به زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰
صفحه‌های ۵۴۸-۵۳۵

مقاله پژوهشی:

تأثیر محلول‌پاشی محرک رشد آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گلرنگ در شرایط تنش خشکی

مهدی معتکفی[۱]، علیرضا سیروس‌مهر[۲*]، محسن موسوی‌نیک[۳]
۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳. استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶

چکیده
خشکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد گیاهان می‌باشد و شناخت راه‌های مقابله با تنش خشکی اهمیت زیادی دارد. آزمایش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر محرک رشد آلی و تنش خشکی بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گلرنگ (رقم گلدشت) در سال ۹۶ در پژوهشکده تحقیقاتی چاه نیمه دانشگاه زابل به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل تنش خشکی در سه سطح (آبیاری کامل در تمام فصل رشد، آبیاری تا مرحله تشکیل ساقه اصلی، آبیاری تا مرحله تکمیل گلدهی) و محلول‌پاشی محرک رشد آلی در چهار سطح شاهد (آب خالص)، محلول‌پاشی هامون گرین ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم، هامون گرین ۱ لیتر در ۲۰ لیتر+ کلسیم و هامون گرین ۱ لیتر در ۳۰ لیتر+ کلسیم بود. نتایج نشان داد تنش خشکی به‌ترتیب باعث کاهش ارتفاع، وزن هزاردانه و درصد روغن به‌مقدار ٤٤/٤١، ٣١/٢٤ و ١٧/١٠ درصد شد، از طرفی محلول‌پاشی هامون گرین ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم باعث افزایش ۱۸/۰۳، ۱۳/۹۰ و ۱۳/۷٤ درصدی صفات فوق نسبت به شاهد گردید. بیش‌ترین عملکرد دانه (۱۸۸۲/۵۵ کیلوگرم در هکتار)، کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید (به‌ترتیب ۳/٤۹، ۰/۹٤، ٤/٤٤ و ۷/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، محتوی سلنیوم (۵/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر) و کلسیم دانه (۲/۹۱ درصد) از تیمار محلول‌پاشی هامون گرین ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم و آبیاری کامل حاصل شد، در مجموع به‌نظر می‌رسد که با محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم می‌توان به عملکرد مطلوبی دست یافت.

کلیدواژه‌ها: پرولین، سلنیوم، عملکرد دانه، قطع آبیاری، کلسیم.

Effect of Organic Growth Stimulator on Yield, Yield Components, Oil Percentage, and Some Physiological Indices of Safflower under Drought Stress Condition

Mahdi Motakefi[1], Alireza Sirousmehr[2*], Mohsen Mousavinick[3]
1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
3. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
Received: June 10, 2020 Accepted: September 16, 2020

Abstract
Drought stress is the most important factor in crop yield reduction. It is important to know how to cope with drought. This experiment is carried out to investigate the effect of organic growth stimulator (Hamoon green) on yield and some physiological indices of safflower under drought stress, during 2017-2018 in university of Zabol (Chahnime) as a split plot, based on RCBD with three replications. Experimental treatments include drought factor based on plant growth stages at three levels (complete irrigation throughout the growing season, irrigation up to terminal bud forms, and irrigation up to completed flowering) and spraying factor of organic growth stimulator at 4 levels (pure water), the foliar application has been Hamoon green 1 liter in 10 liters + calcium, Hamoon green 1 liter in 20 liters + calcium and Hamoon green 1 liter in 30 liters+ calcium. Results show that drought has reduced the height, 1000-seed weight, and oil percentage, by 44.41%, 31.24%, and 17.10%, respectively. Spraying hamoon green 1 liter in 10 liters+ calcium leads to an increase of 18.03%, 13.90%, and 13.74% for the above traits, compared to the control. The highest grain yield (1882.55 $kg.ha^{-1}$), chlorophyll a, b, total and carotenoids (3.49, 0.94, 4.44, and 7.37 $mg.gr^{-1}$ fw, respectively), selenium content (5.18 $mg.kg^{-1}$ fw) and seed calcium content (2.91%) are obtained from hamoon green 1 liter in 10 liter + calcium and complete irrigation treatment. In general, it seems that by spraying 1 liter per 10 liters+ calcium, a good performance can be achieved.

Keywords: Calcium, grain yield, irrigation cut off, proline, selenium.

* نویسنده مسئول Email: asirousmehr@uoz.ac.ir

۱. مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که تولید محصولات زراعی به‌ویژه دانه‌های روغنی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک با محدودیت مواجه کرده است (Yonesi *et al*., 2010). مهم‌ترین تأثیر منفی تنش خشکی، کاهش دسترسی و جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه می‌باشد که این کمبود عناصر غذایی باعث ایجاد اختلال در فعالیت‌های فیزیولوژیکی از جمله فتوسنتز، تنفس و سنتز ترکیبات آلی سنگین، تولید و فعالیت آنزیم‌ها و در نهایت اختلال در فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی می‌شود (Misra & Sirvastava, 2000; Pirzad *et al*., 2006).

