



Effect of Drought Stress on Some Morphophysiological Traits and Yield of Safflower (*Carthamus tinctorious* L.) in Response to Potassium Use

Mahdi Kaykhazhaleh¹ | Mahmoud Ramroudi^{2✉} | Mohammad Galavi³ |
Ahmad Ghanbar⁴ | Hamid Reza Fanaei⁵

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: mahdi.kaykhazaleh@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: mramroudi42@uoz.ac.ir
3. Department Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: mgalavii@uoz.ac.ir
4. Department Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: ghanbari@uoz.ac.ir
5. Seed and Plant Improvement Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: h.fanaie@areeo.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	An experiment has been conducted in the form of split plots in a randomized complete block design with three replications at the Agricultural and Natural Resources Research Institute in Zahak to evaluate the effect of drought stress and potassium application on yield and morphophysiological traits of safflower (Goldasht cultivar) under saline irrigation conditions (EC 6 dS.m ⁻¹) in 2018-2019.
Article history: Received: 08 September 2021 Received in revised form: 26 February 2022 Accepted: 10 March 2022 Published online: 17 December 2022	Drought stress irrigation regimes have been tested at three levels (irrigation after 45% (control), 65%, and 85% of admissible moisture depletion) as the main factor, and potassium fertilizer at four levels (0, 75, 150, and 225 kg.ha ⁻¹) as the sub factor. According to the findings, drought stress has reduced plant height, number of heads per plant, number of seeds per head, seed and biological yield, and relative water content. The use of potassium, on the other hand, has increased the above traits greatly. Irrigation after 45% moisture depletion increases seed yield by 42.32%, compared to irrigation after 85% moisture depletion. Interaction of drought stress and potassium has had a significant effect on number of branches per plant, 1000-seed weight, leaf chlorophyll index, soluble carbohydrate content, and seed oil percentage, with the highest amount observed after 45% water drainage and application of 225 kg K ha ⁻¹ .
Keywords: Leaf chlorophyll index, percentage oil, seed yield, soluble carbohydrate, water stress.	

Cite this article: Kikhazaleh, M., Ramroudi, M., Galavi, M., Ghanbar, A., & Fanaei, H. R. (2022). Effect of drought stress on some morphophysiological traits and yield of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) in response to use of potassium. *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1133-1145. DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2022.330328.2610>



تأثیر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorious* L.) در پاسخ به کاربرد پتاسیم

مهدی کیخا ژاله^۱ | محمود رمرودی^۲ | محمد گلوی^۳ | احمد قنبری^۴ | حمیدرضا فنایی^۵

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: mahdi.kaykhazaleh@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: mramroudi42@uoz.ac.ir
۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: mgalavii@uoz.ac.ir
۴. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: ghanbari@uoz.ac.ir
۵. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: h.fanaie@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

به منظور ارزیابی تأثیر تنش خشکی و کاربرد پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیک گلرنگ (گلدشت) تحت شرایط آبیاری با آب شور (۶ دسی‌زیمنس بر متر)، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان زهک در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تنش خشکی به‌عنوان کرت اصلی در سه سطح ۴۵ (شاهد)، ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی و مصرف پتاسیم به‌عنوان کرت فرعی در چهار سطح صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و بیولوژیک و محتوای نسبی آب برگ شد، اما با کاربرد پتاسیم ویژگی‌های فوق روند افزایشی معنی‌داری داشتند. عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی (شاهد) نسبت به آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی ۳۲/۳۲ درصد افزایش داشت. تأثیر برهم‌کنش تنش خشکی و کود پتاسیم بر تعداد شاخه در بوته، وزن هزاردانه، شاخص کلروفیل برگ (SPAD)، محتوای کربوهیدرات‌های محلول و درصد روغن دانه معنی‌دار شد و بیش‌ترین میزان آن‌ها از تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی با کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار حاصل شد.

کلیدواژه‌ها:

تنش کم‌آبی،
درصد روغن،
شاخص کلروفیل برگ،
عملکرد دانه،
کربوهیدرات‌های محلول.

استناد: کیخا ژاله، م، رمرودی، م، گلوی، م، قنبری، ا. و فنایی، ح (۱۴۰۱). تأثیر تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorious* L.) در پاسخ به کاربرد پتاسیم. *برزرعی کشاورزی*، ۲۴ (۴)، ۱۱۳۳-۱۱۴۵.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2022.330328.2610>



۱. مقدمه

بی‌تردید، بحران آب و پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی آن را می‌توان یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست و یکم دانست که در پی آن، معضله‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری در نقاط مختلف جهان به ثبت رسیده است (Galli *et al.*, 2012). به همین دلیل، ارتقای الگوی بهره‌بردار و استفاده از منابع محدود آبی، به‌ویژه در بخش‌های پرمصرف، می‌تواند گام مهمی برای نیل به پایداری آبی در سطح جهان محسوب شود. در حال حاضر حجم قابل‌توجهی از منابع آبی جهان متأثر از شوری می‌باشد. شوری آب و خاک زراعی نیز از جمله عواملی هستند که مانع از حصول عملکرد کافی در گیاهان زراعی می‌شود (Kafi *et al.*, 2009).

گلرنگ (*Carthamus tinctorious L.*) از جمله گیاهانی است که از قابلیت‌های زراعی بسیار زیاد برای کشت در شرایط مختلف، به‌ویژه مناطق گرم و خشک جهت قرارگرفتن در تناوب زراعی با غلات، مقاومت بالا به خشکی، شوری و قلیائیت خاک برخوردار می‌باشد (Khajehpour, 2006) و به‌عنوان یک گیاه مقاوم به تنش‌های شوری و خشکی (Weiss, 2000) و با داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه (Paseban Islam, 2001) آینده نویدبخشی در مناطق دارای محدودیت‌های آبی دارد.

