 = 1.087 \times \theta_{TDR} - 0.03 \quad [1]$$

در این رابطه،  $\theta_0$  رطوبت اندازه‌گیری شده و  $\theta_{TDR}$  رطوبت قرائت شده با دستگاه TDR است. سپس حجم آب آبیاری برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی هر یک از تیمارها از رابطه ۲ محاسبه شد. برای سایر سطوح حجم آب آبیاری از حاصل ضرب ضریب تنش آبی در رابطه ۲ محاسبه شد.

فیزیولوژیک، صفات زراعی ذرت شامل ارتفاع استقرار بلال، تعداد ردیف دانه در بلال روی ۵ بوته از هر کرت اندازه‌گیری و میانگین آنها محاسبه شد. برای تعیین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن صد دانه در ذرت سطحی معادل یک مترمربع با لحاظ اثر حاشیه، برداشت شد. برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS (ver 9.4) و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ انجام شد برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نمونه‌گیری در مرحله گلدهی انجام گردید و از روش هیسوکس و ایسرائیلستام (Hiscox and Israelstam, 1979) استفاده شد. برای سنجش فنول کل، روش فولین - سینگلتون با کمی تغییرات (Singleton and Rossi, 1965) انجام شد ابتدا ۰/۱ گرم اسید گالیک با متانول به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و به آن محلول ۱۰ درصد فولین و کربنات سدیم ۷/۵ درصد اضافه شد. محلول به‌دست‌آمده به مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق نگهداری شد و بعد از آن میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. در مرحله رسیدگی

جدول ۲. حجم آب مصرفی هر یک از تیمارهای طی فصل رشد (متر مکعب در هکتار)

Table 2. Volume of water consumed by treatments during the growing season (Cubic meters per hectare)

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	سطوح آبیاری				
	۵۰ درصد PRD نیاز آبی 50% PRD of the water requirement	۷۵ درصد PRD نیاز آبی 75% PRD of the water requirement	۵۰ درصد نیاز آبی 50% of the water requirement	۷۵ درصد نیاز آبی 75% of the water requirement	۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% of the water requirement
حجم آب مصرفی Volume of water consumed	4436.5	6655	4436.5	6655	8873

آبیاری ۱۰۰ درصد نشان می‌دهد که نشانگر تحمل نسبی ذرت به تنش ملایم خشکی است. آبیاری ۵۰ درصد PRD نسبت به آبیاری ۵۰ درصد معمولی سبب افزایش ۵/۴ درصد در تعداد ردیف‌ها گردید. به نظر می‌رسد بهبود این روند به دلیل القای پاسخ‌های هورمونی مانند افزایش آبسزیک اسید برای تنظیم بازکردن روزنه‌ها، فعال‌سازی مسیرهای سیگنال دهی تحمل به خشکی در ریشه‌های در معرض تنش خشکی و توزیع بهینه منابع آبی در سیستم ریشه‌ای می‌باشد. آبسزیک اسید نقش مهمی در تنظیم تعرق و بهبود کارایی مصرف آب دارد. تیمارهای آبیاری PRD، ۷۵ و ۵۰ درصد نتایج بینابینی داشتند. محققین گزارش نمودند که کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۸۰ درصد نیاز آبی، باعث کاهش ۱۰ درصدی و از ۱۰۰ به ۶۰ درصد نیاز آبی، باعث کاهش ۱۷ درصدی در تعداد ردیف در بلال گردید (Hossein Niya et al., 2017). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که با کاهش مقدار آب آبیاری، تعداد ردیف بلال نیز کاهش یافت (Ebrahimi et al., 2022).

## نتایج و بحث

### تعداد ردیف در بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تعداد ردیف در بلال در سطح ۱ درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۳). باتوجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین تعداد ردیف در بلال در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و کمترین تعداد ردیف در بلال در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به دست آمد (جدول ۴). در واقع کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه موجب کاهش ۱۶/۰۷ درصدی تعداد ردیف در بلال گردید. این کاهش ناشی از اختلال در تقسیم سلولی و رشد سلول‌ها در مریستم انتهایی بلال، کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دلیل محدودیت فتوسنتز (Gianquinto et al., 2003) و تسریع در پیری برگ‌ها و کوتاه‌شدن دوره پرشدن دانه می‌باشد (Mousavi et al., 2015). آبیاری ۷۵ درصد تنها ۴/۴ درصد کاهش تعداد ردیف در بلال نسبت به

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر صفات زراعی ذرت در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی

Table 3. Variance analysis of the effect of different levels of irrigation on the agricultural traits of corn under conservation tillage conditions

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	تعداد ردیف در بلال No. of row per ear	ارتفاع استقرار بلال Ear position	وزن صد دانه 100 Grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت Harvest index
Block	بلوک	2	1.638 <sup>ns</sup>	297.360 <sup>**</sup>	16.726 <sup>**</sup>	14563552.36 <sup>**</sup>	39180534 <sup>**</sup>	94.388 <sup>**</sup>
Tillage	خاک‌ورزی	2	3.894 <sup>ns</sup>	1359.403 <sup>**</sup>	8.251 <sup>ns</sup>	2792829.09 <sup>**</sup>	17068541.8 <sup>*</sup>	34.207 <sup>ns</sup>
Error a	خطای a	4	0.238	54.126	6.7488	685931.02	9380029.2	27.423
Irrigation Level	سطوح آبیاری	4	8.595 <sup>**</sup>	53.583 <sup>ns</sup>	22.008 <sup>*</sup>	20614800.81 <sup>**</sup>	76040622.6 <sup>**</sup>	46.291 <sup>*</sup>
Tillage × Irrigation	خاک‌ورزی × آبیاری	8	0.967 <sup>ns</sup>	109.719 <sup>*</sup>	7.606 <sup>ns</sup>	2003335.48 <sup>**</sup>	13589602.2 <sup>**</sup>	6.346 <sup>ns</sup>
Total Error	خطای کل	24	1.421	39.831	6.588	448958.4	3454475.8	11.026
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	8.267	7.1994	9.113	8.300	9.397	8.133

ns: not significant. \*, \*\* and \*\*\*: significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

ns: not significant. \* and \*\*: significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین تأثیر سطوح آبیاری بر صفات زراعی و بیوشیمیایی ذرت در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی

Table 4. Comparison of the average effect of different levels of irrigation on agronomic and biochemical traits of corn under conservation tillage conditions

Irrigation treatment	تیمار آبیاری	تعداد ردیف در بلال No. of row per ear	وزن صد دانه 100 Grain Eight gr	شاخص برداشت Harvest Index %	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Ccarotenoid
					mg.g <sup>-1</sup> FW			
I <sub>1</sub>	آبیاری ۱۰۰٪	15.62 <sup>a</sup>	30.24 <sup>a</sup>	44.62 <sup>a</sup>	13.10 <sup>a</sup>	9.25 <sup>a</sup>	22.36 <sup>a</sup>	2.70 <sup>d</sup>
I <sub>2</sub>	آبیاری ۷۵٪	14.93 <sup>ab</sup>	27.60 <sup>bc</sup>	40.97 <sup>b</sup>	11.44 <sup>ab</sup>	7.91 <sup>a</sup>	19.35 <sup>ab</sup>	3.08 <sup>bc</sup>
I <sub>3</sub>	آبیاری ۵۰٪	13.11 <sup>c</sup>	29.33 <sup>ab</sup>	40.27 <sup>b</sup>	8.32 <sup>c</sup>	5.73 <sup>b</sup>	14.05 <sup>c</sup>	3.56 <sup>a</sup>
I <sub>4</sub>	آبیاری ۷۵٪ PRD	14.62 <sup>ab</sup>	27.11 <sup>bc</sup>	39.12 <sup>b</sup>	10.97 <sup>ab</sup>	7.70 <sup>a</sup>	18.68 <sup>b</sup>	2.95 <sup>cd</sup>
I <sub>5</sub>	آبیاری ۵۰٪ PRD	13.82 <sup>bc</sup>	26.53 <sup>c</sup>	39.11 <sup>b</sup>	9.68 <sup>bc</sup>	7.47 <sup>ab</sup>	17.16 <sup>bc</sup>	3.37 <sup>ab</sup>

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند دارای تفاوت آماری در سطح پنج درصد نمی‌باشند.

I<sub>1</sub> ۱۰۰٪ آبیاری، I<sub>2</sub> ۷۵٪ آبیاری، I<sub>3</sub> ۵۰٪ آبیاری، I<sub>4</sub> ۷۵٪ PRD آبیاری، I<sub>5</sub> ۵۰٪ PRD آبیاری

In each column, the averages that have a common letter do not have a statistical difference at the five percent level (LSD=5%). I<sub>1</sub> 100% irrigation, I<sub>2</sub> 75% irrigation, I<sub>3</sub> 50% irrigation, I<sub>4</sub> 75% PRD irrigation, I<sub>5</sub> 50% PRD irrigation

#### وزن صد دانه

۵۰ درصد PRD کمترین میزان آن به دست آمد (جدول ۴).

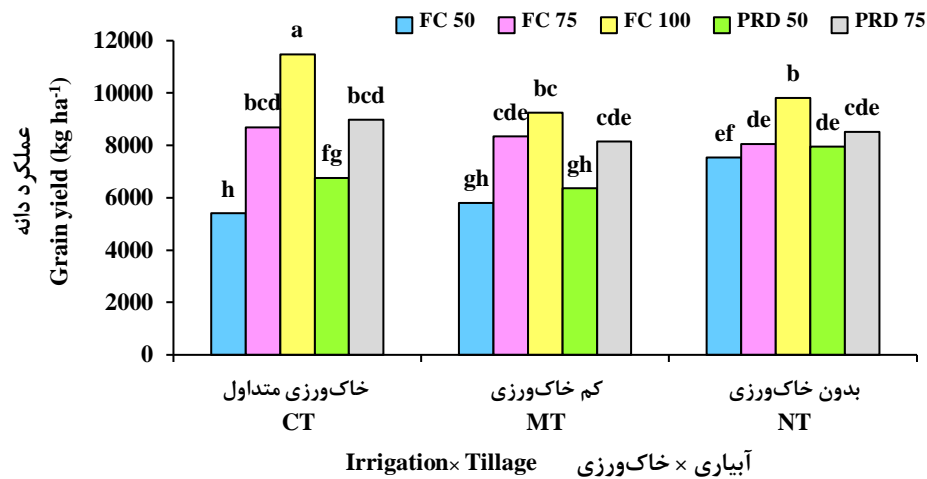
این کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به روش PRD موجب کاهش ۱۲/۲۷ درصدی وزن صد دانه گردید. در آبیاری ۷۵ درصد معمولی، وزن صد دانه کاهشی معادل ۸/۷ درصد را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه آن است

نتایج تجزیه واریانس نشان داد وزن صد دانه در سطح ۵ درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بیشترین میزان وزن صد دانه و در سطح آبیاری

### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری در خاک‌ورزی بر عملکرد دانه، در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و خاک‌ورزی متداول بوده که این میزان عملکرد نسبت به روش کم خاک‌ورزی حدود ۲۴/۲۳ درصد و نسبت به روش بدون خاک‌ورزی حدود ۱۶/۹۸ درصد بیشتر است. این برتری را می‌توان به چندین عامل نسبت داد از جمله خاک‌ورزی متداول با ایجاد ساختار مناسب خاک، شرایط بهتری برای توسعه ریشه و دسترسی به مواد غذایی فراهم می‌کند. همچنین، خاک‌ورزی متداول با کاهش تراکم خاک و بهبود تهویه، امکان رشد بهتر گیاه را در شرایطی که آب کافی وجود دارد، فراهم می‌سازد و کنترل علف‌های هرز نیز به شکل مؤثرتری انجام می‌شود که این امر رقابت برای جذب آب و مواد غذایی را کاهش می‌دهد. همچنین کمترین عملکرد در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و خاک‌ورزی متداول به دست آمد (شکل ۲).