گلرنگ با نام علمی (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی روغنی، یکساله از تیره کاسنی[1] می‌باشد که به‌عنوان یک گیاه مقاوم به تنش شوری و خشکی (Bassil & Kaffka, 2002)، می‌تواند نقش مهمی در گسترش سطح زیر کشت گیاهان روغنی در کشور داشته باشد، براساس آمارنامه منتشرشده از سوی وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مقدار سطح زیر کشت این گیاه در مجموع کشت آبی و دیم ۱۵/۰۳۸ هکتار و میزان تولید آن در کشور ۱٤/۱۲۷ تن در مجموع کشت آبی و دیم بوده است (Ministry of Agriculture-Jahad). دانه‌های روغنی و حجم بالای واردات روغن در ایران، هم‌چنین محدودیت منابع آبی در سر راه تولید دانه‌های روغنی ضرورت شناسایی گونه‌ها و ارقام مقاوم به شرایط تنش و تعیین حساس‌ترین مراحل نمو گیاه به تنش را آشکار می‌سازد (Mousavifar *et al*., 2010).

یکی از راه‌های تعدیل اثرات منفی تنش خشکی استفاده از کودهای آلی و محرک‌های رشد آلی می‌باشد، سلنیوم با نقش حفاظتی خود می‌تواند وضعیت آب در گیاهان را تنظیم و بهبود بخشد (Kuznetsov *et al*., 2003)، پاسخ تحریک رشد گیاهان نسبت به‌سلنیوم به‌طور عمده با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، افزایش قابل توجه در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش غلظت متابولیت‌های آنتی‌اکسیدانی همراه است (Xue *et al*., 2001). پژوهش‌گران گزارش کردند با محلول‌پاشی برگی سلنیوم به‌دلیل بازده بهتر تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های گیاه، باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف و وزن دانه سویا شده است (Djanaguiraman *et al*., 2004). در آزمایش‌های مختلف نقش مفید این عنصر در شرایط تنش شوری (Sattar *et al*., 2017) و خشکی (Habibi, 2013) نشان داده شده است.

کلسیم نیز یکی از عناصر مهم و ضروری برای گیاهان به‌شمار می‌رود که وظیفه اصلی آن ثبات و پایداری دیواره سلولی می‌باشد (Marschner, 1995). در حین نمو، بافت‌ها به‌تغییرات زیاد نیروهای فشرده‌سازی و تنش واکنش نشان می‌دهند، از این‌رو نقش دیواره سلولی، اسکلت سلولی، فشار آماس و هندسه سلولی در طی این فرایند از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Frachisse *et al*., 2020). هم‌چنین این عنصر به‌عنوان پیغام‌بر ثانویه در گیاه به پیام‌های محیطی و هورمون‌ها واکنش نشان می‌دهد (Antunes *et al*., 2005). نتایج برخی پژوهش‌های مختلف نقش مفید کلسیم را در شرایط تنش خشکی بر آفتابگردان (Ibrahim *et al*., 2016) و تنش شوری بر گلرنگ (Attarzadeh *et al*., 2014) نشان داده شده است. در آزمایشی محلول‌پاشی سلنیوم روی برگ گیاهان زراعی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را افزایش داد و باعث افزایش تحمل به تنش خشکی شد (Van Oosterom *et al*., 2006). آزمایشی به‌منظور تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر گلرنگ در شرایط تنش خشکی

1. Asteraceae

انجام شد و نتایج نشان داد محلول‌پاشی سلنیوم باعث افزایش ارتفاع بوته، ارتفاع محل اولین انشعاب از خاک، قطر طبق، تعداد طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد (Khademi *et al*., 2016). در آزمایشی که Mohtashami *et al*. (2020) روی دو واریته کلزا (هایولا ٤٠١ و دلگان) تحت ٤ رژیم مختلف آبیاری انجام دادند، گزارش کردند محلول‌پاشی سلنیوم باعث افزایش وزن هزاردانه، عملکرد دانه و محتوی روغن دانه در شرایط تنش خشکی شد. در آزمایش دیگری، پژوهش‌گران بیان کردند با محلول‌پاشی محرک رشد آلی و کلسیم ارتفاع بوته، قطر ساقه، عملکرد و اجزای عملکرد، هم‌چنین محتوی سلنیوم و کلسیم دانه کلزا تحت تأثیر محلول‌پاشی افزایش یافت و در نهایت محلول‌پاشی این عناصر باعث تعدیل شرایط تنش خشکی در این گیاه شد (Motakefi *et al*., 2019).

