University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Evaluation of the Quantitative, Qualitative, and Antioxidant Activity of Castor Plant (*Ricinus communis* L.) under Drought Stress Conditions and Fertilizer Treatments

Fardane Osati[1]✉| Toraj Mir Mahmoodi[2]| Hossein Safarpour [3]

1. Corresponding author, Agricultural and Natural Resources Center of Eastern Azarbayjan, Tabriz, Iran. Email: f.osati1380@jmael.com
2. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran.
3. Agricultural and Natural Resources Center of Eastern Azarbayjan, Tabriz, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: March 18, 2023
Received in revised form: July 21, 2023
Accepted: July 25, 2023
Published online: December 22, 2023

Keywords:
Antioxidant,
castor,
foliar application,
sulfur,
water deficit.

ABSTRACT

Improving the nutritional status of plants is an effective method for enhancing their ability to withstand drought stress. To evaluate the quantitative, qualitative, and antioxidant properties of castor plant under water deficit conditions stress and foliar application of chemical fertilizers, an experiment was conducted as a split-plot design in a completely randomized block design with three replications. The first factor was irrigation levels including control (normal irrigation), irrigation after 80 mm and 140 mm evaporation from the pan evaporation in the main plots, and eight spraying chemical fertilizers (sulfur, potassium, nitrogen, sulfur+potassium, sulfur+nitrogen, potassium+nitrogen, sulfur+potassium+ nitrogen and control (no spraying)) were included in subplots. The highest proline content, catalase, peroxidase, superoxide dismutase, and total phenol were obtained under irrigation after 140 mm of evaporation conditions and foliar application of nitrogen+potassium+sulfur. Also, the highest grain yield, oil yield, and the lowest oil percentage were observed in the nitrogen+potassium foliar treatment under irrigation conditions after 20 mm of evaporation. Although the content of malondialdehyde increased in water deficit stress treatments, nitrogen+potassium+sulfur and nitrogen+potassium foliar application significantly reduced the peroxidation of membrane lipids (malondialdehyde) under irrigation conditions after 80 and 140 mm of evaporation compared to the control treatment. In conclusion, foliar application of chemical fertilizers in castor can improve the resistance to water stress by strengthening the antioxidant system and then increase its grain and oil yield.

Cite this article: Osati, F., Mir Mahmoodi, T., & Safarpour, H. (2023). Evaluation of the quantitative, qualitative, and antioxidant activity of castor plant (*Ricinus communis* L.) under drought stress conditions and fertilizer treatments. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(4), 187-200. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.356881.654992.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/ 10.22059/ijfcs.2023.356881.654992

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۸۲

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

ارزیابی خصوصیات کمی، کیفی و مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی کرچک (*Ricinus communis* L.) در شرایط تنش خشکی و تیمارهای کودی

فردانه اوسطی[1]✉ | تورج میرمحمودی [2] | حسین صفرپور[3]

۱. نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. رایانامه: f.osati1380@jmael.com

۲. گروه زراعت واصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران.

۳. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:
آنتی‌اکسیدان،
کرچک،
کم‌آبی،
گوگرد،
محلول‌پاشی.

چکیده

یکی از راه‌های افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه است. به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های کمی، کیفی و آنتی‌اکسیدانی گیاه کرچک در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی کودهای شیمیایی، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی سطوح آبیاری شامل شاهد، آبیاری پس از ۸۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی هشت تیمار کودی شامل گوگرد، پتاسیم، نیتروژن، گوگرد+پتاسیم، گوگرد+نیتروژن، پتاسیم+نیتروژن، گوگرد+پتاسیم+نیتروژن و شاهد (بدون محلول‌پاشی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. بالاترین محتوی پرولین، کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و فنل کل تحت شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم+گوگرد به دست آمد. همچنین، بالاترین عملکرد دانه، عملکرد روغن و پایین‌ترین درصد روغن در تیمار محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم تحت شرایط آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر مشاهده شد. اگرچه محتوی مالون‌دی‌آلدهید در تیمارهای تنش کم‌آبی افزایش یافت؛ اما محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم+گوگرد و نیتروژن+پتاسیم مقدار مالون‌دی‌آلدهید را تحت شرایط آبیاری بعد از پس از ۸۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری کاهش داد. در نتیجه، محلول‌پاشی کودهای شیمیایی از طریق تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی می‌تواند مقدار مقاومت کرچک به تنش کم‌آبی را بهبود بخشیده و اثر مثبتی بر عملکرد دانه و روغن در کرچک داشته باشد.

استناد: اوسطی، ف.، میرمحمودی، ت.، و صفرپور، ح. (۱۴۰۲). ارزیابی خصوصیات کمی، کیفی و مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی کرچک (*Ricinus communis* L.) در شرایط تنش خشکی و تیمارهای کودی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۴)، ۱۸۷-۲۰۰.
DOI: 10.22059/ijfcs.2023.356881.654992

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

کرچک (*Ricinus communis* (L.) از خانواده فرفیون، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی و دارویی مورد استفاده در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی بیشتر کشورهای توسعه‌یافته است (Akpan *et al*., 2006). مهم‌ترین ماده تشکیل‌دهنده بذر کرچک، روغن آن است که دارویی‌بودن گیاه نیز به‌واسطه همین روغن و ترکیب اسیدهای چرب آن است. میزان روغن در ارقام تجاری معمولاً بین ۴۰ تا ۶۰ درصد است (Weiss, 2000). بر اساس گزارش فائو (FAO, 2021) سطح زیر کشت کرچک در سال ۲۰۱۹ در جهان برابر ۱/۸۸ میلیون هکتار و مقدار تولید بذر آن ۱/۴۰۸ میلیون تن بود، در ایران نیز سطح زیر کشت کرچک برابر ۱۱/۰۲ هزار هکتار و میزان تولید بذر آن ۳۴۶ هزار تن بود.