تنش خشکی یکی از تنش‌های چندبعدی است که منجر به یک‌سری تغییرات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان می‌شود که تأثیر منفی بر رشد و تولید آن‌ها دارد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد نهایی می‌شود (Ashraf, 2010). خشکی سبب بسته‌شدن روزنه‌ها، محدودیت تبادل گازی و کاهش فتوسنتز می‌شود (Guo *et al.*, 2014). تنش خشکی در طول دوره رشد رویشی از طریق کاهش سطح برگ فعال فتوسنتزی و در دوره زایشی از طریق کاهش طول دوره رشدی باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. مطالعات زیادی نشان داده است که تنش خشکی در مرحله گلدهی، گرده‌افشانی را کاهش می‌دهد و بنابراین تعداد دانه تشکیل شده در طبق کاهش و منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Abedi Baba-Arabi *et al.*, 2010; Joshan *et al.*, 2020). بروز تنش خشکی در طول مراحل نهایی نمو زایشی موجب تسریع پیری و کاهش مدت پُردن دانه گلرنگ می‌شود (Fanaei & Narouirad, 2014; Kar *et al.*, 2007). در ارزیابی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی در وارته‌های گلرنگ تحت تنش خشکی گزارش شده است که محتوای نسبی آب برگ و کل کلروفیل کاهش یافت، اما کربوهیدرات‌های محلول در گلرنگ افزایش یافت (Mohammadi *et al.*, 2016). نتایج پژوهش‌های بی‌شمار نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ کاهش یافت (Mothashmia *et al.*, 2020; Tadayon, 2020; Khoshnam and Mamnoie, 2021; Joshan *et al.*, 2020).

یکی از مهم‌ترین اثرات منفی تنش خشکی، کاهش جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه می‌باشد که سبب کمبود عناصر غذایی در گیاه می‌شود. تغذیه مناسب در شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل به تنش‌های مختلف کمک کند (Abedi Baba-Arabi *et al.*, 2010). شناخت بهتر نقش عناصر غذایی در مقاومت گیاهان به خشکی، با بهبود مدیریت کود در مناطقی که از خشکی رنج می‌برند، در ارتباط است (Vildova *et al.*, 2006). پتاسیم یکی از عناصری پر مصرف و ضروری موردنیاز گیاهان است که سبب افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات می‌شود، هم‌چنین علاوه بر آن سبب افزایش تحمل گیاهان به شوری و کم‌آبی می‌شود و کارایی عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (Amanullah *et al.*, 2016). پتاسیم نقش مهمی در فرایندهای فیزیولوژیک از جمله فتوسنتز، انتقال شیره پرورده به مخازن گیاه، حفظ تورژسانس، هدایت روزنه‌ای و کربوهیدرات‌های محلول ایفا می‌کند (Wang *et al.*, 2013). گزارش شده است که محلول‌پاشی با پتاسیم موجب افزایش عملکرد دانه و درصد روغن گلرنگ در شرایط تنش خشکی می‌شود

(Abedi Baba-Arabi *et al.*, 2010). نتایج بررسی نشان داد که تأثیر تنش خشکی و کود پتاسیم بر تعداد ساقه، وزن خشک بوته و میزان کربوهیدرات محلول گیاه دارویی بابونه معنی‌دار شد و با افزایش میزان کود پتاسیم افزایش یافتند (Jahanbani, 2017).

با عنایت به کمبود منابع آب مناسب و وجود منابع آب شور در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، ارائه راه‌کارهایی مبنی بر استفاده از آب‌های نامتعارف در منطقه و اهمیت ارتقای بهره‌وری از آب‌های شور از اولویت‌های پژوهشی می‌باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر کاربرد پتاسیم و تنش خشکی بر ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیک گلرنگ (گلدشت) تحت شرایط آبیاری با آب شور (هدایت الکتریکی آب آبیاری حدود ۶ دسی‌زیمنس بر متر) در سیستان اجرا شد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان زهک در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. این ایستگاه در ۲۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان زابل در طول جغرافیایی ۲۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا قرار گرفته و متوسط بارندگی سالیانه آن ۵۳ میلی‌متر است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک (عمق صفر تا ۳۰)

هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	pH	مواد آلی (%)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	ظرفیت زراعی (%)	بافت خاک
۲/۲	۸/۲	۰/۳۴	۸	۱۳۴	۱۳/۱	شنی لومی

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی تنش خشکی در سه سطح شامل ۴۵ (شاهد)، ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی و ۸۵ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی و مصرف خاکی پتاسیم (سولفات پتاس) به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بودند. تنش خشکی از مرحله ۶-۷ برگی اعمال شده است. قبل از کشت جهت انجام آزمایش‌های خاک‌شناسی، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مزرعه نمونه‌برداری انجام شد. جهت تعیین منحنی رطوبتی خاک نمونه‌ها به بخش تحقیقات آب و خاک ارسال و نقاط پتانسیلی خاک و میزان رطوبت موجود در آن‌ها به‌صورت وزنی تعیین شد. هر دو هفته نمونه خاک برداشت و براساس درصد وزنی، میزان رطوبت خاک هر کرت در جهت تعیین زمان رسیدن به هر یک از تیمارهای آبیاری فوق محاسبه شد.