این آزمایش با هدف تأثیر محرک رشد آلی از جمله کلسیم بر عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گلرنگ طی تنش خشکی انجام شده است.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی چاه نیمه واقع در شهرستان زهک در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦، به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شهر زهک در موقعیت جغرافیایی ٦١ درجه و ۷۰ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۸۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ٤٨٣ متر از سطح دریا و براساس طبقه‌بندی کوپن در اقلیم خشک بسیار گرم، با تابستان‌های گرم و خشک و براساس طبقه‌بندی آمبرژه نیز جزو مناطق گرم و خشک قرار می‌گیرد. میانگین درازمدت (۳۰ ساله) بارندگی در منطقه ٦٣ میلی‌متر، میزان تبخیر سالیانه به‌طور متوسط ٥٠٠٠-٤٥٠٠ میلی‌متر، میانگین درازمدت درجه حرارت منطقه ۲۳ درجه سانتی‌گراد و حداقل حرارت مطلق ۷- درجه می‌باشد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح قطع آبیاری براساس مراحل فنولوژیک گیاه (Tanaka *et al*., 2002) در سه سطح شاهد (آبیاری کامل تا پایان فصل رشد)، R1= آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ و R2= آبیاری تا مرحله تکمیل گلدهی و عامل فرعی شامل چهار سطح تیمار کود: F1= شاهد (محلول‌پاشی آب خالص)، F2= هامون گرین ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم، F3= هامون گرین ۱ لیتر در ۲۰ لیتر+ کلسیم و F4= هامون گرین ۱ لیتر در ۳۰ لیتر+ کلسیم بود. بذر مورداستفاده رقم گلدشت که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان تهیه شد. محرک رشد آلی (هامون گرین®) شامل ترکیبات نانوسلنیوم، آنتوسیانین، الکل استیک و کلسیم آلی می‌باشد. کلسیم استفاده شده در این آزمایش از کلسیم موجود در پودر پوسته تخم‌مرغ که در اسید سولفوریک ۹٦ درصد هضم شده و سپس به‌وسیله آب مقطر به pH خنثی رسانیده شد، به‌دست آمده است. قبل از محلول‌پاشی ابتدا محلول به‌دست‌آمده از پودر پوسته تخم‌مرغ به‌نسبت برابر با هر سه سطح محلول هامون گرین مخلوط و سپس محلول‌پاشی انجام شد. به‌منظور جلوگیری از هدررفت و پاشش محلول موردنظر به کرت‌های مجاور، محلول‌پاشی در غروب و در هوای کاملاً صاف و بدون وزش باد انجام گرفت. مویان استفاده‌شده برای محلول‌پاشی با نام تجاری Hydrosil بوده که ترکیبات آن شامل Trisiloxan-85%, solvent-15%، مقدار مصرف آن ml/liter ۰/۵-۰/۳ می‌باشد. محلول‌پاشی محرک رشد آلی براساس مراحل فنولوژیک رشد (Tanaka *et al*., 2002) در سه مرحله ۱- تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ (R1)، ۲- تکمیل شاخه‌دهی (R2)، ۳- تکمیل گلدهی (R3) اعمال شدند. آماده‌سازی

زمین شامل شخم و دیسک و تسطیح بود. با توجه به نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و توصیه کودی، کودهای شیمیایی موردنیاز به خاک اضافه شد. کاشت در آبان‌ماه ۱۳۹۶ به‌صورت دستی انجام شد و اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت صورت پذیرفت. وجین علف‌های هرز به‌روش دستی انجام شد و آفت مهمی در طول دوره آزمایش مشاهده نشد. تعداد ۳۶ کرت به طول و عرض دو متر فواصل بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد شش بوته از هرکرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در مساحت دو مترمربع از هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه کف‌بر شدند و جهت خشک‌شدن نهایی، به‌مدت پنج روز در هوای آزاد قرار داده شدند، اندازه‌گیری میزان کلروفیل به‌روش آرنون (Arnon, 1949)، اندازه‌گیری درصد روغن به‌روش سوکسله (Soxhlet, 1879)، اندازه‌گیری میزان پرولین به‌روش بیتز (Bates *et al.*, 1973)، اندازه‌گیری مقدار سلنیوم دانه به‌روش (Mahaveer & Jaldappa, 2000)، اندازه‌گیری مقدار کلسیم به‌روش (Prokopov, 1973) انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه (۹/۱) و برای انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. ارتفاع بوته

ارتفاع بوته تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته از تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین آن از تیمار آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ مشاهده شد که به میزان ٤٤/٤١ درصد در طی تنش کاهش داشته است (جدول ۳).