در بین تنش‌های محیطی، خشکی یکی از مهمترین عوامل نامطلوب مؤثر بر رشد و نمو گیاهان است و به‌واسطه تأثیر همزمان بر خصوصیات مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی بافت‌ها و سلول‌های گیاهی در نهایت منجر به زوال گیاه و کاهش عملکرد می‌شود (Comas *et al*., 2013). تنش خشکی منجر به القای تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) مانند رادیکال‌های سوپراکسید (O^{-}_{2})، هیدروکسیل (OH)، پرهیدروکسی (H_2O_2)، الکوزی (RO) و دیگر عوامل غیر رادیکالی مانند پراکسید هیدروژن و اکسیژن منفرد در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی می‌شود (Singh-Gill & Tuteja, 2010). گونه‌های فعال اکسیژن باعث تغییر پتانسیل اکسیداسیون احیای سلولی می‌شود که منجر به اکسیداسیون رنگدانه‌های فتوسنتزی، لیپیدهای غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود و در نتیجه باعث مرگ سلولی، کاهش رشد و بهره‌وری گیاه می‌شود (Hasanuzzaman *et al.,* 2018). تولید ROS رابطه خطی با شدت تنش آبی دارد که باعث پراکسیداسیون غشاها، اندامک‌ها و فعال‌شدن آنزیم یا غیر فعال‌شدن و تجزیه اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Outoukarte *et al*., 2019). افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به‌عنوان یک نشانگر مناسب برای تخریب غشا در نظر گرفته شده است. گزارش شده است کاهش پایداری غشا نشان‌دهنده میزان پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از ROS است (Sharma *et al*., 2017). تنش خشکی علاوه‌بر اثر منفی بر عملکرد، باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها مخصوصاً تنش کمبود عناصر غذایی برای گیاه می‌شود. کمبود مواد غذایی در خاک و عدم دسترسی کافی به مواد غذایی از عواملی هستند که اثرات تنش خشکی بر گیاه را تشدید می‌کنند. وجود مقادیر کافی عناصر غذایی در خاک و دسترسی مناسب گیاه به این عناصر می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاه بسیار مؤثر باشد. ازجمله عناصر مورد نیاز گیاه می‌توان به عناصری مانند نیتروژن، پتاسیم و گوگرد اشاره کرد که نقش بسزایی در تغذیه و فرآیندهای رشد گیاه دارند. کمبود گوگرد باعث کاهش بهره‌وری و کیفیت محصول می‌شود و از طرفی بر گیاه اثرگذار خواهد بود (Schnug, 1997). گوگرد در سنتز پروتئین نقش داشته و بخشی از آمینواسیدهای سیستئین، متیونین و پروتئین‌های حاصل از آنها است. این آمینواسیدها، پیشساز سایر ترکیبات گوگرددار، نظیر کوآنزیم‌ها می‌باشند. گوگرد به‌طور مستقیم در واکنش‌های متابولیکی گیاه نقش دارد (Khoshgoftarmanesh, 2007). در شرایط کمبود آب در خاک جذب عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن کاهش یافته و این امر باعث می‌شود که تناسب مطلوبی بین میزان فراهمی آب و مصرف کود برقرار شود تا از مصرف بی‌رویه نیتروژن که تأثیری روی عملکرد دانه ندارد، خودداری شود (Hamzehi & Babaie, 2016). پتاسیم نیز در حفظ تعادل آبی، ایجاد فشار تورژسانس و باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، در تجمع و انتقال هیدرات‌های کربن تولیدشده نقش دارد و تعادل آبی گیاه را کنترل می‌کند. این عنصر علاوه‌بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول، سبب افزایش مقاومت گیاهان به خشکی شده و کارایی مصرف آب و کود را افزایش می‌دهد (Rezvani Moghaddam *et al*., 2009).

در تحقیقی روی کرچک (*Ricinus communis* L.) گزارش شد تنش خشکی موجب کاهش وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، درصد و عملکرد روغن در مقایسه با تیمار آبیاری نرمال شد. در این تحقیق محلول‌پاشی نانوکلات وزن صد دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن را افزایش داد (Rahbari *et al*., 2019). در تحقیقی دیگر تنش کم‌آبی محتوی آنزیم‌های آنتی اکسیدان مانند کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز را افزایش داد (Rahbari *et al*., 2021). در مطالعه‌ای دیگر روی کرچک نشان داده شد که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز، محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پرولین در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری نرمال افزایش معنی‌دار داشته است (Sharifi Soltani *et al*., 2021). در مطالعه‌ای دیگر مصرف

کود نیتروژنه بر سرعت فتوسنتز، میزان شاخص کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ و پایداری غشا در برابر تنش خشکی در گیاه جو (*Hordeum vulgare*) اثر مثبت نشان داشت (Siosemardeh *et al*., 2015).

در تحقیقی گزارش شد کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌همراه ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار منجر به تولید بیشترین عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و عملکرد روغن بذرهای کرچک شد (Zeinali *et al.,* 2018). در بررسی تأثیر سطوح مختلف گوگرد روی کرچک مشاهده شد که کاربرد گوگرد موجب افزایش عملکرد و درصد روغن دانه کرچک می‌شود (Mousavi *et al*., 2015).

همانند محصولات زراعی کم‌آبی کشت گیاهان دارویی مانند کرچک را تهدید می‌کند؛ ارائه راهکاری برای تعدیل و یا افزایش تحمل به تنش کم‌آبی در این گیاهان می‌تواند دامنه کشت این محصولات را در مناطق خشک افزایش دهد. در سال‌های اخیر گزارش شده است که بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان به‌خصوص تأمین عناصر ریزمغذی می‌تواند به بهبود تحمل به تنش کم‌آبی کمک کند. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات محتوای آنزیم‌های مرتبط با مقاومت با تنش کم‌آبی و همچنین عملکرد روغن و اجزای آن در واکنش به محلول‌پاشی عناصر غذایی به‌صورت جداگانه و تلفیقی تحت شرایط مختلف آبیاری در کرچک انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی آذربایجان شرقی در دو سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ با مشخصات ۴۶ درجه و دو دقیقه شرقی و ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. عامل اول شامل سطوح آبیاری شامل آبیاری نرمال (۲۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر، دور آبیاری پنج روز)، آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر و آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در کرت‌های اصلی و هشت تیمار محلول پاشی کود شیمیایی شامل گوگرد، پتاسیم، نیتروژن، گوگرد+پتاسیم، گوگرد+نیتروژن، پتاسیم+نیتروژن، گوگرد+پتاسیم+نیتروژن و شاهد به‌صورت محلول‌پاشی در کرت‌های فرعی بود.

زمین مورد نظر در پائیز شخم زده شد و در اواخر زمستان و اوایل بهار پس از دیسک‌زنی، تسطیح و کرت‌بندی شد. پیش از آماده‌سازی قطعه زمین مورد نظر، از خاک مزرعه نمونه‌گیری و درصد عناصر موجود در آن تعیین شد بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) در زمان کاشت ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر از منبع تریپل‌سوپرفسفات به خاک اضافه شد.

هر کرت شامل چهار ردیف به طول پنج متر با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌مترو فاصله بین بوته ۵۰ سانتی‌متر بود. دبی آب با استفاده از سرریزهای مستطیلی تعبیه‌شده در ابتدای نهرهای آبیاری اصلی محاسبه شد، جهت برآورد دبی آب از رابطه ۱ استفاده شد (Singh *et al*., 1994):

$$Q= 0.0184\ CH^{3/2} \qquad \text{رابطه ۱}$$

که در آن Q دبی آب بر حسب لیتر در ثانیه، C عرض سرریز و H ارتفاع آب روی سرریز بر حسب سانتی‌متر است. در مطالعه حاضر میزان آب آبیاری اعمال‌شده تحت شرایط آبیاری نرمال، آبیاری پس از ۸۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر برابر ۳۱۱۵، ۸۵۰ و ۵۱۰ متر مکعب بود.

رقم کرچک مورد استفاده در این مطالعه رقم ارومیه بود، این رقم پابلند، دارای رنگ پهنک و دمبرگ سبزرنگ، با بریدگی عمیق، لوب‌های پهنک، خوشه سبزرنگ، تراکم خوشه متوسط، متوسطرس و طول دوره گلدهی متوسط است. در هر دو سال آزمایش کاشت بذر در اواسط اردیبهشت انجام شد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی در مرحله شش برگی انجام شد. در زمان رشد گیاه آفت و بیماری خاصی در مزرعه مشاهده نشد.