که در آبیاری ۵۰ درصد معمولی، وزن صد دانه تنها ۳ درصد کاهش داشته که تفاوت آماری معنی‌داری با آبیاری کامل نداشته است. این نتیجه نشان می‌دهد برخلاف سایر صفات، برای وزن صد دانه، روش کم آبیاری معمولی در سطح ۵۰ درصد عملکرد بهتری نسبت به روش PRD داشته است. وقتی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد برای این که از اثرهای تنش فرار کند اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند، بنابراین به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه و تأثیر منفی تنش کم آبی بر فتوسنتز جاری در نهایت مواد منتقل شده به دانه کاهش و وزن هزار دانه کم می‌شود. همچنین کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش کم آبی را می‌توان به کمتر بودن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای قبل از مرحله گرده‌افشانی در اندام‌های رویشی و کاهش دوام سطح برگ که در نتیجه دوره پر شدن دانه‌ها را کوتاه می‌نماید، نسبت داد (Mousavi et al., 2015). محققین گزارش دادند با کاهش سطح آبیاری، وزن هزار دانه نیز کاهش یافت که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد (Nakhjavani Moghadam et al., 2011).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و سطوح آبیاری بر عملکرد دانه

Fig. 2. Comparison of the average interaction effect of tillage and irrigation levels on grain yield. NT: No Tillage, MT: Minimum Tillage, CT: Conventional Tillage.

۳۹/۴ درصد بیشتر از خاک‌ورزی متداول و آبیاری ۵۰ درصد و حدود ۲۹/۶ درصد بیشتر از کم‌خاک‌ورزی و آبیاری ۵۰ درصد بوده است. همچنین در تیمارهای آبیاری با روش PRD الگوهای متفاوتی مشاهده می‌شود. در شرایط PRD با ۷۵٪ آبیاری، خاک‌ورزی متداول ۱۰/۲۱ درصد بیشتر از کم

در تیمارهای کم آبیاری معمولی و PRD، عملکرد به طور معنی‌داری کاهش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با کاهش میزان آبیاری به ۵۰ درصد، افت عملکرد در سیستم بی‌خاک‌ورزی کمتر از دو سیستم دیگر بوده است. عملکرد دانه در تیمار بدون خاک‌ورزی و آبیاری ۵۰ درصد حدود

خاکورزی و ۵/۲۹ درصد بیشتر از بدون خاکورزی عملکرد داشته است. اما در شرایط PRD با ۵۰٪ آبیاری، روش بدون خاکورزی ۱۵/۲۱ درصد بیشتر از خاکورزی متداول و ۲۵/۲۹ درصد بیشتر از کم خاکورزی عملکرد داشته است. این نتایج تأییدکننده کارایی بیشتر روش بدون خاکورزی در شرایط کم آبی است. تکنیک PRD با آبیاری بخشی از منطقه ریشه و خشک نگه داشتن بخش دیگر، موجب بهبود کارایی مصرف آب می‌شود. ترکیب این روش با بدون خاکورزی، که به حفظ رطوبت خاک کمک می‌کند، نتایج قابل توجهی را در شرایط کم آبیاری به همراه داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط کم آبی، سیستم بی‌خاک‌ورزی با حفظ بیشتر رطوبت خاک می‌تواند عملکرد بهتری را نسبت به سیستم‌های دیگر داشته باشد. این نکته از نظر مدیریت پایدار منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار حائز اهمیت است. محققین معتقدند که دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری، کاهش فتوسنتز و بازجذب مواد در طول دوره پر شدن دانه است (Gianquinto, et al., 2003). مقایسه عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نشان می‌دهد که تیمار بدون خاک‌ورزی و آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ۵/۸ درصد نسبت به تیمار کم خاک‌ورزی و آبیاری ۱۰۰ درصد برتری داشته است. اگرچه اختلاف بین این دو تیمار از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲)، اما به نظر می‌رسد که در سیستم بدون خاک‌ورزی نسبت به کم خاک‌ورزی، ساختار طبیعی خاک دست نخورده باقی مانده و رشد بیشتر و بهتر ریشه شرایط جذب عناصر غذایی را در گیاه بهبود داد. پژوهشگران در بررسی روش‌های خاک‌ورزی در ذرت به این نتیجه رسیدند که خاک‌ورزی متداول با ۱۰/۶۱ تن در هکتار عملکرد دانه و بی‌خاک‌ورزی با ۶/۸۶ تن در هکتار کمترین عملکرد را داشتند و کم خاک‌ورزی با ۸/۹۹ تن در هکتار بین این دو قرار گرفت (Videnović et al., 2011). نتایج پژوهش عزیزپور و همکاران (Azizpour et al., 2017) نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه در بین تیمارهای آبی به میزان ۶۷۵۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین مقدار عملکرد دانه به میزان ۴۰۵۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار کم آبیاری بود.

### عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری در خاک‌ورزی بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۱ درصد