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

بافت خاک	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته (pH)	سلنیوم (ppm)	سدیم (ppm)	پتاسیم (ppm)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)	نیتروژن (%)
لوم-رسی	۳/۳٦	۸/٤۳	<۰/۰۱۸	٦۸/۱	۲۲/۸	۱۰۲/۷۲	۵۱/۵۱	۰/۰۵۷

جدول ۲. تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۲۰۷/۰۳*	۳/٦۱ns	۹۷۰۸/۵۲ns
آبیاری	۲	۷۳٦۰/۸۲**	۷۷۸/۹۹**	۲۲۳۷۳۲۸/۲۵**
خطای الف	٤	۷٦/۱۱	۹/۲۸	۱۲۰۷۰/۲۹
محلول‌پاشی	۳	۳۷۲/۸۱**	٦۷/٦۲**	۱٤۹۳٦۹/۱۷**
اثرات متقابل	٦	۱۱/۷٦ns	۲/۹۳ns	۲۰۸۵۳/۸٤*
خطای ب	۱۸	۵۷/۰٤	۵/۳۲	۷۷۸۷/۵۹
ضریب تغییرات (٪)	–	۹/۵۳	۵/۲۸	۷/۳٦

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

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات ساده تنش خشکی و محلول پاشی بر میانگین صفات ارتفاع بوته، وزن هزاردانه و درصد روغن گلرنگ

تیمارهای آزمایشی	ارتفاع گیاه (cm)	وزن هزاردانه (gr)	روغن (%)
آبیاری			
آبیاری کامل	۱۰۷/۰۱a	۵۱/۵۳a	۳۰/۸۱a
آبیاری تا مرحله تکمیل گل‌دهی	۷۱/۱۵b	٤٤/۰٦b	۲۹/۳۹a
آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ	۵۹/٤۸c	۳۵/٤۳c	۲۵/۵٤b
محلول‌پاشی محرک رشد آلی (هامون گرین)			
۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم	۸۷/۲۰a	٤٦/۸۸a	۳۰/۳۳a
۱ لیتر در ۲۰ لیتر+ کلسیم	۷۹/۵۷b	٤٤/۵۲b	۲۹/۰۰ab
۱ لیتر در ۳۰ لیتر+ کلسیم	۷۸/٦۱bc	٤۲/۹۳b	۲۸/۸۲ab
آب خالص	۷۱/٤۷c	٤۰/۳٦c	۲٦/۱٦b

در هر ستون و اثر تیماری میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

افزایش سطح برگ و تولید ماده خشک توسط فتوسنتز از نقش‌های اصلی سلول در رشد رویشی گیاه به‌شمار می‌رود، تنش خشکی تقسیم سلولی را کاهش می‌دهد و مانع انبساط سلول‌ها به‌وسیله فتوسنتز، تنفس، جذب و انتقال مواد و هم‌چنین کاهش فشار تورژسانس سلول می‌شود (Jaleel *et al*., 2009). در آزمایشی که با تیمارهای مختلف تنش خشکی (آبیاری پس از ۵۰، ۸۰، ۱۳۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A) صورت گرفت، افزایش سطح تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گلرنگ گردید که دلیل آن‌را کاهش میزان فتوسنتز و کمبود مواد غذایی دانسته‌اند که در نهایت کاهش ارتفاع و عملکرد دانه را در پی داشته است (Karimi & Tadayon, 2018). براساس جدول (۳) بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار محلول‌پاشی هامون گرین ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم بود که به‌میزان ۱۸/۰۳ درصد نسبت به‌تیمار محلول‌پاشی آب خالص افزایش داشته است. Seppänen *et al*. (2003) ، بیان کردند افزایش ارتفاع و رشد گیاه در حضور سلنیوم به افزایش محتوی نشاسته در کلروپلاست مرتبط می‌باشد، هم‌چنین پژوهش‌گران دیگر بیان کردند غلظت‌های مناسب سلنیوم با افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، تثبیت کربن و هم‌چنین سنتز و هیدرولیز نشاسته و ساکارز موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Han-wens *et al*., 2010; Tailin *et al*., 2001). در همین راستا، Yusefvand *et al*. (2011)، در آزمایشی گزارش کردند مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم موجب افزایش ۳/۹۷ درصد ارتفاع بوته آفتابگردان شد.

۳. ۲. وزن هزاردانه

وزن هزاردانه تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). بیش‌ترین وزن هزاردانه از تیمار آبیاری کامل ۵۱/۵۳ گرم به‌دست آمد و مقدار آن ۳۱/۲٤ درصد در تیمار آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ کاهش یافت (جدول ۳). کاهش وزن هزاردانه در نتیجه تنش خشکی احتمالاً به‌دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به‌دنبال آن کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و