جهت محلول‌پاشی عناصر نیتروژن، پتاسیم و گوگرد به‌ترتیب از کود اوره به میزان سه در هزار، سولفات پتاسیم سه در هزار و گوگرد وتابل به میزان دو در هزار (۴۰ گرم در ۲۰ لیتر آب) با سم‌پاش پشتی مخصوص مجهز به نازل پودرکننده مایع در دو مرحله (آغاز گلدهی و مرحله پر شدن دانه‌ها) استفاده شد (Osati *et al*., 2021).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

S-So$_4$ (mg/kg)	Mg	B	Mn	Zn	CU	Fe	Clay٪	Silt٪	Sand٪	P (mg/kg)	K (mg/kg)	%OC	%T.N.V	EC (ds/m)	pH
22	200	2.1	5.9	0.49	1.82	6.6	10	40	50	7.1	187	0.61	17.12	6.81	7.62

۲-۱. اندازه‌گیری صفات مورد بررسی

۲-۱-۱. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نمونه‌های برداشت‌شده از جوان‌ترین برگ گیاه در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی در نیتروژن مایع منجمد و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۱ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در این مطالعه فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز و مالون‌دی‌آلدهید به‌ترتیب با استفاده از روش‌های Hayyan *et al.* (2013)، Dazy *et al.* (2008) و Lee & Kim (2001) اندازه‌گیری شدند.

۲-۱-۲. پرولین

پرولین برگ بر طبق روش Bates *et al.* (1973) اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که در این مطالعه فنل کل به روش فولین سیوکالتیو (Mrozikiewicz *et al.*, 2010) و فلاونوئید به روش نورسنجی کلرید آلومنیوم (Bannayan *et al.*, 2008) اندازه‌گیری شد.

۲-۱-۳. عملکرد دانه

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه از کل کرت بعد از حذف اثرات حاشیه (۲/۵ متر مربع) استفاده شد. زمان برداشت از ۱۰ شهریور تا ۱۰ مهرماه به‌صورت تدریجی انجام گرفت. اندازه‌گیری درصد روغن با استفاده از دستگاه سوکسله و رابطه زیر انجام گرفت (Krzyczkowska *et al.*, 2017):

$$\%EE = 100 - \left(\frac{X2 - X1}{SD}\right) \times 100$$

X1: وزن تیمبل خشک، X2: وزن تیمبل حاوی نمونه چربی گرفته خشک، Sd: وزن نمونه غذایی خشک، عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب عملکرد دانه و درصد روغن محاسبه شد.

پس از انجام آزمون نرمال‌بودن توزیع اشتباهات آزمایشی و آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.2 و در قالب طرح آماری مربوطه انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، اثر سطوح آبیاری، تیمارهای کوددهی (غیر از عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد) و اثر متقابل دو تیمار در سطح احتمال یک درصد بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود.

۳-۱. فنل کل

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی کودهای شیمیایی بر محتوی فنل برگ افزود؛ به‌طوری‌که محلول‌پاشی گوگرد+پتاسیم و نیتروژن+پتاسیم+گوگرد در تیمار آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب با متوسط ۸/۹۶ و ۸/۵۹ میلی‌مول برگرم وزن تر بالاترین محتوی فنل برگ را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). کمترین محتوی فنل برگ به تیمار آبیاری بعد از ۲۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر و شاهد محلول‌پاشی به‌ترتیب با متوسط ۴/۰۲ و ۳/۷۸ میلی‌مول برگرم وزن تر اختصاص یافت. در دورهای آبیاری بعد از ۲۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب محلول‌پاشی گوگرد و نیتروژن+پتاسیم+گوگرد به صورت معنی‌داری محتوی فنل برگ را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. فاکتورهای ژنتیکی و محیطی از جمله شرایط تغذیه‌ای محتوی فنل برگ را تنظیم می‌کنند (Behera *et al.*, 2014)، افزایش عناصر غذایی در گیاهان تیمارشده با کود شیمیایی احتمالاً موجب افزایش میزان فتوسنتز خالص

در گیاه شده و در نتیجه آن فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز نشاسته و پروتئین در سنتز ترکیبات ثانویه افزایش خواهد یافت (Muller *et al*., 2013). فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌تواند تحت تأثیر محتوی فنل برگ قرار گیرد زیرا بسیاری از ترکیبات فنلی منابع مناسبی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند (Zarrabi *et al*., 2016)، همان‌طوری‌که ذکر شد ارتباط مثبتی بین محتوی فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گزارش شده است و از جمله مکانیسم‌های فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات غیر فعال‌کردن رادیکال‌های آزاد لیپیدی و جلوگیری از تجزیه هیدروپروکسیدها به رادیکال‌های آزاد و نیز توانایی آنها در کلات‌کردن یون‌های فلزی بیان شده است. در مطالعه‌ای مشاهده شد بالاترین محتوی فنل برگ در شرایط کاربرد نانو کود منگنز و بور به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد محتوی فنل را به‌ترتیب ۱۱ و ۹ درصد افزایش دادند (Rostami *et al*., 2016). در محلول‌پاشی کود نانو پتاسیم بر دو رقم گندم نیز نتایج نشان داد که کاربرد غلظت‌های مختلف کود نانوپتاسیم، باعث افزایش ترکیب‌های فنلی اندام هوایی شده است (Tavan *et al*,. 2014). در مطالعه‌ای دیگر روی گل ختمی (*Althaea officinalis*) گزارش شد کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر، محتوی فنل این گیاه را به صورت قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (Meyghan & Moradi, 2017).

۳-۲. محتوی فلانوئید

نتایج نشان داد در تیمار آبیای بعد از ۸۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی هر هفت تیمار کود شیمیایی محتوی فلانوئید را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. در بین تیمارهای مورد بررسی محلول‌پاشی گوگرد تحت تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر (یا متوسط ۷/۲۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر) بالاترین محتوی فلانوئید را تولید کرد. کمترین محتوی فلانوئید برگ به‌ترتیب با متوسط ۲/۲۷، ۲/۱۲ و ۲/۰۴ میلی‌مول بر گرم وزن تر برای تیمارهای شاهد، محلول‌پاشی گوگرد و نیتروژن+پتاسیم تحت تیمار آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر ثبت شد (جدول ۳).

۳-۳. پرولین

نتایج نشان داد که تیمار محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم+گوگرد در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر (با متوسط ۷/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بیشترین محتوای پرولین را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار محلول‌پاشی با عنصر گوگرد در شرایط آبیاری نرمال (با متوسط ۲/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) که کم‌ترین محتوای پرولین را داشت ۳/۶ برابر بیشتر بود (جدول ۳). گزارش شده است که میزان پرولین در زمان تنش خشکی در برگ‌های برخی از گیاهان زراعی افزایش می‌یابد. افزایش پرولین یکی از مهم‌ترین‌های مکانیسم‌های سازگاری در گیاهان در هنگام بروز تنش خشکی است. از جمله ساز و کارهای پاسخ به تنش‌های محیطی، تنظیم اسمزی است (Maiti *et al*., 2000). تنظیم اسمزی نوعی سازگاری با تنش کمبود آب است که از طریق تجمع مواد محلول درون‌سلولی، می‌تواند به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرآیندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب شود. در زمان تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، مولکول‌های آلی با وزن مولکولی کمتر نظیر قندهای محلول، پرولین، بتائین در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاهان به منزله‌ی تنظیم‌کننده‌های اسمزی عمل می‌کنند (Azarpanah *et al*., 2013). افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال های آزاد می‌شود (Yang & Guo, 2018). پرولین به‌طور کلی از دو مسیر عمده ساخته می‌شود: مسیر گلوتامات که آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند و مسیر اورنتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری واقع هستند. مسیر گلوتامات در گیاهان آلی اهمیت بیشتری دارد و به نظر می‌رسد آنزیم‌های کلیدی این مسیر به محلول‌پاشی عناصر مورد مطالعه واکنش مثبت نشان می‌دهند (Delaney *et al*., 1993).

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در کرچک تحت تیمارهای آبیاری و کوددهی.