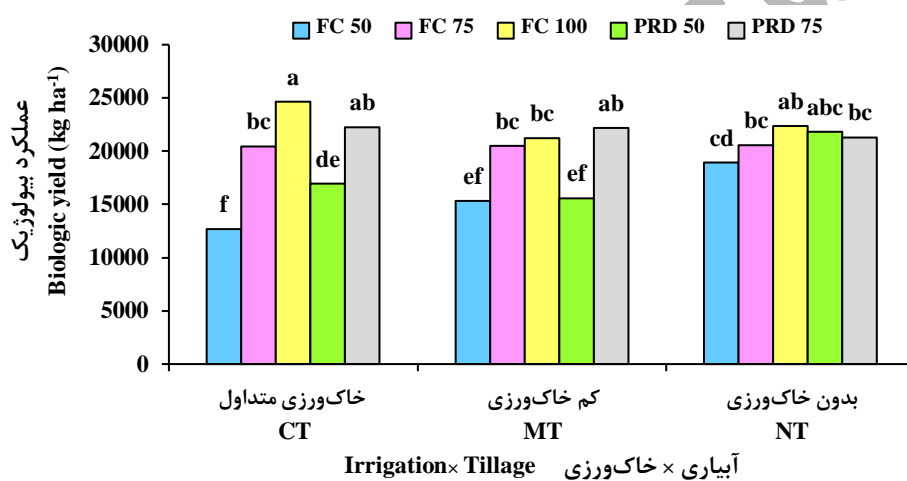
معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و خاک‌ورزی متداول و کمترین عملکرد در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و خاک‌ورزی متداول با ۴۸/۶ درصد کاهش به دست آمد (شکل ۳). کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار کم خاک‌ورزی و آبیاری ۵۰ درصد معمولی نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰ درصد آن، ۲۸ درصد و در تیمار بدون خاک‌ورزی ۱۵/۴ درصد بود. استفاده از روش آبیاری PRD در سطوح آبیاری ۷۵٪ و ۵۰٪، باعث کاهش کمتر عملکرد بیولوژیک نسبت به آبیاری کامل شده است. به عنوان مثال، در خاک‌ورزی متداول، استفاده از PRD در سطح آبیاری ۷۵٪، عملکرد را فقط ۱۰٪ کاهش می‌دهد، در حالی که بدون PRD، این کاهش ۱۷٪ است. در سطوح پایین‌تر آبیاری، تیمارهای بدون خاک‌ورزی عملکرد بیولوژیک بهتری نسبت به تیمارهای خاک‌ورزی متداول و کم خاک‌ورزی نشان دادند. برای مثال، عملکرد بیولوژیک تیمار بدون خاک‌ورزی PRD ۵۰ درصد قابل مقایسه با تیمارهای با آبیاری بیشتر بود و در گروه آماری abc قرار گرفت. این یافته نشان می‌دهد که در شرایط محدودیت آب، سیستم بدون خاک‌ورزی می‌تواند با حفظ بهتر رطوبت خاک، تولید ماده خشک بیشتری داشته باشد. از آنجا که تنش ناشی از کمبود آب می‌تواند با کاهش سطح برگ‌ها و کاهش تولید کربوهیدرات، عملکرد علوفه در ذرت را تحت تأثیر قرار دهد، به نظر می‌رسد کمبود رطوبت می‌تواند با تسریع فرایند پیرشدن برگ‌ها، تولید مواد پرورده را کاهش داده و در نتیجه منجر به کاهش وزن زیست‌توده در گیاه شود (Hossein et al., 2017). مقدار بالای جذب آب در تیمار PRD نسبت به سایر تیمارهای کم آبیاری می‌تواند شرایط لازم را برای افزایش عملکرد بیولوژیک در این تیمار فراهم کند (Karandish et al., 2013). یاسین و همکاران (Yaseen et al., 2014) در پژوهشی روی عملکرد گیاه ذرت گزارش نمودند بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار آبیاری کامل و مقدار آن ۳۰ درصد بیشتر از تیمار کم آبیاری بود. پژوهشگران اعلام کردند عملکرد بیولوژیک ذرت در خاک‌ورزی متداول بیشتر از بدون خاک‌ورزی بوده است (Schmer et al., 2014).

### ارتفاع استقرار بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری در خاک‌ورزی بر ارتفاع استقرار بلال در سطح ۵ درصد

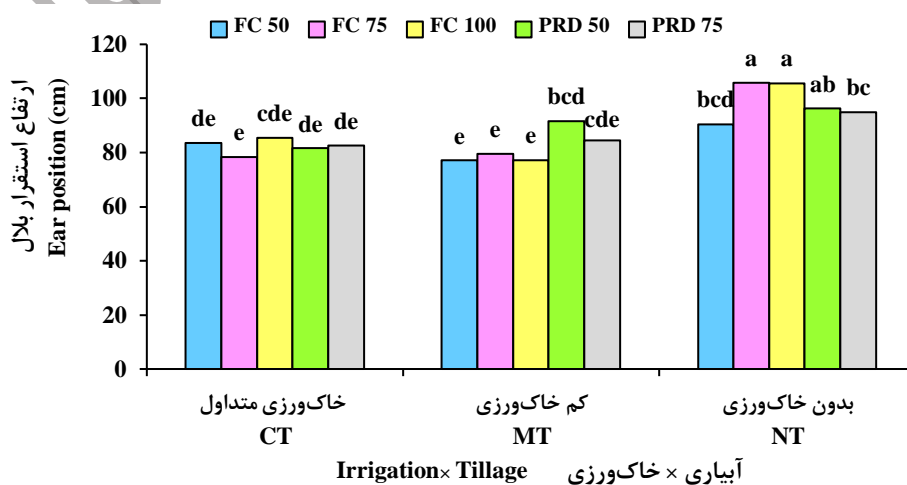
همچنین استفاده از بقایای گیاهی در سیستم‌های بدون خاک‌ورزی باعث افزایش مواد آلی در خاک می‌شود. این مواد آلی نه تنها به بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک کمک می‌کنند، بلکه ظرفیت نگهداری آب را نیز افزایش می‌دهند، بنابراین گیاه به‌دور از تنش‌های محیطی رشد نموده و رشد سریع‌تر موجب استقرار بلال در ارتفاع بالاتری خواهد شد. پژوهشگران اعلام نمودند که بیشترین ارتفاع استقرار بلال در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (Naderi et al., 2015).

معنی‌دار شد (جدول ۳). باتوجه به نتایج مقایسات میانگین، استقرار بلال در سطوح آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و در شرایط بدون خاک‌ورزی دارای بیشترین ارتفاع بودند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴). در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی، استفاده از آبیاری PRD به‌ویژه در سطوح آبیاری ۵۰ درصد باعث افزایش ارتفاع استقرار بلال شد. البته کلیه سطوح آبیاری در تیمار بدون خاک‌ورزی نسبت به سایر تیمارهای خاک‌ورزی به‌وضوح برتری دارند. به نظر می‌رسد که در شرایط سطوح آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، گیاه از آب کافی برخوردار است



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و سطوح آبیاری بر عملکرد بیولوژیک

Fig. 3. Comparison of the average interaction effect of tillage and irrigation levels on biological yield. NT: No Tillage, MT: Minimum Tillage, CT: Conventional Tillage.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و سطوح آبیاری بر ارتفاع استقرار بلال

Fig. 4. Comparison of the average interaction effect of tillage and irrigation levels on Ear position height. NT: No Tillage, MT: Minimum Tillage, CT: Conventional Tillage.