آسیمیلات‌ها به دانه‌ها بوده است که در این شرایط گیاه حتی با انتقال مجدد ذخایر اندوخته‌شده خود نتوانسته کاهش آسیمیلات ناشی از تنش را جبران نماید و این وضعیت منجر به کاهش وزن دانه‌ها شده است. Soheili-Movahhed *et al.* (2019) درآزمایشی بر گلرنگ بهاره طی تنش خشکی آخر فصل گزارش کردند تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی باعث کاهش وزن دانه‌ها شد. محلول‌پاشی محرک رشد آلی باعث افزایش وزن هزاردانه شد. تیمار محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم به‌میزان ۱۳/۹۰ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی آب خالص افزایش یافت (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی بهبود وزن دانه می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد دانه داشته باشد. لذا کاربرد تیمارهایی در طول دوره رشد گیاه که بتواند وضعیت آب گیاه را حفظ نماید، می‌تواند اثرات تنش خشکی را تا حدودی تعدیل نماید و از کاهش اجزای عملکرد به‌ویژه کاهش وزن دانه جلوگیری نماید، در آزمایش Yusefvand *et al.* (2011) گزارش کردند محلول‌پاشی سلنیوم (۱۸ گرم در هکتار) باعث افزایش ٤/٤٥ درصد وزن صد دانه آفتابگردان شد که تأییدکننده نتایج این آزمایش است.

۳. ۳. عملکرد دانه

براساس تجزیه واریانس داده‌ها عملکرد دانه تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). بالاترین میزان عملکرد دانه از تیمار آبیاری کامل هم‌زمان با محلول پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم با میانگین ۱۸۸۲/۵۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مقدار آن از تیمار آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ هم‌زمان با محلول‌پاشی آب خاص با میانگین ۷۲٤/۲٤ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که به میزان ٦۰/۳٦ درصد طی تنش خشکی کاهش یافته است (جدول ۵). تنش خشکی سبب تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی که باعث تأثیر منفی در رشد و عملکرد گیاهان می‌شود، هم‌چنین باعث بروز تنش اسمزی و اختلال در تخصیص یون‌ها به سلول‌ها و اختلال در غشای سلول‌ها می‌شود (Wang, 2003)، القای تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی گلرنگ در این آزمایش باعث کاهش اجزای عملکرد (تعداد طبق، تعداد دانه در طبق، وزن دانه‌ها) و در نهایت باعث کاهش عملکرد گردید و ازآنجایی‌که می‌توان بیان داشت لازمه تولید عملکرد روغن مطلوب، عملکرد دانه مطلوب است، لذا کاربرد سلنیوم در سطوح تنش به‌همراه کلسیم، با اثرات مثبت خود موجب افزایش عملکرد دانه و روغن در گلرنگ می‌شود. Rahmani *et al.* (2019) درآزمایش خود روی پنج واریته گلرنگ در شرایط تنش خشکی گزارش کردند، تنش خشکی باعث کاهش اجزای عملکرد (تعداد طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه) و در نهایت عملکرد دانه شد که تأییدکننده نتایج حاصل از این آزمایش می‌باشد. در آزمایش‌های متعددی تأثیر مثبت محلول‌پاشی سلنیوم بر عملکرد گیاهان مختلف از جمله کلزا (Hajiboland *et al.*, 2014)، آفتابگردان (Yusefvand *et al.*, 2011)، گندم و جو (Sajedi & Madani, 2017)، نخود (Sajedi *et al.*, 2014) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است، که هم‌راستا با نتایج حاصل از این آزمایش می‌باشد. پژوهش‌گران در آزمایش محلول‌پاشی کلسیم بر گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی گزارش کردند تیمار محلول‌پاشی کلسیم باعث بهبود تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه شده است (Naeem *et al.*, 2018).

۳. ٤. درصد روغن

درصد روغن گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی معنی‌دار می‌باشد (جدول ٤). بیش‌ترین درصد روغن از تیمار آبیاری کامل ۳۰/۸۱ درصد و کم‌ترین درصد روغن از تیمار

آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ به‌دست آمد که به‌میزان ۱۷/۱۰ درصد طی تنش خشکی کاهش یافت (جدول ۳). پژوهش‌گران بیان داشتند با افزایش تنش خشکی محتوی روغن دانه در گلرنگ کاهش یافت و باعث تغییر درصد ترکیب اسیدهای چرب شد (Zafari *et al*., 2020). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی، به‌علت اثر سوء آن بر تخریب فرایندهای متابولیک دانه، اختلال در انتقال مواد پرورده به‌دانه‌ها و احتمالاً تولید ترکیبات ثانویه مطلوب در تولید روغن می‌باشد (Bouchereau *et al*., 1996). Khalili *et al*. (2016) کاهش درصد روغن گلرنگ را طی تنش خشکی گزارش کردند که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد. محلول‌پاشی محرک رشد آلی سبب افزایش درصد روغن گردید، بیش‌ترین میزان درصد روغن از تیمار محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم و کم‌ترین مقدار آن از تیمار آبیاری کامل حاصل شد این نتایج نشان‌دهنده افزایش ۱۳/۷٤ درصدی روغن طی محلول‌پاشی نسبت به تیمار محلول‌پاشی آب خالص بود (جدول ۳). Dadnia (2013) بیان داشت عنصر سلنیوم به‌دلیل داشتن ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی موجب افزایش روغن گلرنگ و افزایش ارزش غذایی آن شد که با نتایج حاصل از این آزمایش هم‌خوانی دارد. Ahmadi *et al*. (2013) گزارش کردند محلول‌پاشی کلسیم تأثیر قابل‌توجهی در افزایش درصد روغن و هم‌چنین عملکرد روغن کنجد در مقایسه با تیمار شاهد داشته است.