پس از محاسبه، آب موردنیاز از طریق نصب پارشال فلوم به‌صورت قابل کنترل وارد کرت‌ها می‌شد. براساس آنالیز انجام‌گرفته از خاک، کودهای فسفر (سوپرفسفات تریپل) و پتاسیم قبل از کاشت هم‌زمان با آماده‌سازی زمین از طریق دیسک به خاک افزوده شد. کود نیتروژن (اوره) به میزان ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و به‌صورت سرک در مراحل ساقه‌دهی و غوزه‌دهی مصرف شد. هر کرت فرعی دارای چهار ردیف به طول ۴ متر با فاصله خطوط ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر بود. کاشت در اواسط آبان‌ماه انجام شد. پس از انجام کاشت، عملیات زراعی نظیر آبیاری و اعمال کود (در تیمارهای مربوطه)، مبارزه با علف هرز و سله‌شکنی در تمام تیمارها به‌صورت یکسان اعمال شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، درصد روغن دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک به‌طور تصادفی تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و برداشت در دهه اول خردادماه انجام شد. با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای روی بوته‌های خطوط داخلی هر کرت

نمونه برداری‌های لازم در مرحله گلدهی از جمله اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل برگ (SPAD) و محتوای کربوهیدرات‌های محلول برگ به شرح ذیل انجام شد.

محتوای نسبی آب برگ قبل از اولین زمان رفع تنش در تیمارها پس از گلدهی تیمارها انجام شد. برای تعیین میزان نسبی آب برگ از هر کرت، از جوان‌ترین برگ‌ها که کاملاً توسعه یافته و به رشد نهایی رسیدند (سومین برگ از راس بوته‌ها) انتخاب، جداسازی و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. از این برگ‌ها برش‌های دایره‌ای شکل به تعداد پنج دیسک یک سانتی‌متری که از رگبرگ اصلی نباشد، تهیه و وزن تر آن‌ها یادداشت شد. سپس این دیسک‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه و محیط کم نور داخل ظرف پتری حاوی آب مقطر شناور تا به طور کامل اشباع شد. سپس برش‌های برگ را از ظروف بیرون آورده و پس از گرفتن رطوبت روی دیسک‌ها با کاغذ صافی دوباره توزین شده و وزن اشباع‌شده اندازه‌گیری شد. بعد از این دیسک‌های برگی به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از خشک‌شدن دوباره توزین و وزن خشک آن‌ها محاسبه شد. نحوه محاسبه محتوای نسبی آب برگ‌ها براساس رابطه (۱) خواهد بود (Dhopte & Manuel, 2002).

رابطه (۱)
$$RWC (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

در این رابطه، FW: وزن تر، DW: وزن خشک و TW: وزن تورژسانس برگ می‌باشد. در مرحله گلدهی میزان شاخص کلروفیل از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته با استفاده از دستگاه کلروفیل متر SPAD-502 (ساخت شرکت Minolta-ژاپن) انجام گرفت. میزان کربوهیدرات‌های محلول با استفاده از اتانول ۹۵ درصد و براساس روش اسید سولفوریک استخراج و اندازه‌گیری شدند (Kerepesi *et al.*, 1996).

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C (نسخه ۲/۱۰) آنالیز و مقایسات میانگین در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون LSD انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی و کود پتاسیم در سطح یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش شدت تنش خشکی از تیمار آبیاری پس از ۴۵ به ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی به شدت ارتفاع بوته را کاهش داد، به گونه‌ای که با افزایش شدت تنش (آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی)، ارتفاع بوته ۱۵/۱۸ درصد نسبت به عدم تنش خشکی (آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی) کاهش یافت (جدول ۳). با توجه به این نتایج، می‌توان گفت اولین واکنش گیاه برای حفظ بقا در شرایط تنش خشکی کاهش رشد رویشی می‌باشد و هم‌راستا با این نتایج پژوهش Ahmad *et al.* (2013) نشان داد که تنش خشکی به دلیل تغییراتی که در وضعیت آب سلولی گیاه به وجود می‌آورد، باعث کاهش رشد ساقه و ارتفاع بوته می‌شود. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس تنش خشکی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع بوته و کاهش تعداد شاخه در بوته تشخیص داد (Anjum *et al.*, 2011; Khorasani Nejad *et al.*, 2011). نتایج پژوهشی نشان داد که ارتفاع بوته و تعداد شاخه گلرنگ تحت تأثیر رژیم‌های کم آبیاری به طور معنی‌داری کاهش می‌یابند (Nabipour *et al.*, 2017).

براساس نتایج حاصل کود پتاسیم اثر مثبت و معنی‌داری بر افزایش ارتفاع بوته گذاشت و با افزایش میزان کود پتاسیم

به ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۶/۰۱، ۱۳/۶۹ و ۲۶/۴۴ درصد ارتفاع بوته را نسبت به عدم مصرف کود افزایش داد (جدول ۳). نتایج حاکی از افزایش ارتفاع بوته و طول شدن ساقه با کاربرد کود پتاسیم می باشد. پتاسیم از طریق تنظیم اسمزی، پتانسیل آب لازم را برای رشد و به تبع آن برای تقسیم سلولی فراهم می کند و منجر به افزایش ارتفاع ساقه نیز می شود (Marschner, 2012).

جدول ۲. تجزیه واریانس برخی ویژگی های مروفیز بولوژیکی و عملکرد گلرنگ در تنش خشکی و کود پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه در بوته	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق
تکرار	۲	۵/۴۶ns	۰/۰۳ns	۱۱/۲۶ns	۹/۴۲ns
آبیاری	۲	۷۳۱/۹۷**	۱۹/۵۳*	۷۷/۶۹**	۳۹۶/۴۹**
خطای a	۴	۹/۸۶	۱/۶۱	۲/۶۰	۴/۸۹
کود پتاسیم	۳	۵۷۶/۷۵**	۱۴/۱۱**	۶۱/۲۱**	۷۸/۱۱**
آبیاری × کود پتاسیم	۶	۸/۵۷ns	۳/۴۲*	۲/۵۵ns	۰/۸۳ns
خطای b	۱۸	۷/۵۷	۰/۸۹	۲/۴۴	۰/۸۹
ضریب تغییرات (%)		۳/۵۲	۱۲/۸۳	۱۰/۸۹	۲/۵۴
ns و **: به ترتیب بدون اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.					