S.O.V	DF	MS									
		Phenol	**Flanoid**	**Proline**	**Catalase**	**Peroxidase**	**Superoxide dismutase**	**Malondialdehyde**	**Grain Yield**	**Oil Percentages**	**Oil Yield**
Year (Y)	1	0.73^{ns}	0.06^{ns}	0.00034^{ns}	0.086^{ns}	0.093^{ns}	0.043^{ns}	0.05^{ns}	0.058^{ns}	0.0747^{ns}	5036ns
Repeat (year)	4	0.63	0.10	2111.76	0.0051	0.011	0.041	0.12	0.015	0.09	541.12
Irrigation (I)	2	72.36**	74.52**	0.0196**	1.45**	2.85**	4.35**	2.44**	1.27**	1.11**	63231**
Y×I	2	0.69^{ns}	0.006^{ns}	0.0016^{ns}	0.008^{ns}	0.005^{ns}	0.05^{ns}	0.05^{ns}	0.019^{ns}	0.00084^{ns}	2013^{ns}
E_a	8	0.64	0.17	0.0101	0.02	0.02	0.16	0.07	0.061	0.061	9033
Fertilizer (F)	7	12.40**	6.37**	0.0323**	0.05**	0.09**	0.27**	0.17**	0.0059*	0.0046**	2809**
Y×F	7	0.62^{ns}	0.06^{ns}	0.0015^{ns}	0.008^{ns}	0.004^{ns}	0.02ns	0.002^{ns}	0.00033^{ns}	0.00003^{ns}	74.5ns
I × F	14	3.85**	4.18**	0.0174**	0.081**	0.05**	0.07**	0.06**	0.0071**	0.006**	1903**
Y×I×F	14	0.36^{ns}	0.10^{ns}	0.012^{ns}	0.005^{ns}	0.005^{ns}	0.003ns	0.004^{ns}	0.00049^{ns}	0.00006^{ns}	227^{ns}
E_B	84	0.033	0.08	0.0019	0.004	0.003	0.013	0.01	0.0013	0.00007	359
Coefficient of variation %		3.22	6.89	20.97	3.71	4.28	7.74	11.84	11.84	4.71	12.83

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

۳-۴. کاتالاز

مقایسه میانگین ترکیبات تیماری آبیاری با محلول‌پاشی کودی نشان داد که تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی کودهای شیمیایی به صورت همزمان بر مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز افزود؛ به‌طوری‌که تیمار آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر همراه با محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم+گوگرد با متوسط ۰/۴۱۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بالاترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور را به خود اختصاص دادند. لازم به ذکر است که اختلاف بین ترکیب تیماری مذکور با تیمار آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر همراه با محلول‌پاشی پتاسیم از لحاظ اثر بر مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار نبود. در این بررسی کمترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز به تیمار آبیاری پس از ۲۰ میلی‌متر تبخیر (شرایط نرمال) همراه با کاربرد کود گوگرد (با متوسط ۰/۱۱۴ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) اختصاص داد. در تیمار آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر نیز تنها محلول‌پاشی نیتروژن، گوگرد+نیتروژن و نیتروژن+پتاسیم توانستند مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز را در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش دهند، در این تیمار آبیاری اختلاف بین دیگر تیمارهای محلول پاشی کودی و تیمار شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۳). کاتالاز یکی از آنزیم‌های مهم برای حذف پراکسید هیدروژن (H_2O_2) موجود در پراکسی‌زوم‌های گیاهان به شمار می‌رود. به‌طور کلی، گزارش شده است که وجود H_2O_2 در گیاهان از این نظر دارای اهمیت است که در غلظت‌های متوسط، به عنوان مولکول سیگنال عمل کرده و در سنتز پیش‌ماده‌های پروتئین دیواره سلولی مشارکت دارد؛ اما در غلظت‌های بالا برای گیاه سمی بوده و آسیب‌های اکسیداتیو را به دنبال دارد (Aman *et al*., 2019). در تحقیقی دیگر تنش کم آبی به صورت معنی‌دار بر مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در جو افزود، اما استفاده از کود نیتروژنه موجب کاهش فعالیت این آنزیم شد (Siosemardeh *et al*., 2015). همچنین کاربرد تلفیقی کود آلی و شیمیایی مقدار فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان را افزایش داد (Rahimi *et al*., 2019).

۳-۵. پراکسیداز

نتایج مقایسات میانگین (جدول ۳) نشان داد تحت تیمار آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر همراه با محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم+گوگرد با متوسط ۱/۹۲ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بیشترین مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز را به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور نیز با متوسط ۱/۱۰ واحد بر میلی‌گرم پروتئین به تیمار آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر همراه با محلول‌پاشی نیتروژن اختصاص یافت. در تیمار آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی نیتروژن و نیتروژن+پتاسیم+گوگرد توانستند به صورت معنی‌داری مقدار فعالیت آنزیم پراکسیداز را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهند. در نهایت در تیمار آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی گوگرد، گوگرد+نیتروژن، نیتروژن، نیتروژن پتاسیم+گوگرد و نیتروژن+پتاسیم توانست به صورت معنی‌داری بر مقدار فعالیت آنزیم مذکور بیافزاید.

در تحقیقی محلول‌پاشی ۵۰ کیلوگرم در هکتار آهن روی گیاه گلرنگ موجب حصول حداکثر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در شرایط تنش خشکی شد؛ اما مصرف سطوح بیشتر عنصر آهن باعث کاهش در میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد (Fathi Amirkhiz *et al*., 2015). گزارش شده است محلول‌پاشی نانوکود روی، بیشترین تأثیر مثبت را بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه زعفران داشت (Rostami *et al*., 2017). نتایج تحقیقی روی آویشن دنایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم میزان ماده خشک و فعالیت آنتی اکسیدان را در برگ این گیاه افزایش داد (Aman *et al*., 2019).

۳-۶. سوپراکسیددیسموتاز

نتایج مقایسات میانگین تیمارها نشان داد که محلول‌پاشی نیتروژن، نیتروژن+پتاسیم و نیتروژن+پتاسیم+گوگرد تحت تیمار آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر به‌ترتیب با متوسط ۲/۱۸، ۲/۱۰ و ۱/۹۸ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بالاترین مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). کمترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور نیز تحت تیمار آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر همراه محلول‌پاشی گوگرد با متوسط ۱/۱۴ واحد بر میلی‌گرم پروتئین به دست آمد. بین تیمار مذکور و دیگر تیمارهای محلول‌پاشی تحت شرایط آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

تحت شرایط آبیاری نرمال اختلاف بین تیمارهای کودی و شاهد از نظر مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز معنی‌دار نبود. همچنین نتایج مقایسات میانگین نشان داد تنها محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم+گوگرد تحت شرایط آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر

توانست مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد؛ درحالی‌که تحت شرایط آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی نیتروژن، نیتروژن+پتاسیم و نیتروژن+پتاسیم+گوگرد مقدار فعالیت آنزیم مذکور را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. با تشدید تنش کم‌آبی مقدار رادیکال‌های آزاد تولیدی در نتیجه ایجاد تنش اکسیداتیو افزایش خواهند یافت؛ بنابراین گیاه برای مقابله با این تنش سطح تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان همانند سوپراکسیددیسموتاز را افزایش خواهد داد. Amini *et al.* (2009) گزارش کردند که اعمال کود نیتروژنه فعالیت پراکسیداز را کاهش داده است. اثر مثبت کودهای نیتروژنه و فسفره در بهبود خصوصیات آنتی‌اکسیدانی گل ختمی (*Althaea officinalis* L.) به اثبات رسیده است (Meyghan & Moradi, 2017).