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر صفات بیوشیمیایی ذرت در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی

Table 5. Variance analysis of the effect of different levels of irrigation on the biochemical traits of corn under conservation tillage conditions

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Ccarotenoid	فنول کل Total phenol
Block	بلوک	2	9.324 <sup>ns</sup>	1.248 <sup>ns</sup>	14.793 <sup>ns</sup>	0.201 <sup>ns</sup>	2.022*
Tillage	خاک‌ورزی	2	1.234 <sup>ns</sup>	4.526 <sup>ns</sup>	2.211 <sup>ns</sup>	0.487*	19.904**
Error a	خطای a	4	1.578	7.155	7.195	0.236	0.7555
Irrigation Level	سطوح آبیاری	4	29.500*	14.277*	83.419**	1.029**	7.3898**
Tillage × Irrigation	خاک‌ورزی × آبیاری	8	0.882 <sup>ns</sup>	0.990 <sup>ns</sup>	2.310 <sup>ns</sup>	0.038 <sup>ns</sup>	2.884**
Total Error	خطای کل	24	7.028	3.593	10.603	0.124	0.5111
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	24.760	24.887	17.770	11.265	16.291

ns، \*، \*\* به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪. ns: not significant. \* and \*\*: significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

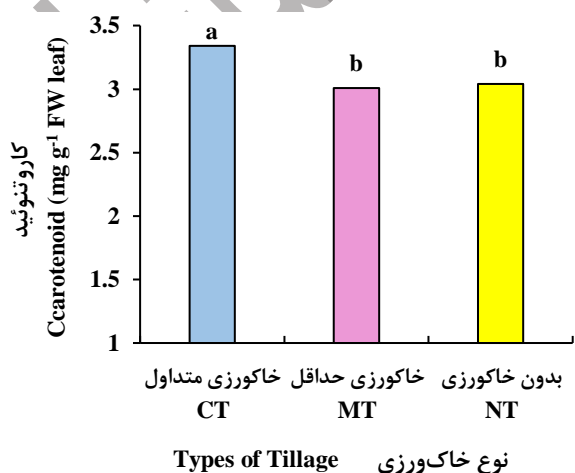
#### شاخص برداشت

#### محتوای کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد شاخص برداشت در سطح ۵ درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۳). باتوجه به نتایج مقایسه میانگین در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، بالاترین شاخص برداشت و در سطح آبیاری ۵۰ درصد PRD پایین‌ترین شاخص برداشت حاصل شد (جدول ۴). با کاهش آب مصرفی، شاخص برداشت در تمامی تیمارها کاهش یافته است. در روش آبیاری معمولی ۷۵ درصد، شاخص برداشت به ۸/۲ درصد کاهش و در آبیاری ۵۰ درصد به ۹/۷ درصد کاهش رسیده است. در مقابل، روش PRD در سطح ۷۵ درصد و ۵۰ درصد، کاهش بیشتری (حدود ۱۲/۳ درصد) نسبت به آبیاری کامل نشان داده‌اند. این نتایج حاکی از آن است که روش PRD تأثیر منفی بیشتری بر شاخص برداشت در مقایسه با روش کم‌آبیاری معمولی داشته است. باتوجه به نتایج، اعمال کم‌آبیاری موجب پایین آمدن شاخص برداشت در گیاه ذرت گردید. نتایج پژوهشی نیز نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری، شاخص برداشت نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (Marashi and Makvandizade, 2019).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کلروفیل کل در سطح ۱ درصد و کلروفیل a و کلروفیل b در سطح ۵ درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری معنی‌دار شدند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به دست آمد و در روش کم‌آبیاری معمولی ۵۰ درصد، کاهش شدیدی در میزان کلروفیل a (۳۶/۵ درصد کاهش)، کلروفیل b (۳۸/۱ درصد کاهش) و کلروفیل کل (۳۷/۲ درصد کاهش) مشاهده شد و کمترین میزان کلروفیل را در بین سطوح آبیاری به خود اختصاص داد (جدول ۴). در مقابل، روش PRD در سطح ۵۰ درصد، محتوای کلروفیل بالاتری نسبت به روش کم‌آبیاری معمولی با همان میزان آب نشان داد. کلروفیل a، ۲۶/۱ درصد، کلروفیل b، ۱۹/۲ درصد و کلروفیل کل، ۲۳/۳ درصد کاهش را نسبت به آبیاری کامل داشتند. این نتایج نشان‌دهنده برتری قابل توجه روش PRD در حفظ محتوای کلروفیل در شرایط تنش شدید آبی است، که می‌تواند منجر به حفظ بهتر ظرفیت فتوسنتزی گیاه شود. این یافته‌ها توسط پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است (Rezai et al., 2024). در طی تنش خشکی، تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، منجر به اکسیداسیون رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود که در نهایت کاهش آنها در برگ را در پی

۹/۳ و ۲۴/۸ درصد افزایش نسبت به آبیاری کامل داشته است. افزایش کاروتنوئیدها در شرایط تنش آبی یک مکانیسم دفاعی گیاه برای مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن است. مقایسه روش‌های آبیاری نشان می‌دهد که در هر دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، روش آبیاری PRD افزایش کمتری در میزان کاروتنوئید نسبت به روش کم آبیاری معمولی داشته است، که می‌تواند نشان‌دهنده تنش کمتر در روش آبیاری PRD باشد. این موضوع با نتایج مطالعات رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2024) همخوانی دارد. در شرایط تنش خشکی به دلیل بسته شدن روزنه‌های گیاه و مختل شدن بخش تاریکی فتوسنتز، یکی از مسائل مهم، حل مشکل انرژی مازاد نوری جذب شده توسط رنگدانه‌های فتوسنتزی است. گیاهان راهکارهای مختلفی برای حل این مشکل دارند، یکی از این راهکارها افزایش میزان کاروتنوئید نسبت به کلروفیل بوده تا از طریق این رنگدانه از کلروفیل‌ها محافظت به عمل آید. بالا بودن میزان کاروتنوئید در اندام هوایی گیاهان می‌تواند سیستم فتوسنتزی گیاهان را از احتمال پراکسیده شدن توسط انواع اکسیژن فعال محافظت کند (Lacho icz et al., 2018). به نظر می‌رسد دلیل بالاتر بودن میزان کاروتنوئید در خاک‌ورزی متداول، تنش خشکی بیشتر در این نوع خاک‌ورزی نسبت به روش‌های کم خاک‌ورزی یا بدون خاک‌ورزی باشد.