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس برخی ویژگی های مروفیز بولوژیکی و عملکرد گلرنگ در تنش خشکی و کود پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کربوهیدرات های محلول	محتوای رطوبت نسبی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
تکرار	۲	۴/۶۵ns	۱/۴۸ns	۲۳۸۵/۱ns	۳۷۸۹۱/۶ns
آبیاری	۲	۲۶/۴۸ns	۲۸۷/۶۲*	۱۰۳۸۶۷/۸**	۱۴۰۱۴۴۲/۵**
خطای a	۴	۵/۳۱	۱۷/۹۹	۳۸۸۴/۳	۷۰۶۴۸/۱
کود پتاسیم	۳	۵۳/۲۰**	۳۵۴/۳۵**	۱۷۲۷۲۵۵/۵**	۴۵۶۳۲۱۲/۲**
آبیاری × کود پتاسیم	۶	۱۴/۱۷**	۸/۲۶ns	۲۱۲۸۳/۴ns	۱۴۷۰۳۷/۱ns
خطای b	۱۸	۱/۸۹	۵/۰۸	۱۸۴۷۴/۹	۵۹۸۰۴/۵
ضریب تغییرات (%)		۷/۵۱	۳/۷۵	۸/۰۲	۲/۸۴
ns و **: به ترتیب بدون اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.					

جدول ۳. مقایسه میانگین های اثر تنش خشکی و کود پتاسیم بر ویژگی های مورد بررسی گلرنگ

تیمارها	ارتفاع بوته (cm)	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	محتوای نسبی آب (%)	عملکرد دانه (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (Kg.ha ⁻¹)
تنش خشکی (% of admissible moisture depletion)						
۴۵	۸۷/۰۴a	۱۷/۴۲a	۴۲/۶۷a	۶۵/۷۴a	۱۹۶۷/۳۹a	۹۷۳۸/۸۹a
۶۵	۷۵/۶۷b	۱۴/۶۷b	۳۴/۸۱b	۵۸/۰۶b	۱۷۲۹/۲۹b	۸۴۷۲/۲۲b
۸۵	۷۲/۰۸c	۱۲/۳۳c	۳۲/۸۹b	۵۶/۶۴b	۱۳۸۲/۳۵c	۷۵۸۸/۸۹c
کود پتاسیم (kg.ha ⁻¹)						
صفر	۷۰/۱۷d	۱۲/۵۶c	۳۳/۶۱d	۵۳/۰۶d	۱۱۸۳/۸۴d	۷۸۰۰/۰۰d
۷۵	۷۴/۳۹c	۱۳/۰۰c	۳۶/۱۶c	۵۷/۲۶c	۱۴۹۸/۸۸c	۸۳۴۰/۷۴c
۱۵۰	۷۹/۷۸b	۱۵/۴۴b	۳۸/۱۹b	۶۲/۹۴b	۱۹۱۹/۱۷b	۸۷۷۴/۰۷b
۲۲۵	۸۸/۷۲a	۱۸/۲۲a	۴۰/۵۳a	۶۷/۳۴a	۲۱۷۰/۱۵a	۹۴۸۵/۱۹a

حرف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

۲.۳. تعداد شاخه در بوته

بر اساس نتایج تعداد شاخه در بوته به‌طور معنی‌داری در سطح پنج درصد تحت تأثیر برهم‌کنش تنش خشکی و کود پتاسیم قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش آن‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی (کاهش آبیاری پس از ۴۵ به ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی) در تیمارهای کودی تعداد شاخه در بوته کاهش یافت. کم‌ترین تعداد شاخه در بوته متعلق به تیمار شاهد کودی در تیمار آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی و بیش‌ترین آن متعلق به تیمار ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی بود. افزایش میزان کود پتاسیم در تیمار شدید تنش خشکی (آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی) اثرات منفی تنش را به شدت کاهش داد، به‌طوری‌که با افزایش میزان کود پتاسیم از صفر به ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار در تنش شدید خشکی (آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی) تعداد شاخه در بوته به‌ترتیب ۱/۱۹، ۱/۲۵ و ۱/۳۸ برابر تیمار شاهد کودی که تعداد شاخه ۵/۳۳ سانتی‌متری داشت، شد (جدول ۴).

به‌عبارتی، در تنش شدید خشکی اثرات مثبت پتاسیم محسوس‌تر بود. تعداد شاخه در بوته حاکی از میزان رشد رویشی است که به‌طور قابل‌توجهی در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Gomes-Sanchez *et al.*, 2000). بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در شرایط تنش خشکی رشد رویشی کم‌تر می‌شود و گیاه با کاهش رشد، توانایی تحمل شرایط تنش خشکی را برای خود فراهم می‌کند. نتایج پژوهش‌های بی‌شماری نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه در بوته می‌شود (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2005; Jain *et al.*, 2010).