جدول ۳. مقایسه ترکیبات تیماری دور آبیاری و محلول‌پاشی کودهای شیمیایی بر خصوصیات مورد بررسی در گیاه کرچک.

Irrigation levels	Spraying	Phenol (mmol g FW^{-1})	Flavonoid (mmol g FW^{-1})	Proline (mg g FW^{-1})	Catalase (U/mg protein)	Peroxidase (U/mg protein)
Irrigation after 20 mm evaporation	C	4.02mn	2.27m	2.27m	0.2383bcd	1.20jkl
	S	4.29lm	2.12m	2.12m	0.1143j	1.13kl
	K	4.59kl	3.35l	3.35l	0.1743f-i	1.12kl
	N	4.37klm	3.50kl	3.50kl	0.1843e-h	1.10l
	S+K	5.30hi	4.15g-j	4.15g-j	0.1563g-j	1.21i-l
	S+N	5.35hij	3.69i-l	3.69i-l	0.1413hij	1.17kl
	N+K	4.03mn	2.04m	2.04m	0.2633b	1.16kl
	S+K+N	6.05ef	3.39l	3.39l	0.1943d-h	1.24h-k
Irrigation after 80 mm evaporation	C	3.78n	2.54m	2.54m	0.2227b-f	1.23h-k
	S	6.09ef	4.32f-i	4.32f-i	0.1217ij	1.32f-j
	K	5.77fg	4.01h-k	4.01h-k	0.1417hij	1.30g-j
	N	5.07ij	4.60e-h	4.60e-h	0.2217b-f	1.47cde
	S+K	5.50gh	3.54jkl	3.54jkl	0.1917d-h	1.36e-h
	S+N	6.55cd	4.74efg	4.74efg	0.2347b-e	1.34f-i
	N+K	7.75jk	4.97de	4.97de	0.2537bc	1.34e-h
	S+K+N	4.10mn	5.70bc	5.70bc	0.1827e-h	1.45c-f
Irrigation after 140 mm evaporation	C	5.15hi	4.20ghi	4.20ghi	0.2283b-e	1.43d-g
	S	7.69b	7.02a	7.02a	0.2393bcd	1.57c
	K	6.76cd	4.85ef	4.85ef	0.2083c-g	1.52cd
	N	6.88c	6.27b	6.27b	0.2483bc	1.72b
	S+K	8.96a	6.17bc	6.17bc	0.2383bcd	1.54cd
	S+N	6.38de	4.62e-h	4.62e-h	0.2413bcd	1.57c
	N+K	5.40fg	5.54cd	5.54cd	0.2383bcd	1.75b
	S+K+N	8.59a	5.69bc	5.69bc	0.413a	1.92a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن می‌باشند. C= شاهد، S= گوگرد، N= نیتروژن، K= پتاسیم.

۳-۷. مالون‌دی‌آلدهید

در این مطالعه شاهد (عدم محلول‌پاشی) در دور آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۱/۴۸ نانومول بر گرم وزن تر بالاترین مقدار فعالیت آنزیم مالون‌دی‌آلدهید را به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار فعالیت آنزیم مذکور نیز با متوسط ۰/۶۲ نانومول بر گرم وزن تر به تیمار آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر همراه با تیمار شاهد محلول‌پاشی اختصاص یافت؛ هر چند بین تیمار مذکور و دیگر تیمارهای محلول‌پاشی کودهای شیمیایی در دور آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر اختلاف معنی‌دار دیده نشد (جدول ۳). در این بررسی با افزایش شدت تنش کم‌آبی بر مقدار فعالیت مالون‌دی‌آلدهید افزوده شد. باتوجه‌به اینکه مالون‌دی‌آلدهید با پراکسیداسیون چربی‌های غشای سلولی مرتبط است می‌توان گفت در دورهای آبیاری بعد از ۸۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر پراکسیداسیون چربی‌های غشاء شدت می‌گیرد. گزارش شده است که تنش خشکی تأثیر بسزایی بر کاهش پایداری غشای سلولی دارد. تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی فرونشانندهٔ گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که این امر منجر به افزایش پراکسیداسیون چربی‌های غشایی و درنتیجه خسارت به غشای سلولی و همچنین تخریب رنگ‌دانه‌ها می‌شود (Behera *et al*., 2009). در تأیید نتایج این تحقیق Fateh (2009) گزارش کرد که مصرف تیمارهای تلفیقی کود دامی و شیمیایی سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان در برگ کنگر فرنگی شد. در این بررسی محلول‌پاشی کودهای شیمیایی با افزایش قدرت دفاعی گیاه محتوی فنل و فلاونوئید و میزان

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش دادند، افزایش این ترکیبات موجب پاک‌سازی بهتر و مؤثرتر رادیکال‌های آزاد شده و در نتیجه مقدار آسیب این مواد به لیپیدهای غشایی کمتر شده و محتوی مالون‌دی‌آلدهید نیز کاهش خواهد یافت.

ادامه جدول ۳. مقایسه ترکیبات تیماری دور آبیاری و محلول‌پاشی کودهای شیمیایی بر خصوصیات مورد بررسی در گیاه کرچک.

Irrigation levels	Spraying	Superoxide dismutase (U/mg protein	Malondialdehyde (nmol g FW^{-1})	Grain Yield (t/ha)	Oil Percentages (%)	Oil Yield (t/ha)
Irrigation after 20 mm evaporation	C	1.20hi	0.72hi	0.26c	54.33c	151.75d-e
	S	1.14i	0.69i	0.31de	60.33a	137.90e-h
	K	1.19hi	0.65i	0.42b	54.33c	176.96bc
	N	1.29f-i	0.78f-i	0.36c	51.33e	159.52cde
	S+K	1.25ghi	0.72ghi	0.37c	52.33d	157.46c-f
	S+N	1.24ghi	0.74hi	0.49a	58.33b	190.84b
	N+K	1.39e-i	0.84e-i	0.45ab	51.33e	218.65a
	S+K+N	1.39e-i	0.62i	0.33cd	51.33e	169.04cd
Irrigation after 80 mm evaporation	C	1.41e-h	0.84e-i	0.28efg	49.33f	136.81fgh
	S	1.37e-i	0.82e-i	0.27fg	51.33e	142.75efg
	K	1.54c-f	0.99c-g	0.33cd	52.33d	171.63bcd
	N	1.48d-g	0.86d-i	0.28ef	49.33f	140.75efg
	S+K	1.35e-i	0.82f-i	0.27fg	52.67d	143.77efg
	S+N	1.43e-h	0.80f-i	0.26fgh	49.67f	131.19gh
	N+K	1.70cd	0.72h-i	0.35cd	45.33h	159.05cde
	S+K+N	1.38e-i	1.06b-e	0.24g-j	48.33g	116.68hi
Irrigation after 140 mm evaporation	C	1.72cd	1.48a	0.24g-j	42.33k	132.30gh
	S	1.59cde	1.09bcd	0.23hij	42.33je	136.7fgh
	K	1.98ab	1.26ab	0.21ij	42.33k	117.66hi
	N	1.76bc	1.08bcd	0.26fgh	44.33i	133.58gh
	S+K	1.78bc	1.11bc	0.25f-i	43.33j	132.30gh
	S+N	2.18a	0.95c-h	0.24f-j	44.33i	143.18efg
	N+K	2.10a	0.99c-f	0.28efg	49.33f	134.75efg
	S+K+N	1.56cde	1.16bc	0.20j	42.33k	103.42i

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن می باشند. C= شاهد، S= گوگرد، N= نیتروژن، K= پتاسیم.