شکل ۵. مقایسه میانگین نوع خاک‌ورزی بر میزان کاروتنوئید  
**Fig. 5. Comparison of the average type of tillage on the amount Carotenoids. NT: No Tillage, MT: Minimum Tillage, CT: Conventional Tillage.**

دارد (Santos et al., 2001). کاهش سطح کلروفیل ممکن است ناشی از تغییر مسیر سوخت‌وساز نیتروژن به سمت تولید موادی مانند پرولین باشد که در تنظیم فشار اسمزی گیاهان نقش کلیدی دارند (Lawlor, 2000). بررسی‌های اخیر نقش آبسزیک اسید (ABA) را در گیاهان تحت آبیاری جزئی ناحیه ریشه (PRD) برجسته می‌کند و بر اهمیت آن در سیگنال‌دهی بین ریشه‌ها و اندام‌های هوایی تأکید می‌کند. هنگامی که بخشی از سیستم ریشه خشکی را تجربه می‌کند، آبسزیک اسید تولید می‌شود که منجر به بسته شدن نسبی روزنه می‌شود، که تعرق را کاهش می‌دهد و بازده مصرف آب را افزایش می‌دهد و در عین حال سطح کلروفیل را حفظ می‌کند. این استراتژی دوگانه به گیاهان اجازه می‌دهد تا با فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی بدون متحمل شدن آسیب شدید، از تنش خشکی بهره‌مند شوند (Sonawane and Shrivastava, 2022, Tamrat) (Alemu, 2020).

#### کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان کاروتنوئید تحت تأثیر خاک‌ورزی در سطح ۵ درصد و تحت تأثیر سطوح آبیاری در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسات میانگین بیشترین میزان کاروتنوئید در خاک‌ورزی متداول و کمترین میزان آن در کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی به دست آمد که در خاک‌ورزی متداول نسبت به کم خاک‌ورزی ۱۰/۹۶ درصد و نسبت به بدون خاک‌ورزی ۹/۸۷ درصد افزایش در پی داشته است (شکل ۵).

میر و همکاران (Mir et al., 2023) گزارش نمودند که بیشترین میزان کاروتنوئید در چای ترش (*Hibiscus sabdariffa L.*) در خاک‌ورزی متداول به دست آمد. همچنین بیشترین میزان کاروتنوئید در سطح آبیاری ۵۰ درصد کم آبیاری و کمترین میزان آن در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد به دست آمد که معادل ۳۱/۸۵ درصد کاهش داشت (جدول ۴).

برخلاف سایر صفات، میزان کاروتنوئید با کاهش آب مصرفی در تمامی تیمارها افزایش یافته است. در کم آبیاری معمولی ۷۵ درصد میزان کاروتنوئید معادل ۱۴/۱ درصد افزایش نسبت به آبیاری کامل داشته است. در روش PRD، در سطوح ۷۵ درصد و ۵۰ درصد، میزان کاروتنوئید معادل

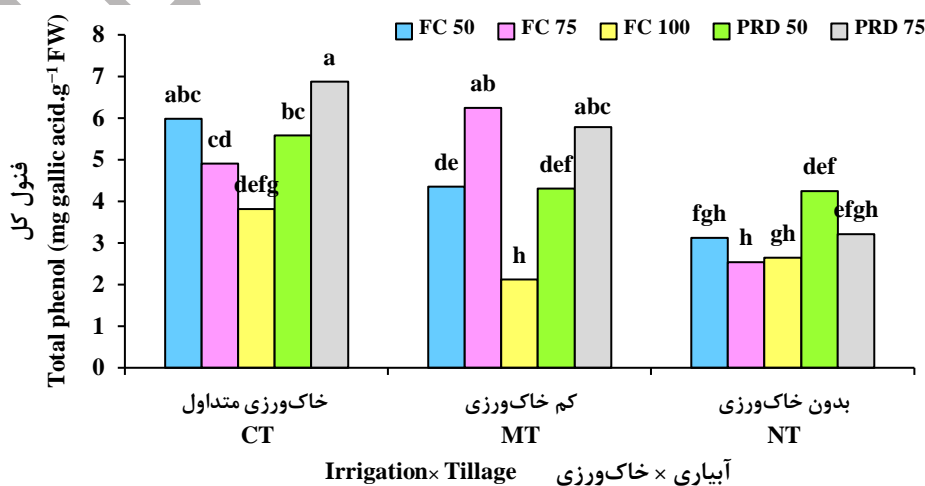
## فنول کل

القا می‌کند و باعث می‌شود که گیاه انرژی بیشتری را برای تولید فنول صرف کند به همین دلیل در شرایط PRD درصد فنول بالاتری تولید شده است. افزایش تولید ترکیبات فنولی در پاسخ به خشکی متوسط در گونه‌های گیاهی مانند مریم‌گلی گزارش شده است که ظرفیت تولید آنها در شرایط تنش شدید کمتر است (Bettaieb, et al. 2011). به نظر می‌رسد که نوع خاک‌ورزی به طور مستقیم تأثیری بر میزان فنول نداشته باشد و به صورت غیرمستقیم با تأثیری که بر میزان آب در دسترس گیاه می‌گذارد بر روی تولید فنول اثرگذار باشد. در خاک‌ورزی متداول به دلیل برگرداندن خاک، و عدم وجود بقایای گیاهی در آن، تبخیر سطحی خاک افزایش پیدا کرده و تنش خشکی برای گیاهان شدیدتر بوده است. به همین دلیل میزان فنول افزایش یافته است و در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی که میزان آب در دسترس گیاه بیشتر است میزان فنول کاهش یافته است. سیمیک و همکاران (Simic et al., 2020) با بررسی سه روش خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول) گزارش نمودند که محتوی فنول در ذرت با تشدید خاک‌ورزی از ۲۷۱ میکروگرم بر گرم در بدون خاک‌ورزی به ۲۴۵ میکروگرم بر گرم در کم خاک‌ورزی کاهش یافت و خاک‌ورزی متداول نیز در بین این دو با ۲۵۳ میکروگرم بر گرم قرار گرفت هر چند با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری در خاک‌ورزی بر فنول کل در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسات میانگین نشان داد بیشترین میزان فنول کل در خاک‌ورزی متداول و آبیاری PRD ۷۵ درصد و کمترین میزان آن در کم خاک‌ورزی و سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه به دست آمد (شکل ۶).