جدول ۴. مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر تنش خشکی و کود پتاسیم بر برخی ویژگی‌های موردبررسی گلرنگ

روغن (%)	هیدرات‌های کربن محلول (mg.g-1FW)	شاخص کلروفیل برگ (SPAD)	وزن هزاردانه (g)	تعداد شاخه در بوته	کود پتاسیم (kg.ha ⁻¹)	تنش خشکی (% of admissible moisture depletion)
۲۶/۳۲ab	۱۴/۰۸g	۶۵/۷۰cd	۳۷/۱۴abcd	۶/۳۳cd	۰	
۲۶/۹۵a	۱۵/۸۲efg	۶۷/۶۳bc	۳۹/۰۱a	۷/۶۷c	۷۵	۴۵
۲۵/۹۹abc	۱۷/۶۹cde	۶۸/۸۷bc	۴۰/۸۳a	۹/۳۳b	۱۵۰	
۲۵/۲۱abcd	۱۸/۱۶bcde	۷۱/۴۷a	۴۱/۳۷a	۱۰/۰۱a	۲۲۵	
۲۲/۰۸e	۱۵/۲۴fg	۶۳/۴۷de	۳۴/۲۵bcd	۶/۱۲cd	۰	
۲۶/۰۱ab	۱۹/۷۳bc	۶۹/۴۲bc	۳۷/۶۶abc	۷/۰۰c	۷۵	۶۵
۲۴/۹۳bcd	۲۰/۱۶b	۷۰/۴۰b	۳۸/۲۸ab	۶/۶۷cd	۱۵۰	
۲۵/۹۹abcd	۱۹/۷۳bc	۶۸/۹۳bc	۴۰/۲۷a	۷/۶۶c	۲۲۵	
۲۰/۱۶f	۱۶/۸۴def	۵۷/۲۷f	۳۲/۹۵d	۵/۳۳d	۰	
۲۴/۲۹cd	۱۷/۲۱def	۶۰/۸۳ef	۳۳/۴۷cd	۶/۳۲cd	۷۵	۸۵
۲۳/۷۱de	۱۹/۰۵bcd	۶۷/۴۷bcd	۳۹/۳۱a	۶/۶۶cd	۱۵۰	
۲۵/۰۴abc	۲۲/۶۵a	۷۰/۱۷b	۳۹/۲۸a	۷/۳۳c	۲۲۵	

حرف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست.

۳.۳. تعداد طبق در بوته

نتایج نشان داد که تنش خشکی و کود پتاسیم در سطح یک درصد بر تعداد طبق در بوته تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش تعداد طبق در بوته نسبت به شرایط آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی شد (جدول ۳). مرحله گلدهی حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی است و تنش خشکی در این مرحله باعث کاهش تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق می‌شود. تنش خشکی با کاهش آب قابل‌دسترس خاک در دوره نمو زایشی گیاه منجر به کاهش تولید گل و افزایش ریزش آن‌ها گردید. بنابراین تعداد طبق در بوته کاهش یافت که این نتایج با نتایج پژوهش Jain *et al.* (2010) مطابقت دارد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش مصرف کود پتاسیم تعداد طبق در بوته افزایش یافت و بیش‌ترین تعداد طبق در بوته از کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و کم‌ترین آن از عدم مصرف کود به‌دست آمد. به‌طوری‌که با افزایش مصرف پتاسیم از صفر به ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار تعداد طبق در بوته به‌ترتیب ۳/۵۰، ۲۲/۹۳ و ۴۵/۰۶ درصد افزایش یافت (جدول ۴) که حاکی از تأثیر مثبت کود پتاسیم بر تعداد طبق در گلرنگ می‌باشد.

۴.۳. تعداد دانه در طبق

تأثیر تنش خشکی و کود پتاسیم در سطح یک درصد بر تعداد دانه در طبق معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین‌ها افزایش شدت تنش خشکی سبب کاهش تعداد دانه در طبق شد. به‌طوری‌که تعداد دانه در طبق در تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی بیش‌تر از تیمارهای آبیاری پس از ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی بود و بین تیمارهای آبیاری پس از ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف آماری از نظر تعداد دانه در طبق وجود نداشت (جدول ۳). تنش خشکی سبب تسریع در طی مراحل نمو، کاهش دوره رشدونمو گیاه، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق شد که نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌ها مبنی بر کاهش تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق تحت تأثیر تنش خشکی مطابقت دارد (Pouresmaiel *et al.*, 2013; Bortolheiro & Silva, 2017).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها کم‌ترین تعداد دانه در طبق مربوط به عدم کاربرد کود بود، و با افزایش مصرف کود پتاسیم افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آن از ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌دست آمد. با افزایش میزان مصرف کود پتاسیم از ۷۵ به ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار تعداد دانه در طبق به‌ترتیب ۷/۷۴، ۱۳/۶۹ و ۲۰/۶۳ بیش‌تر از تیمار عدم مصرف کود پتاسیم شد (جدول ۳) که نشان‌دهنده تأثیر مثبت کود پتاسیم بر تعداد دانه در طبق در شرایط ایجاد تنش خشکی می‌باشد.

۵.۳. وزن هزاردانه

نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار در سطح پنج درصد برهم‌کنش تنش خشکی و کود پتاسیم بر وزن هزاردانه می‌باشد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش آن‌ها، وزن هزاردانه با تغییر شرایط آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی به تیمارهای آبیاری پس از ۶۵ و ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی در تیمارهای کودی کاهش یافت. بیش‌ترین وزن هزاردانه با کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد کودی در شرایط عدم تنش، افزایش ۱۱/۳۹ درصدی نشان داد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی منابع تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی در بین دانه‌ها کاهش می‌یابد که متعاقب آن وزن هزاردانه کاهش خواهد یافت. این کاهش می‌تواند به‌دلیل اختلال در انتقال مواد غذایی باشد که در نهایت درصد کمی از دانه‌ها به‌طور کامل تشکیل می‌شوند و یا دانه‌هایی که تشکیل می‌شوند به اندازه کافی افزایش وزن نخواهد داشت. در بررسی شدت و زمان اعمال تنش خشکی گزارش شده است که تنش خشکی با کوتاه‌کردن دوره پرشدن دانه، باعث کاهش وزن هزاردانه می‌شود (Ahmadi & Bahrani, 2009). به‌طور کلی، کاهش رطوبت خاک سبب بروز تغییرات زیاد مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود که در نهایت باعث کاهش تعداد دانه و وزن دانه می‌شود (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2005).