۳-۸. عملکرد دانه

بر اساس نتایج، اگرچه بالاترین عملکرد دانه با متوسط ۰/۴۹ تن در هکتار به تیمار محلول‌پاشی نیتروژن+پتاسیم در شرایط آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت؛ اما بین تیمار مذکور و تیمار محلول‌پاشی گوگرد+پتاسیم+نیتروژن با متوسط ۰/۴۵ تن در هکتار در همین شرایط آبیاری اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کمترین عملکرد دانه نیز با متوسط ۰/۲۰ تن در هکتار به تیمار عدم محلول‌پاشی در دور آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت. لازم به ذکر است که در شرایط آبیاری نرمال تنها بین محلول‌پاشی عناصر نیتروژن، نیتروژن+پتاسیم و گوگرد+پتاسیم+نیتروژن و تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار دیده شد. در دور آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی نیتروژن، گوگرد+پتاسیم و گوگرد+پتاسیم+نیتروژن توانستند عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد محلول‌پاشی در این شرایط به‌N ترتیب ۳۷/۵۰، ۱۶/۶۶ و ۴۵/۸۳ درصد افزایش دهند (جدول ۳). در دور آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر نیز محلول‌پاشی گوگرد+پتاسیم، گوگرد+نیتروژن و گوگرد+پتاسیم+نیتروژن توانستند عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی در این شرایط به‌ترتیب ۳۰، ۲۵ و ۴۰ درصد افزایش دهند که بیانگر این نکته است که محلول‌پاشی با کودهای شیمیایی فوق‌الذکر می‌تواند اثر سوء تنش کم‌آبی را تعدیل کنند. کاهش عملکرد گیاه در شرایط خشکی می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالابردن غلظت شیره سلولی و تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال‌شدن مسیر پنتوز فسفات و یا افزایش حجم ریشه و غیره باشد. برای به‌وجودآمدن دانه، گیاه نیاز به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل‌دهنده آن در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی دارد. تأثیر خشکی بر هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند درنهایت منجر به تغییر در عملکرد دانه تولیدی در گیاهان و ازجمله کرچک شود. در تحقیقی بالاترین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه را در تیمار نرمال آبیاری و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مشاهده شد؛ همچنین کاربرد کود گوگرد در شرایط تنش ملایم آبیاری اثر نامطلوب تنش کم‌آبی را تعدیل کرد (Rezapor *et al*., 2011).

وجود گوگرد در گیاه باعث افزایش فتوسنتز و به دنبال آن باعث افزایش کربوهیدرات‌ها و مواد پروتئینی می‌شود و ازآنجایی‌که درنهایت ذخیره این مواد در دانه صورت می‌گیرد می‌توان اظهار داشت که مصرف کود گوگرد باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Sangale *et al*., 1998). افزایش مقدار پتاسیم موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی، کنترل تعادل یونی، تنظیم اسمزی، حرکات روزنه‌ای و افزایش فعالیت آنزیمی می‌شود. درواقع با افزایش مصرف پتاسیم جذب نیتروژن نیز توسط گیاه افزایش یافته، زیرا پتاسیم از طریق فعال‌کردن آنزیم‌های مختلف از جمله ADP–گلوکزسینتاز و شرکت در برخی فرآیندهای فیزیولوژیکی و افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های محیطی در ساخت کربوهیدرات‌ها و افزایش عملکرد محصول نقش کلیدی دارد (Reddyae *et al*., 2004). تأثیر عناصر گوگرد، بور و روی بر عملکرد، غلظت عناصر و کیفیت دانه کلزا (*Brassica napus*) در تحقیقی بررسی و گزارش شده که بیشترین مقدار عملکرد دانه به میزان ۴۱۵۷/۶ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار بور+روی+گوگرد بوده که نسبت به شاهد ۴۸/۷ درصد افزایش عملکرد داشته است (Habibi *et al*., 2016).

۳–۹. درصد روغن دانه

محلول‌پاشی با پتاسیم در شرایط آبیاری نرمال (پس از ۲۰ میلی‌متر تبخیر) با میانگین ۶۰/۳۳ درصد بیشترین درصد روغن دانه را داشت که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با گوگرد و محلول‌پاشی با نیتروژن که در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر با میانگین ۴۲/۳۳ درصد کمترین درصد روغن را داشتند افزایش ۴۳ درصدی را نشان داد. در تیمار آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر بین تیمارهای محلول‌پاشی با گوگرد، نیتروژن و عدم محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین در تیمار آبیاری نرمال محلول‌پاشی با گوگرد+پتاسیم، نیتروژن+پتاسیم+گوگرد و عدم محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۳). برخی محققان کاهش فراهمی کربوهیدرات برای سنتز روغن را عامل اصلی کاهش درصد روغن دانه برشمرده اند (Rathke *et al*., 2005). به نظر می‌رسد که بین درصد روغن و میزان آب مصرفی گیاه در طی فصل رشد رابطه وجود داشته باشد؛ به‌طوری‌که با افزایش آب مصرفی طی رشد تا یک حد معین، درصد روغن افزایش و سپس با افزایش بیشتر از آن حد کاهش یابد (Pasban Islam *et al*., 2001). در بررسی اثر متقابل تنش کمبود آب و پتاسیم بر غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و روغن دو گونه کلزا و خردل مصرف سولفات پتاسیم بر درصد روغن اثر معنی‌دار داشت. بیشترین درصد روغن به‌ترتیب به سطوح ۱۵۰و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (Fanaei *et al*., 2009). پژوهشگران بر این باورند که درصد روغن تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده، اما فراهمی عناصر ضروری در مرحله فعالیت‌های حیاتی و حساس گیاه می‌تواند بر میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های گیاه تأثیر گذاشته و در نهایت به انباشت روغن کمک کند (Fanaei *et al*., 2011). نتایج به‌دست‌آمده با گزارش دیگر محققان مبنی بر افزایش درصد روغن کلزا با مصرف پتاسیم، مطابقت داشت (Afridi *et al*., 2002).

۳–۱۰. عملکرد روغن

بر اساس نتایج مقایسات میانگین، بالاترین عملکرد روغن با متوسط ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار به تیمار محلول‌پاشی گوگرد+پتاسیم+نیتروژن در شرایط آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت و کم‌ترین عملکرد روغن نیز با متوسط ۱۰۳ کیلوگرم در هکتار به تیمار عدم محلول‌پاشی در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر دیده شد. لازم به ذکر است که در شرایط آبیاری نرمال بین تیمارهای محلول‌پاشی‌شده با عناصر نیتروژن، نیتروژن+پتاسیم و گوگرد+پتاسیم و تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار دیده نشد. در دور آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی با نیتروژن+پتاسیم و گوگرد+پتاسیم+نیتروژن و محلول‌پاشی با پتاسیم، گوگرد+پتاسیم، گوگرد+نیتروژن و گوگرد+پتاسیم+نیتروژن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). تیمار محلول‌پاشی گوگرد+پتاسیم+نیتروژن در شرایط آبیاری بعد از ۲۰ میلی‌متر توانست عملکرد روغن را نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی در شرایط آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر به میزان ۲/۱ برابر افزایش دهد. عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست آمده که افزایش هر یک می‌تواند در افزایش عملکرد روغن تأثیرگذار باشد. مطالعات نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش درصد و عملکرد روغن شده است. در مطالعه‌ای روی کرچک گزارش شد که بالاترین درصد و عملکرد روغن به شرایط آبیاری نرمال اختصاص داشت و تنش کم‌آبی صفات مذکور را کاهش داد (Rahbari *et al*., 2019).