۳. ۵. رنگدانه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد محتوی کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید تحت تأثیر تنش خشکی، محلول‌پاشی و اثرمتقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ٤). بیش‌ترین مقدار کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید از تیمار آبیاری کامل هم‌زمان با محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم و کم‌ترین مقدار آن‌ها در تیمار آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ هم‌زمان با محلول‌پاشی آب خالص به‌دست آمد که به‌ترتیب به‌میزان ۹٤/۵۵، ۸۳/۵٤، ۹۲/۳٤ و ۸۷/۷۸ درصد کاهش یافتند (جدول ۵). رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش مهمی را از نظر جذب نور و تولید توان احیایی (انرژی) در گیاهان ایفا می‌کنند و شامل طیف وسیعی از رنگدانه‌های مختلف هستند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در فتوسنتز نقش داشته و از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها اشاره کرد (Jaleel *et al*., 2009).

پژوهش‌گران دلیل‌های مختلفی را برای کاهش کلروفیل طی تنش خشکی ارائه کرده‌اند که از آن‌جمله می‌توان به‌افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز طی تنش خشکی (Ahmadi & Seo-se Mardeh, 2005)، تخریب غشاهای سلولی و محتوای کلروفیل برگ طی تنش خشکی (Niakan & Ghorbanli, 2007)، کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات طی تنش خشکی (Piekielek & Fox, 1992) و تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل طی تنش خشکی (Xiao *et al*., 2008) اشاره کرد.

Chavoushi *et al*. (2020) در آزمایشی بر روی گلرنگ کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید را طی تنش خشکی گزارش کردند، آنها دلیل کاهش کلروفیل را این‌گونه بیان کردند که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، تغییر ساختار کلروفیل و کمپلکس لیپید–پروتئین در غشا، کاهش پروتئین رنگدانه برداشت نور در ارتباط با فتوسیستمΠ و در نهایت غیرفعال‌شدن آنزیم چرخه کالوین شد، که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد.

جدول ٤. تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی بر درصد روغن، کلروفیل a،b، کل، کاروتنوئید، پرولین و محتوی سلنیوم دانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد روغن	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل	پرولین	محتوی سلنیوم دانه	محتوی کلسیم دانه
تکرار	٢	١٣/٥٤ns	٠/٠٠٩٢ns	٠/٠٠٣٥ns	٠/٠٧ns	٠/٠٠٢ns	٠/٠٦٧ns	٠/٠٦٢ns	٠/١٥٢*
آبیاری	٢	٨٩/٢٥*	١٧/٩٣**	٠/٧٢**	٨٣/٨٩**	٢٥/٨٤**	٤٢٦/٤٣**	٢٠/٦٠**	٨/٤٤**
خطای الف	٤	٩/٧٦	٠/٠٠٦	٠/٠٠٣	٠/١	٠/٠٠٢	٠/٣٢٩	٠/٠٣٦	٠/٠٢
محلول‌پاشی	٣	٢٧/٤٣*	١/١٣**	٠/١٢**	٤/٠٠٦**	٢/٠٢**	٤٢/٨٦**	٤/٨٦**	٠/٨٤**
اثر متقابل	٦	١/٨٨ns	٠/٠٩**	٠/٠١**	٠/٣٤**	٠/١٣**	٤/١٢**	٠/١٥٧**	٠/٠٥*
خطای ب	١٨	٧/٨٩	٠/٠٠٤١	٠/٠٠١	٠/٠٥١	٠/٠٠٤	٠/٢٢٩	٠/٠٣٣	٠/٠١٧
ضریب تغییرات (٪)	–	٩/٨٢	٤/١٢	٦/٥٠	٥/٨٦	٣/٢٨	٤/٥٥	٦/٤٤	٩/٠١

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

جدول ٥. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر صفات وزن هزاردانه، کلروفیل a ،b، کل، کاروتنوئید، پرولین و محتوی سلنیوم دانه