براساس مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش تغییرات وزن هزاردانه در سطوح کود پتاسیم تحت تأثیر تنش خشکی، ناچیز بود (جدول ۴) که حاکی از تعدیل اثر تنش خشکی با کاربرد پتاسیم می‌تواند باشد، که هم‌راستا با نتایج این آزمایش می‌باشد. کاربرد کود پتاسیم با تعدیل اثر خشکی توانست تأثیر منفی آن را در کاهش وزن هزاردانه سبب شود.

۳.۶. شاخص کلروفیل (SPAD)

نتایج نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و کود پتاسیم در سطح یک درصد بر شاخص کلروفیل معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش آن‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی (آبیاری پس از ۴۵ به ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی) در تیمارهای کودی شاخص کلروفیل کاهش یافت. کم‌ترین آن متعلق به تیمار شاهد کودی در تیمار آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی و بیش‌ترین آن متعلق کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم کود پتاسیم در هکتار در تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی بود که نسبت به تیمار آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی و عدم مصرف کود ۲۴/۷۹ درصد افزایش داشت (جدول ۴). تحت شرایط تنش خشکی تغییراتی از جمله کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش فلورسانس اولیه و کاهش راندمان کوانتومی در گیاهان رخ می‌دهد (Guo *et al.*, 2016). براساس نتایج پژوهشی گزارش شده است که با افزایش مصرف سولفات پتاسیم، افزایش در محتوای نسبی کلروفیل برگ موز دیده شد که بالا رفتن فعالیت‌های فتوسنتزی ناشی از افزایش محتوای نسبی کلروفیل در برگ‌ها می‌تواند به واسطه نقش پتاسیم در سنتز پیش‌ماده رنگیزه‌های کلروفیل باشد (Kumar & Kumar, 2008).

۳.۷. کربوهیدرات‌های محلول در آب

میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم‌کنش تنش خشکی و کود پتاسیم در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش شدت تنش خشکی و کود پتاسیم میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب افزایش یافتند، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین آن به تیمارهای آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی و عدم مصرف کود به‌ترتیب ۲۲/۶۵ و ۱۴/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ تعلق داشت (جدول ۴). افزایش در غلظت قندهای محلول ناشی از تجزیه نشاسته (Li *et al.*, 2013) یا افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سنتتاز (Plaue *et al.*, 2004) در موقع تنش خشکی گزارش شده است. نتایج پژوهشی روی گیاه دارویی بابونه نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی بر میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ افزوده می‌شود که این خود بیانگر فعال شدن مکانیسم تنظیم اسمزی در گیاه در دوره مواجه شدن با تنش خشکی است (Arazmjo *et al.*, 2010). افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول با مصرف کود پتاسیم می‌تواند به‌خاطر نقش مثبت پتاسیم در بهبود فتوسنتز از طریق بهبود فشار تورگر و هدایت روزنه‌ای در شرایط ایجاد تنش خشکی باشد (Reddy *et al.*, 2006; Sharma & Kuhad, 2006).

۳.۸. محتوای نسبی آب برگ

نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر تنش خشکی در سطح پنج درصد و کود پتاسیم در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی به میزان ۶۵/۷۴ درصد و کم‌ترین آن از تیمار آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی به میزان ۵۶/۶۴ درصد بود. با افزایش کود پتاسیم محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ به میزان ۶۷/۳۴ درصد از مصرف ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی سبب کاهش ۱۳/۸۴ درصدی محتوای نسبی آب برگ شد، ولی کاربرد کود پتاسیم باعث افزایش (۲۶/۹۱ درصد) محتوای نسبی آب برگ شد. در واکنش گلرنگ بهاره تحت رژیم‌های مختلف آبیاری گزارش شده است که تحت تنش خشکی سرعت فتوسنتز و محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Singh *et al.*, 2016).

۳.۹. عملکرد دانه و بیولوژیک

طبق نتایج عملکرد دانه و بیولوژیک تحت تأثیر تنش خشکی و کود پتاسیم در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تحت تأثیر تنش خشکی عملکرد دانه و بیولوژیک کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی به‌ترتیب سبب کاهش ۴۲/۳۲ و ۲۸/۳۳ درصد عملکرد دانه و بیولوژیک نسبت به شرایط آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی شد (جدول ۳). بیش‌تر بودن عملکرد دانه و بیولوژیک در شرایط آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی می‌تواند به‌دلیل رشد بیش‌تر گیاهان، افزایش تعداد شاخه در بوته و افزایش تعداد طبق در بوته باشد. گزارش شده است که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت (Moghanibashi, Najafabadi *et al.*, 2019) که با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش هم‌خوانی دارد. نتایج پژوهشی نشان داده است که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌داری عملکرد دانه و بیولوژیک می‌شود که دلیل کاهش آن‌ها، می‌تواند کاهش سطح برگ، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها و کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل برگ سبب تقلیل فرایند فتوسنتز بوده باشد (Pirzad *et al.*, 2011). در این آزمایش تحت تنش خشکی تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه کاهش پیدا کرد. بنابراین کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک تحت شرایط تنش خشکی دور از انتظار نبود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش کود پتاسیم عملکرد دانه و بیولوژیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و بیش‌ترین عملکرد دانه و بیولوژیک به کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار تعلق داشت. طبق نتایج تأثیر کاربرد پتاسیم بر عملکرد دانه بیش‌تر از عملکرد بیولوژیک بود، به‌طوری‌که عملکرد دانه و بیولوژیک با مصرف ۲۲۵ کیلوگرم پتاسیم نسبت به عدم مصرف کود به‌ترتیب ۸۳/۳۱ و ۲۱/۶۰ درصد افزایش داشت (جدول ۳). نتایج پژوهشی حاکی از افزایش تولید ماده خشک گیاه با افزایش مصرف کود پتاسیم می‌باشد و استفاده از کود پتاسیم توانست اثرات منفی تنش خشکی را به‌طور چشم‌گیری کاهش دهد (Jahanbani, 2017).