بر اساس نتایج حاصل از تحقیق Fanaei *et al*. (2013) مصرف پتاسیم سبب افزایش عملکرد روغن در هر دو گونه کلزا و خردل (*Sinapis arvensis*) در سطوح مختلف رطوبتی شد. به نظر می‌رسد مصرف پتاسیم با تأثیری که بر افزایش عملکرد دانه داشته عملکرد روغن را نیز تحت تأثیر قرار داده است. در مطالعه‌ای مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌دلیل اهمیت اقتصادی و صرفه‌جویی در مصرف کود و میزان ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن به دلیل افزایش محصول، عملکرد روغن و جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی توصیه شد (Rabiee *et al*., 2012). به نقش کلیدی پتاسیم در فعال‌سازی آنزیم‌ها و کوفاکتورهای مورد نیاز در مسیرهای متابولیکی و افزایش عملکرد گیاهان روغنی تأکید شده است (Bruulsema *et al*., 2000).

Ahmad *et al*. (2007) دریافتند که افزایش تیمار گوگرد به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش روغن دانه در کانولا شد. به‌علاوه ممکن است در اثر کاربرد گوگرد، به دلیل وجود مقادیر نسبتاً بالایی از اسیدآمینه‌های گوگرددار مانند متیونین و سیستئین و یا به علت وجود همبستگی منفی بین محتوی روغن و پروتئین، میزان پروتئین دانه کلزا افزایش یابد (Hao *et al*., 2004). گزارش شده است که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن به همراه ۶۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن بذرهای کرچک شد (Zeinali *et al*., 2018).

۴. نتیجه‌گیری

یکی از سازوکارهای گیاهان در جهت مقاومت به تنش‌های محیطی افزایش مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در جهت پاک-سازی رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش اکسیداتیو است. در این مطالعه تنش کم‌آبی، محتوی پرولین و مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برگ کرچک را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد. همچنین محلول‌پاشی عناصر غذایی به‌ویژه تیمار نیتروژن+پتاسیم+گوگرد توانست بر محتوی پرولین و مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزوده و از مقدار پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی بکاهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی عناصر غذایی با بهبود خصوصیات آنزیمی توانسته است از آسیب‌های ناشی از تنش کم‌آبی جلوگیری کرده، مقاومت کرچک را به تنش کم‌آبی بهبود بخشیده و موجب افزایش عملکرد روغن در گیاه کرچک شود.

۵. سپاسگزاری

از مسئولین محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی که با همکاری و حمایت مالی از این پروژه تحقیقاتی همکاری داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

۶. منابع

Afridi, M.Z., Tariq, M., & Shood, A. (2002). Some aspects of NPK nutrition for improved yield and oil contents of canola. *Asian Journal of Plant Sciences*, *5*, 507-509.

Ahmad, G., Jan, A., Arif, M., Jan, M.T., & Khattak, R.A. (2007). Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University Science*, *8*, 731-737.

Akpan, U.G., Jimoh, A., & Mohammad A.D. (2006). Extraction, characterization and modification of castor seed oil. *Leonardo Journal Science*, *8*, 43-52.

Al-Bishri, W., & Nabil Danial, E. (2013). Comparative study on the antioxidant, antimicrobial activities and total phenolic content of selected seeds from Saudi Arabia. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *11*(2), 202-207.

Aman, R., Ebtihal, A.E., & Mervat, S. (2019). Comparative study for the effect of arginine and sodium nitroprusside on sunflower plants grown under salinity stress conditions. *Bulletin of the National Research Centre*, *43*(118), 1-12.

Azarpanah, A., Alizadeh, O., & Dehghanzadeh, H. (2013). Investigation on proline and carbohydrates accumulation in *Zea mays* (L.) under water stress condition. *International Journal of the Bioflux Society*, *5*(1), 47-54.

Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L., & Rastgoo, M. (2008). Yield and seed quality of *Plantago vate* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products*, *27*, 11-16.

Bates, L.S., Waldern, R.P., & Tear, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Behera, B.C., Singdevsachan, S.K., Mishra, R.R., Dutta, S.K., & Thatoi, H.N. (2014). Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilizing microorganism in mangrove: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *3*, 97–110.

Bruulsema, T., Jackson, J., Rajcan, I., & Vyn, T. (2000). Functional food components: A role for potassium. *Better Crops*, *84*(2), 6-7.

Comas, L.H., Becker, S.R., Cruz, V.M.V., Byrne, P.F., & Dierig, D.A. (2013). Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*, *4*, 1-6.

Dazy, M., Ferard, J., & Masfaraud, J. (2008). Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Chemosphere*, *74*, 57-63.

Delaney, A.J., Hu, C.A.A., Kishor, K.P.B., & Verma, D.P.S. (1993). Cloning ornithine-aminotransferase cDNA from *Vigna anconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coil* and regulation of proline biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*, *268*, 18673-18678.

Emami bistgani, Z., Syadat, S.E., Bakhshande, N., & Ghasemi, E. (2014).The effect of chemical, organic fertilizers and chitosan on physiological characteristics and the phenolic compounds of thyme daenensis (*Thymus deanensis Celak*) in Shahrekord area. *Better crops research, 7*, 1-11.

Fanaei, H., Galavi, M., Kafi, M., & Shirani-rad, A.M. (2013). Interaction of water deficit stress and potassium application on potassium, calcium, magnesium concentration and oil of two species of canola (*Brassica napus*) and mustard (*Brassica juncea*). *Journal of Water and Soil Science*, *23*(3), 261-275. (In Persian).

Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., & Ghanbari Bonjar, A. (2009). Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. *International Journal of Plant Production*, *3*(2), 41-54.

Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A., & Shirani-rad, A. (2011). Effect of drought stress and potassium on solutes accumulation and chlorophyll of canola (*B. napus* L.) and Indian mustard (*B. juncea* L.). *JWSS-Isfahan University of Technology*, *15*(57), 141-156. (In Persian).

FAO. (2018). http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.

Fateh, A. (2009). Investigate the impact of soil fertility systems (organic and chemical) on forage yield and properties of artichokes (*Cynara scolymus*). PhD dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran. (In Persian).

Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Heshmati, S. (2015). Study the effect of iron chelate on chlorophyll content, photochemical efficiency and some biochemical traits in safflower under deficit irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*, 137-145. (In Persian).

Ghorbanli, M., Bakhshi Khaniki, G., & 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), 641-658.

Habibi, M., Majidian, M., Shoja, T., & Rabiee, M. (2016). Effects of S, B and Zn, on seed yield, nutrient concentration and seed quality of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal od Oil Plant Production*, *2*(2), 1-12. (In Persian).

Hamzehi, J., & Babaie, M. (2016). Reaction of morphological traits, yield components and yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) to integrated management of irrigation and nitrogen fertilizer. *Iranian Crop Production Publication*, *9*(4), 17-35. (In Persian).

Hao, X., Chang, C., & Travis, G.J. (2004). Effect of long term cattle manure application on relation between nitrogen and oil content in canola seed. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *167*, 214–215.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T.I., Khan, M.I.R., & Fujita, M. (2018). Silicon-mediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in *Brassica napus* (L.). *South African Journal of Botany*, *115*, 50–57.