تیمارهای آزمایشی		عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	کلروفیل a ($mg.g^{-1}$ fw)	کلروفیل b ($mg.g^{-1}$ fw)	کلروفیل کل ($mg.g^{-1}$ fw)	کاروتنوئید ($mg.g^{-1}$ fw)	پرولین ($\mu g.g^{-1}$ fw)	محتوی سلنیوم دانه ($mg.kg^{-1}$ fw)	محتوی کلسیم دانه(%)
آبیاری	محلول‌پاشی								
آبیاری کامل	آب خالص	١٣٧٢/٨٨c	٢/٢١d	٠/٥٢٩e	٢/٧٤d	٥/٣٤c	٣/٨١h	٣/٠٠e	١/٨٧c
	١ لیتر در ١٠ لیتر+ کلسیم	١٨٨٢/٥٥a	٣/٤٩a	٠/٩٤٢a	٤/٤٤a	٧/٣٧a	٦/٨٦f	٥/١٨a	٢/٩١a
	١ لیتر در ٢٠ لیتر+ کلسیم	١٧٨٠/٢٨ab	٢/٩٥b	٠/٨٦٧b	٣/٨٢b	٦/٩٠b	٥/٨٠g	٤/٥٥b	٢/٣٧b
	١ لیتر در ٣٠ لیتر+ کلسیم	١٧٠٤/٨٨b	٢/٧٦c	٠/٧٢٩c	٣/٤٩c	٦/٧٧b	٥/٢٤g	٤c	٢/١٦b
آبیاری تا مرحله تکمیل گلدهی	آب خالص	٩٢٢/١٩ef	٠/٩٨h	٠/٤٠٤f	١/٣٨h	٢/٨٦e	٧/٢١f	٢/٠٧g	١/١٢e
	١ لیتر در ١٠ لیتر+ کلسیم	١١٥١/٠١d	١/٧٥e	٠/٥٩٥d	٢/٣٤e	٤/١٥d	١١/٦٢d	٣/٤٤d	١/٧٥c
	١ لیتر در ٢٠ لیتر+ کلسیم	١٠٩٧/٢٣d	١/٥٩f	٠/٤٩٧e	٢/٠٩f	٣/٨٥d	٨/٩٩e	٢/٩٦e	١/٥d
	١ لیتر در ٣٠ لیتر+ کلسیم	١٠٠٤/٦١de	١/٢٩g	٠/٤٣٧f	١/٧٣g	٣/٠٧e	٨/٤٦e	٢/٨٥ef	١/٤١d
آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ٠/٢٥ اینچ	آب خالص	٧٦٤/٢٤f	٠/١٩l	٠/١٥٥h	٠/٣٤l	٠/٩h	١٣/٨٨c	٠/٧٧٧i	٠/٣٣h
	١ لیتر در ١٠ لیتر+ کلسیم	٩٢٦/٠٥ef	٠/٦٦i	٠/٣٩٠f	١/٠٥i	١/٧٩f	٢١/٧٢a	٢/٥٥f	٠/٨٧f
	١ لیتر در ٢٠ لیتر+ کلسیم	٨٨٥/٣٥ef	٠/٥١j	٠/٣٠٣g	٠/٨١j	١/٥٥g	١٦/٩٩b	١/٥٥h	٠ /٧٩fg
	١ لیتر در ٣٠ لیتر+ کلسیم	٨٧٨/٩٧ef	٠/٣٤k	٠/٢٦٧g	٠/٦١k	١/٣٨g	١٦/٢٣b	١/٣٧h	٠/٦٢g

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Habibi *et al.* (2016) در آزمایشی روی گیاه دارویی بادرنجبویه گزارش کردند با افزایش غلظت سلنیوم به‌کاررفته، غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل افزایش معنی‌دار نشان داد. Yao *et al.* (2011)، گزارش نمودند که در گیاهچه‌های گندم تیمارشده با سلنیوم محتوی کلروفیل a و مجموع کلروفیل a و b به‌ترتیب ۱۳ و ۱۲ درصد افزایش یافتند.

۳. ٦. پرولین برگ

پرولین برگ تحت تأثیر تنش خشکی، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). در آزمایش حاضر سطوح تنش مقادیر مختلفی از پرولین در برگ گیاه تجمع یافت که نشان می‌دهد افزایش پرولین طی تنش به‌میزان شدت تنش خشکی در مراحل مختلف بستگی دارد، هم‌چنین تیمار محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم در هر سطح تنش باعث افزایش میزان پرولین شد و بالاترین میزان آن در تیمار آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ هم‌زمان با محلول‌پاشی یک لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم حاصل شد (جدول ٥). یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان در شرایط تنش خشکی تجمع پرولین و سایر اسمولیت‌ها برای حفظ تورژسانس سلول‌ها می‌باشد (Hayat *et al.*, 2012). پژوهش‌گران افزایش پرولین گیاه را در شرایط کم‌آبی و تنش خشکی به‌تنظیم اسمزی گیاه مربوط دانسته‌اند و بیان کردند تجمع پرولین در شرایط تنش‌زای محیطی در افزایش توانایی بقای گیاه نقش مهمی دارد (Sankar *et al.*, 2007). در شرایط کمبود آب اغلب بیوسنتز پرولین از گلوتامیک اسید در سیتوزول و کلروپلاست سلول‌های گیاهی اتفاق می‌افتد، بنابراین پرولین در سیتوزول تجمع یافته تا توزیع آب به‌درون سلول انجام شود. در شرایط نرمال پرولین به‌اندامک‌ها به‌ویژه واکوئل و پلاسمید انتقال می‌یابد و درصورتی‌که گیاه تحت شرایط تنش خشکی قرار گیرد پرولین از واکوئل به‌سیتوزول انتقال می‌یابد (Lehmann *et al.*, 2010). تجمع پرولین طی تنش خشکی در آزمایش‌های متعددی بر روی گلرنگ (Taheri *et al.*, 2018)، کلزا (Jabbari *et al.*, 2014) و آفتابگردان (Ünyayar *et al.*, 2004) گزارش شده است. در آزمایشی که Amini *et al.* (2014) بر روی ٦٤ واریته گلرنگ طی تنش خشکی انجام دادند، گزارش کردند تنش خشکی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش محتوای پرولین برگ ٦٤ واریته گلرنگ شد که با نتایج آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد. هم‌چنین Yao *et al.* (2009) گزارش کردند سلنیوم موجب افزایش تجمع پرولین گندم در شرایط تنش خشکی شد، که نتایج این پژوهش‌ها تأییدکننده نتایج آزمایش حاضر می‌باشد.