۳.۱۰. درصد روغن

تأثیر برهم‌کنش تنش خشکی و کود پتاسیم در سطح پنج درصد بر درصد روغن معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد در تیمارهای تنش خشکی با افزایش میزان مصرف کود پتاسیم درصد روغن کاهش یافت، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین درصد روغن از تیمار آبیاری پس از ۴۵ درصد تخلیه رطوبتی (عدم تنش خشکی) توأم با مصرف ۷۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار حاصل شد که بین سطوح کود پتاسیم تفاوت آماری وجود نداشت و کم‌ترین آن از تیمار آبیاری پس از ۸۵ درصد تخلیه رطوبتی و عدم مصرف کود حاصل شد (جدول ۴). نتایج پژوهشی نشان داد که آبیاری متداول سبب افزایش درصد روغن در مقایسه با تنش خشکی می‌شود (Salamati & Danaie, 2020). نتایج پژوهشی نشان داد که با افزایش تنش خشکی درصد روغن دانه ژنوتیپ‌های کنجد کاهش معنی‌داری یافت و بیش‌ترین درصد روغن از تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) و کم‌ترین آن از تیمار تنش خشکی به‌دست آمد (Najafi & Safari, 2011). گزارش شده است که محلول‌پاشی با پتاسیم سبب افزایش درصد روغن گلرنگ می‌شود (Abadi Baba-Arabi *et al.*, 2010).

۴. نتیجه‌گیری

براساس نتایج افزایش شدت تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و بیولوژیک، درصد روغن، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ و سبب افزایش معنی‌دار کربوهیدرات محلول در آب که در افزایش تحمل گیاه به خشکی نقش مؤثری دارند، گردید. کاربرد کود پتاسیم موجب افزایش ویژگی‌های

مورد بررسی نسبت به عدم مصرف کود شد. کاربرد کود پتاسیم تا حدی از بروز اثرات منفی تنش خشکی بر این گیاه کاست و مانع از کاهش شدید عملکرد تولیدی شد. به نظر می‌رسد تأثیر کود پتاسیم بر افزایش تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و بیولوژیک، درصد روغن، شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تنش خشکی راه کار مناسبی برای دستیابی به افزایش تولید در گلرنگ باشد.

۵. تشکر و قدردانی

از حمایت مالی در چاپ مقاله که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به شماره IR-UOZ-GR-9360 تأمین شده است، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع مورد استفاده

- Abedi Baba-Arabi, S., Movahhedi Dhnavi, M., Yadavi, A.R., & Adhami, A. (2010). Effect of Zn and K foliar application on physiological traits and yield of spring safflower under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(1), 75-95. (In Persian) Doi: 10.22067/jag.v11i4.72028
- Ahmad, I., Khan, M.A., Qasim, M., Ahmad, R., & Saleem, M. (2013). Substrate salinity affects growth, yield, and quality of *Rosa hybrida L.* *Pakistan Journal of Science*, 65(2), 191-196.
- Ahmadi, M., & Bahrani, M.J. (2009). Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of three sesame cultivars in Bushehr Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 48(2), 123-131. (In Persian)
- Amanullah, S., Iqbal, A., Irfanullah, M., Irfanullah, M., & Hidayat, Z. (2016). Potassium management for improving growth and grain yield of maize (*Zea mays L.*) under moisture stress condition. *Scientific Reports*, 6, 34627. doi: 10.1038/srep34627.
- Anjum, S. H., Xie, X., Wang L. C., Farrukh Saleem, M., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agriculture Resrech*, 6(9), 2026-2032. doi: 10.5897/AJAR10.027
- Arazmjo, E., Heidari, M., & Ganbari, A. (2010). Effect of water stress and type of fertilizer on yield and quality of chamomile (*Matricaria chamomilla L.*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(2), 100-111. (In Persian) <http://agrobreedjournal.ir/article-1-177-en.html>
- Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances*, 28: 169–183. doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.11.005.
- Bortolheiro, F.P.A.P., & Silva, M.O.A. (2017). Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89, 3051-3066. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170475>
- Dhopte, A. M. and Manuel, L. M. 2002. *Principals and Techniques for plant scientists*. 1st Edn. Updesh purohit for Agrobios (India). Odhpur. 373p.
- Fanaei, H., & Narouirad, M.R. (2014). Study of yield, yield components and tolerance to drought stress in safflower genotypes. *Electronic Journal of Crop Production*, 7(3), 33-51. (In Persian).
- Galli, A., Wiedmannb, T., Ertug Erginc, Knoblauchd, D., Ewingb, B., & Giljumf, S. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a “footprint family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, 12, 100-112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017>