Hayyan, A., Hashim, M.A., Mirghani, M.E., Hayyan, M., & Nashef, I.M.A. (2013). Esterification of sludge palm oil using trifluoromethane sulfonic acid for preparation of biodiesel fuel. *Korean Journal Chemistry Engineering*, *30*(6), 1229-1234.

Khalil-Vand Behrouziar, A., Yarnia, M., & Darbandi, S. (2009). Effects of water deficit stress and plant density on yield and some morphological and physiological traits of sunflower. *Journal of Crop Ecophysiology*, *3*(11), 27-38. (In Persian).

Khoshgoftarmanesh, A.D. (2007). *Plant Nutrition*. Publication Center, Isfahan University. (In Persian).

Krzyczkowska, J., & Kozłowska, M. (2017) Effect of oils extracted from plant seeds on the growth and lipolytic activity of yarrowia lipolytica yeast. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *94*, 661–671.

Lee, D.H., & Kim, Y.S. (2001). The inductive response of the antioxidant enzymes by water deficit stress and selenium in C4 plants. *Plant Physiolog*, *770*, 151-174.

Maiti, R.K., Moreno-Limon, S., & Wesche-Ebiling, P. (2000). Responses of some crops to various abiotic stress factors and its physiological and biochemical basis of resistances. *Agricultural Reviews*, *21*, 155-167.

Meyghan, N., & Moradi, P. (2017). The effect of nitrogen and phosphorous fertilizers on morphophysiological properties of *Althaea officinalis. Ianian Journal of Plant Physiology*, *8*(4), 2563-2571.

Mousavi, M., Sadeghi Bakhtavari, A.R., Pasban Eslam, B., Sameh Andabjadid, S., Kardan, J., & Mohammadi, H. (2015). Effects of foliar applications of sulphur, nitrogen and phosphorus on castor bean (*Ricinus communis* L.) seed yield and its components under water deficit conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(2), 323-336. (In Persian).

Mrozikiewicz, P.M., Bogacz, A., Karasiewicz, M., Mikolajcza, P.L., Ozarowski, K.M., SeremakMrozikiewicz, A., Czerny, B., BobkiewiczKozlowska, T., & Grzeskowiak, E. (2010). The effect of standardized *Echinacea purpurea* extract on rat cytochrome P450 expression level. *Phytomedicine*, *17*, 830-833.

Muller, V., Lankes, C., Zimmermann, B.F., Noga, G., & Hunsche, M. (2013). Centelloside accumulation in leaves of *Centella asiatica* is determined by resource partitioning between primary and secondary metabolism while influenced by supply levels of either nitrogen, phosphorus or potassium. *Journal of Plant Physiology*, *170*(13), 1165-1175.

Osati, F., Mir Mahmoudi, M., Eslam, B.P., Seta, S.Y., & Monirifar, H. (2022). Effect of irrigation levels and foliar application of fertilizers on some agronomic and oil characteristics of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Plant Science Today*, *9*(1), 1-8.

Outoukarte, I., Keroumi, E.l., Dihazi, A., & Naamani, A.K. (2019). Use of morpho-physiological parameters and biochemical markers to select drought tolerant genotypes of durum wheat. *Journal of Plant Stress Physiology*, *3*, 1–7.

Pasban Islam, B., Shakiba, M.R., Nishaburi Moghadam, M., & Ahmadi, M.R. (2001). Effects of water deficit stress on quantitative and qualitative characteristics of rapeseed. *Journal of Agricultural Science*, *10*(4), 75-78. (In Persian).

Rabiee, M., & Tousi Kehal, P. (2012). Effect of different amounts of potassium and nitrogen fertilizers on yield and yield components of rapeseed after rice cropping. *Crop Production*, *5*(1), 151-158. (In Persian).

Rahbari, A., Masoud Sinaki, J., Damavandi, A., & Rezvan, S.H. (2019). Responses of castor (*Ricinus communis* L.) to foliar application of zinc nano-chelate and humic acid under limited irrigation. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *2*(29), 153-171.

Rahbari, A., Masoud Sinaki, J., Damavandi, A., & Rezvan, S.H. (2021). Castor bean (*Ricinus communis* L.) responses to drought stress and foliar application of Zn-nano fertilizer and humic acid: Grain yield, oil content, antioxidant activity, and photosynthetic pigments. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *49*(4), 1-19.

Rathke, G.W., Christen, O., & Diepenbrock, W. (2005). Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*, *94*, 103-113.

Reddya, A., Chaitanya, K., & Vivekanandanb, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, *161*, 1189-1202.

Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M., & Ramrodi, M. (2011). Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grian yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* (L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant*s, *27*(3), 396-384.

Rezvani Moghaddam, P., Bromand Rezazadeh, Z., Mohamad Abadi, A.A., & Sharif, A. (2009). Effects of sowing dates and different fertilizers on yield, yield components, and oil percentage of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Agronomy*, *6*(2), 303-313. (In Persian).

Rostami, M., Maleki, M., & Effati, A.R. (2017). Effect of foliar application of chemical nano-fertilizers on physiological traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology*, *5*(4), 345-359.

Sangale, P.B., Palil, G.D., & Daftardar, S.Y. (1998). Effect of foliar application of zinc, iron and boron on yield of safflower. *Journal of Moharashtra Agricultural Universities*, *6*, 65-66.

Schnug, E. (1997). *Significance of sulphur for the quality of domesticated plants*. In: Cram, W.J., De Kok, L.J., Brunold, C., Rennenberg, H. (Eds.), sulphur metabolism in higher plants: Molecular, ecophysiological and nutritional aspects; Backhuys Publishers: Leiden., pp. 109-130.

Sharifi Soltani, S., Kazemitabar, S.K., Ranjbar, G.A., Pakdin Pariz , A., & Najafi Zarini, H. (2021). Effect of drought stress on antioxidant enzyme activities, proline content and some morghological traits in different castor bean ecotypes (*Ricinus communis* L.). *Plant Process and Function, 11*(47), 267-281.

Sharma, P., Sareen, S., Saini, M., & Shefali, A. (2017). Assessing genetic variation for heat stress tolerance in Indian bread wheat genotypes using morpho-physiological traits and molecular markers. *Plant Genetic Resources*, *15*, 539–547

Singh-Gill, S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance incrop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*, 909- 930.

Singh, R., Manivannan, D., & Satyanarayana, T. (1994). Discharge coefficient of rectangular side weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *120*(4), 814-819.

Siosemardeh, A., Fateh, H., & Badakhshan, H. (2015). Responses of photosynthesis, cell membrane stability and antioxidative enzymes to drought stress and nitrogen fertilizer in two barley (*Hordeum vulgare*) cultivars under controlled condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(2), 215-228.

Tavan, T., Neyakan, M., & Noreyneya, A.A. (2014). Effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein contenet in wheat (*Triticum aestivum* L. CV. N8019). *Journal of Plant Environmental Physioligy*, *9*(3), 61-71.

Weiss, E.A. (2000). *Oil seed crops*. Blackwell Science. 364 pp.

Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Unraveling salt stress signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, *60*(9), 796-804.

Zarrabi, M.M., Mafakheri, S., Hajivand, S., & Arvane, A. (2016). Effect of organic and chemical fertilization on qualitative and quantitative characteristics of *Melissa officinalis* (*Lemon Balm*). *Plant Production Technology*, *17*(1), 113-124.

Zeinali, A., Sadeghi Bakhtvari, A.R., & Sarabi, V. (2018). Investigation of nitrogen and sulphur effects on quantitative and qualitative characteristics of castor bean seed (*Ricinus communis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 9*(1), 29-43. (In Persian).