در خاک‌ورزی متداول کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد موجب ۵۶/۸ درصد افزایش فنول و کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد PRD، ۷۹/۵ درصد افزایش فنول کل شد. در خاک‌ورزی حداقل و آبیاری ۷۵ درصد معمولی موجب ۱۹۴/۸ درصد افزایش فنول کل نسبت به آبیاری کامل گردید. همچنین فنول کل در بدون خاک‌ورزی و آبیاری ۵۰ درصد PRD، ۶۱ درصد بیشتر از آبیاری ۱۰۰ درصد بود.

یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهد که تنش خشکی موجب القای بیوسنتز ترکیبات فنولی در گیاهان می‌گردد (Ghorbanli et al., 2012). این پدیده به عنوان یکی از مکانیسم‌های دفاعی گیاه در پاسخ به تنش خشکی تفسیر می‌شود که نقش مهمی در سازگاری گیاه به شرایط کمبود آب ایفا می‌کند (Barchet et al., 2014). آبیاری PRD در مقایسه با کم آبیاری تنش خشکی کمتری به گیاه وارد می‌کند؛ زیرا به صورت واقعی تنش وجود ندارد و سطح فتوسنتزی گیاه بالاتر است و از طرف دیگر، تنش را به گیاه



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و سطوح آبیاری بر میزان فنول کل

Fig. 6. Comparison of the interaction effect of tillage and irrigation level on total phenol content. NT: No Tillage, MT: Minimum Tillage, CT: Conventional Tillage.

## نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سطوح مختلف آبیاری و روش‌های خاک‌ورزی تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های زراعی و بیوشیمیایی ذرت دارند. اثرات متقابل این دو عامل بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، فنول کل و ارتفاع استقرار بلال در سطوح معنی‌دار مشاهده شد. به طور خاص، افزایش سطح آبیاری از ۵۰ درصد به ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک منجر به بهبود قابل توجهی در تعداد ردیف در بلال، وزن صد دانه، و عملکرد دانه و بیولوژیک گردید. بیشترین تعداد ردیف در بلال در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد، در حالی که کاهش سطح آبیاری به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش ۱۶/۰۷ درصدی تعداد ردیف‌ها گردید. بیشترین وزن صد دانه در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و خاک‌ورزی متداول حاصل شد که این برتری به دلیل ساختار مناسب خاک، توسعه بهتر ریشه‌ها و کاهش رقابت برای جذب

آب بود. در شرایط کم آبیاری بهترین عملکرد در PRD بدست آمده است همچنین، روش بدون خاک‌ورزی در شرایط کم‌آبی عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشت، زیرا با حفظ بیشتر رطوبت خاک توانست تولید ماده خشک بیشتری داشته باشد. محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها نیز تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار داشتند. کمبود آب منجر به کاهش کلروفیل و افزایش کاروتنوئیدها شد که نشان‌دهنده واکنش گیاه به تنش آبی است. در شرایط آبیاری ۵۰ درصد PRD میزان کلروفیل a, b و کل بیشتر از کم آبیاری ۵۰ درصد بود. همچنین، میزان فنول کل در شرایط تنش خشکی افزایش یافت که نشان‌دهنده سازگاری گیاه با شرایط نامساعد محیطی است. استفاده از تکنیک‌هایی مانند PRD همراه با سیستم بدون خاک‌ورزی می‌تواند کارایی مصرف آب را افزایش داده و تولید ماده خشک بیشتری را فراهم کند. علاوه بر آن، حفظ ساختار طبیعی خاک و بقایای گیاهی می‌تواند موجب افزایش رطوبت خاک شده و اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد.

## منابع

- Azizpour, S., Shahnazari, A., Ziatabar Ahmadi, M., Karandish, F., 2017. Evaluation of simultaneous effect of partial root zone drying and vermicompost on some physiological characteristics of maize (*Zea mays L.*) SC704. *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(5), 195-209. [In Persian with English summary]. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.12981.2761>
- Barchet, G.L., Dauwe, R., Guy, R.D., Schroeder, W.R., Soolanayakanahally, R.Y., Campbell, M.M., Mansfield, S.D., 2014. Investigating the drought-stress response of hybrid poplar genotypes by metabolite profiling. *Tree Physiology*. 34(11), 1203-1219. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt080>
- Bazrgar, G., Nabavi Kalat, S. M., Khorasani, S. K., Ghasemi, M., Kelidari, A., 2023. Effect of deficit irrigation on physiological, biochemical, and yield characteristics in three baby corn cultivars (*Zea Mays L.*). *Heliyon*. 9, e15477. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15477>
- Bettaieb, I., Hamrouni Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., Marzouk, B., 2011. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis L.* *Acta Physiologiae Plantarum*. 33, 1103-1111. <https://doi.org/10.1007/S11738-010-0638-Z>
- Di Domenico, F., Foppoli, C., Coccia, R., Perluigi, M., 2012. Antioxidants in cervical cancer: chemopreventive and chemotherapeutic effects of polyphenols. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1822, 737-747. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2011.10.005>
- Ebrahimi, M., Behmanesh, J., Rezaverdinejad, V., Varshavian, V., Azad, N., 2022. Evaluation of different levels of subsurface irrigation on yield and morphological traits of seed corn. *Water and Irrigation Management*. 12, 603-614. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/j.im.2022.340282.978>
- Food and Agriculture Organization, 2014. FAO, <https://FAO.org/ag/ca/1a.html>
- Gheysari, M. S., Mirlatifi, M., Bannayan, M., Homae, M., Hoogenboom, G., 2009. Interaction of water and nitrogen on Maize for silage. *Agricultural Water Management*. 96, 809-821.
- Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, Gh., Zakeri, A., 2012. Investigation on the effects of water stress on antioxidant compounds of *Linum usitatissimum L.* *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4), 647-658. [In

- Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4514>
- Gianquinto, G., Sambo, P., Bona, S., 2003. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: a methodological approach. *Acta Horticulturae*. 627, 225-230. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.607.30>
- Hiscox, J.D., Israelstam, G.F., 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*. 57(12), 1332-1334.
- Hossein Niya, A.M., Nizami, A., Kafi, M., Khavari Khorasani, S., Rezaei, J., 2017. The effect of low irrigation on the yield and its components in corn hybrids (*Zea Mays* L.) *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(4), 835-846. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.647.1136>
- Hu, Ch., Cao, Z.P., 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World Journal of Agricultural Sciences*. 3, 63-70.
- Jarecki, M. K., Lal, R., 2003. Crop management for soil carbon sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 22, 471-502. <https://doi.org/10.1080/713608318>
- Jin, H., Qingjie, W., Hongwen, L., Lijin, L., Huanwen, G., 2009. Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research*. 104, 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.08.015>
- Karandish, F., Mirlatifi, S. M., Shahnazari, A., Abbasi, F., Gheysari, M., 2013. Effect of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield and yield components of maize. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 44(1), 33-44. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2013.36123>
- Lacho Icz, S., Oszmiański, J., iśnie Ski, R., 2018. Determination of triterpenoids, carotenoids, chlorophylls, and antioxidant capacity in *Allium ursinum* L. at different times of harvesting and anatomical parts. *European Food Research and Technology*. 244, 1269-1280. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3042-3>
- La lor, D., Cornic, G., 2012. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plants, Cell and Environment*. 25, 275-294. <https://doi.org/10.1046/j.00168025.2001.00814.x>
- Lawlor, D.W., 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*. 89(7), 871-885. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf110>
- Marashi, S.K., Makvandi zadeh, Z., 2019. Effect of furrow irrigation patterns on yield and yield components of two corn varieties (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*. 11(39), 12-20. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085958.1398.11.39.2.8>
- Mir, Z., Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Ramroudi, M., Asgharipour, M.R., 2023. Effect of tillage systems, plant residue management and potassium fertilizer application on yield and some physiological characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*. 14, 633-647. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/agry.2022.20185.0>
- Mousavi, S.G., Thagha Al-Islami, M.J., Ansarinia, A. Javadi, H., 2015. The effect of drought stress and nitrogen fertilizer on the yield and efficiency of water use in calendula (*Calendula officinalis* L.). *Scientific-Research Iranian Medicinal and Aromatic Plants*. 28(3), 493-508. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.2967>
- Naderi, N., Fazl Oula R., Ahmadi, M. Kh., Shahnazari A., Khavari Khorasani, S., 2015. Evaluating the effect of different methods of deficit irrigation on yield, yield components and irrigation water productivity of forage maize. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 9(3), 522-530. [In Persian with English Summary].
- Nakhjavani Moghadam, M.M., Najafi, E., Sadraen, S.H., Farhadi, E., 2011. Effect of different levels of irrigation and plant density on grain yield and yield components and water use efficiency in grain maize cv. ksc 302. *Seed and Plant Production Journal*. 27(1), 73-90. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110425>
- Nasrollehzaheh Asl, V., Shiri, M.R., Moharramnejad, S., Yousefi, M., Baghbani, F., 2017. Effect of drought tension on agronomy and biochemical traits of three maize hybrids

- (*Zea mays* L.). *Crop Plant Physiology*. 8(32), 45-60. [In Persian with English Summary]. <http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-769-en.html>
- Rezaei, N., Alizadeh, Y., Alizadeh, H. A., Zeidali, E., 2024. Effects of deficit irrigation (RDI) and partial root-zone drying (PRD) on yield, yield components and physiological characteristics of mungbean (*Vigna radiate* L.). *Plant Production and Genetics*. 5(1), 33-46. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22034/plant.2023.62942>
- Saeedinia, M., Nasralhi, A., Haider, Sharifipour, M., 2018. Investigating the ability of crop water stress index for irrigation scheduling and estimating corn forage yield. *Iranian Journal of Soil and Water Research (Agricultural Sciences of Iran)*, 50(3), 555-565. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.268113.668038>
- Salehi, F., Bahrani, M.J., Kazemi, S.A., Pakniyat, H., Karimian, N. A., 2011. Effect of wheat residues and nitrogen fertilizer on some soil properties in common bean cultivation. *Water and Soil Science (Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 15(55), 209-218. [In Persian with English Summary]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.55.16.4>
- Santos, C.V., Campos, A., Azevedo, H., Caldeira, G., 2001. In situ and in vitro senescence induced by KCl stress: nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism. *Journal of Experimental Botany*. 52, 351-360. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.355.351>
- Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Battaglia, M.L., 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*. 10, 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Simić, M., Dragičević, V., Mladenović Drinić, S., Vukadinović, J., Kresović, B., Tabaković, M., Brankov, M., 2020. The contribution of soil tillage and nitrogen rate to the quality of maize grain. *agronomy*. 10(7), 976. <https://doi.org/10.3390/agronomy10070976>
- Sonawane, A.V., Shrivastava, P.K., 2022. Partial root zone drying method of irrigation: A review. *Irrigation and Drainage*. 71, 574-588. <https://doi.org/10.1002/ird.2686>
- Strudley, M.W., Green, T.R., Ascough, J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time. *State of The Science. Soil Tillage Research*. 99, 4-48. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.01.007>
- Schmer, M.R., Jin, V.L., Wienhold, B.J., Varvel, G.E., Follett, R.F., 2014. Tillage and residue management effects on soil carbon and nitrogen under irrigated continuous corn. *Soil Science Society of America Journal*. 78, 1987-1996. <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.04.0166>
- Singleton, V. L., Rossi, J. A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Tamrat Alemu, S., 2020. Review: Partial root zone drying an approach to increase water use efficiency of horticultural crops and chlorophyll fluorescence. *Cogent Biology*. 6. <https://doi.org/10.1080/23312025.2020.1767016>
- Videnović, Ž., Simić, M., Srdić, J., Umanović, Z., 2011. Long term effects of different soil tillage systems on maize (*Zea mays* L.) yields. *Plant, Soil and Environment*. 57, 186-192. <https://doi.org/10.17221/443/2010-PSE>
- Wang, W., Vinocur, B., Altman, A., 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*. 218, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>
- Yaseen, R., Shafi, J., Ahmad, Shoaib Rana, M., Salim, M., Ahmad Qaisarani, S., 2014. Effect of deficit irrigation and mulch on soil physical properties, growth and yield of maize. *Environment and Ecology Research*. 2, 122-137. <https://doi.org/10.13189/eer.2014.020302>