- Gomes-Sanchez, D., Vannozzi, G. P., Baldini, M., Tahamasebi Enferadi, S., & Dell Vedove, G. (2000). Effect of soil water availability in sunflower lines derived from interspecific crosses. *Italian Journal of Agronomy, 1*, 371-387.
- Guo, J., Ling, H., Wu, Q., Xu, L., & Que, Y. (2014). The choice of reference genes for assessing gene expression in sugarcane under salinity and drought stresses. *International Journal of Scientific Reports, 4*, doi:10.1038/srep07042.
- Guo, Y.Y., Yu, H.Y., Kong, D.S., Yan, F., & Zhang, Y.J. (2016). Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. Seedlings. *Photosynthetica, 54(4)*, 524-531. DOI: 10.1007/s11099-016-0206-x
- Jahanbani, F. (2017). *Effect of drought stresses and different levels of Potassium fertilizer on qualitative and quantitative characteristics of chamomile*. Ms Thesis in Agroecology University of Zabol, Pp:70. (In Persian)
- Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L.E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., & Hong- Ving, Z. (2010). Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 4*, 42-48.
- Joshan, Y., Sani, B., Jsbbari, H., Mozafari, H., & Moaveni, P. (2020). The effect of late season drought stress on some morphophysiological characteristic of Iranian safflower varieties in Karaj region. *Environmental Stresses in Crop Science, 13(4)*, 1093-1106. (In Persian) doi: 10.22077/ESCS.2020.3193.1815
- Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masomi, A., & Nabati, J. (2009). *Physiology of environmental stresses in plants*. Mashhad University Jihad. 502P. (In Persian)
- Kar, G., Kumar, A., & Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural Water Management, 87*, 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.06.002>
- Kerepesi, I., Toth, M., & Boross, L. (1996). Water-soluble carbohydrates in dried plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 10*, 3235-3239. <https://doi.org/10.1021/jf960242b>
- Khajehpour, M.R. (2006). *Production of industrial plants*. Isfahan University Jihad Publications. Pp: 250. (In Persian)
- Khorasani Nejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, K., & Khalighi, A. (2011). The effect of drought stress on growth parametres, essential oil yield and constituent of peppermint. *Journal of Medicinal Plants Research, 5(22)*, 5360-5365. (In Persian)
- Khoshnam, A., & Mamnoie, E. (2021). Effect of water stress and plant density on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in south Kerman. *Environmental Strsses in Crop Science, 14(1)*, 39-46. (In Persian) doi: 10.22077/ESCS.2020.2526.1665
- Kumar, A. R., & Kumar, M. (2008). Studies on the efficacy of sulphate of potash on physiological, yield and quality parameters of *Banana* cv. Robusta (Cavendish-AAA). *EurAsian Journal of BioSciences, 2*, 102-109
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd Ed Academic Press, London, UK. Pp: 178-189.
- Moghanibashi Najafabadi, M., Khazaie, H.R., Nezami, A., & Eshghizadeh, H.R. (2019). The effect of different irrigation levels on some physiological characteristic and grain yield of sesame genotypes. *Scientific Journal of Crop Physiology, 11(41)*, 81-93. (In Persian)
- Mohammadi, M., Ghassemi-Golezani, K., Zehtab-Salmasi, S., & Nasrollahzade, S. (2016). Assessment of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *International Journal of Life Sciences, 10(1)*, 58-64. DOI:10.3126/ijls.v10i1.14512
- Mothashmiia, F., & Tadayon, M. R. (2020). The response on yield and fatty acids composition in late planting of safflower genotypes ascorbic acid and jasmonic acid application under deficit irrigation regimes. *Environmental stresses in Crop Science, 13(2)*, 455-469. (In Persian) doi: 10.22077/ESCS.2019.2019.1499

- Nabipour, M., Meskarabashee, M., & Yousefpour, H. (2007). The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(3), 421-426. DOI: 10.3923/pjbs.2007.421.426
- Najafi, H., & Safari, M. (2011). Study of drought stress on yield, yield component and oil of sesame cultivars. *11th National Seminar of Irrigation and Evaporation Reduction*, Pp: 35-36. (In Persian)
- Paseban Islam, B. (2001). *Safflower*. East Azarbayegan Jahade Keshavarzi. 694:1-2.
- Pirzad, A., Shakiba, M. R., Zehtab-s., Mohammadi, A., Darvishzadeh, R., & Samadi, S. (2011). Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Marticaria chamomilla*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(12), 2483-2488. (In Persian) <https://doi.org/10.5897/JMPR.9000503>
- Plaue, Z., Grava, A., Yehezekel, Ch., & Matan, E. (2004). How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiologia Plantarum*, 122, 429-442. DOI:10.1111/j.1399-3054.2004.00416.x
- Pouresmaiel, H., Saberi, M.H., & Fanaei, H. (2013). Evaluation of terminal drought stress tolerance of *Sesamum indicum* L. genotypes under the Sistan region conditions. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 2, 58-61. ijsei-21613-11.pdf
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>
- Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., & Mohammad Abadi, A.A. (2005). Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(1), 57-68. (In Persian) 10.22067/gsc.v3i1.1292
- Salamati, N., & Danaie, A. Kh. (2020). Evaluation of drought stress indices in surface deficit irrigation of new sesame cultivars. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(2), 69-87. (In Persian)
- Sharma, K.D., & Kuhad, M.S. (2006). Influence of potassium level and soil moisture regime on biochemical metabolites of brassica species. *Brassica Journal*, 8, 71-74.
- Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K., Begna, S., & Auld, D. (2016). Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. *Agricultural Water Management*, 163, 354-362. DOI:10.1016/j.agwat.2015.10.010
- Vildova, A., Stolcova, M., Kloucek, N., & Orsak, P. M. (2006). Quality characterization of chamomile (*Matricaria recutita* L.) in organic and traditional agricultures. *International Symposium on Chamomile Research, Development Production Presov*, Slovak Republic.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
- Weiss, E.A. (2000). *Oilseed Crops*, 2nd ed. BlackwellScienceLtd.