۳. ۷. محتوای سلنیوم دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد محتوای سلنیوم دانه تحت تأثیر تنش خشکی، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ٤). بالاترین میزان سلنیوم دانه از تیمار آبیاری کامل هم‌زمان با محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم حاصل شد هم‌چنین در هر سطح تنش در تیمار محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰+ کلسیم بیش‌ترین میزان سلنیوم دانه حاصل شد (جدول ٥). پژوهش‌گران بیان داشتند توانایی گیاهان برای جذب آب از اعماق زمین و بی‌نیازبودن از آب باران در نواحی خشک یک مزیت به‌شمار می‌رود و عنصر سلنیوم می‌تواند این مزیت را به‌حداکثر برساند (Pezzarossa *et al.*, 2014). غنی‌سازی زراعی محصولات با استفاده از کودهای حاوی سلنیوم یک تکنیک مناسب برای افزایش تحمل به‌خشکی در گیاهان است، سلنیوم با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه موجب افزایش تحمل تنش

می‌شود (Broadley *et al*., 2015). آثار مفید محلول‌پاشی سلنیوم بر رشد و تحمل به خشکی برنج (Boldrin *et al*., 2013)، کلزا (Hasanuzzaman *et al*., 2017; Seppänen *et al*., 2018; Ulhassan *et al*., 2019) و سویا (Djanaguiraman *et al*., 2005) گزارش شده است. Habibi *et al*. (2016) گزارش کردند کاربرد برگی سلنیوم در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث انباشت معنی‌دار عنصر سلنیوم در ساقه گیاه بادرنجبویه شد، برداشت‌هایی که ۱۰ و ۲۰ روز پس از محلول‌پاشی انجام شد نشان داد که سلنیوم به‌سرعت توسط برگ‌ها جذب و در آن‌ها انباشته شده است. هم‌چنین این پژوهش‌گران بیان کردند، سنجش مقدار سلنیوم دانه نشان داد که سلنیوم توسط دانه‌ها جذب و در آن‌ها انباشته شده است، به‌طوری‌که افزایش مقدار انباشت عنصر در تیمار سلنیوم بیش از سه برابر شاهد بود. در بررسی محلول‌پاشی سلنیوم بر روی ذرت تحت تنش خشکی پژوهش‌گران گزارش کردند کاربرد سلنیوم باعث افزایش ۳۶ درصدی محتوای سلنیوم اندام هوایی شد (Nawaz *et al*., 2016)، که نتایج این پژوهش‌گران با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت دارد.

۳. ۸. محتوای کلسیم دانه

محتوای کلسیم دانه تحت تأثیر تیمار تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد، هم‌چنین در نتیجه برهم‌کنش تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیش‌ترین مقدار کلسیم دانه از تیمار آبیاری کامل هم‌زمان با محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم حاصل شد و کم‌ترین میزان آن از تیمار آبیاری تا مرحله تشکیل طبق ساقه اصلی به قطر ۰/۲۵ اینچ با محلول‌پاشی آب خالص حاصل شد که به‌میزان ۸۸/٦۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). محلول‌پاشی برگی کلسیم یکی از روش‌های مؤثر برای برطرف کردن کمبود و اصلاح عوارض ناشی از آن است (Roger, 2006). کلسیم برای تقسیم سلولی، تشکیل و استحکام دیواره‌های جدید سلولی، ایفای نقش غشا و جلوگیری از آسیب آن و عدم تراوش مواد به بیرون از سلول و به‌تأخیر انداختن پیری ضروری است (MoezArdalan & SavaghebiFiroozabadi, 2014). در زمان تقسیم سلولی کلسیم در دوک تقسیم حضور داشته و نیز در مسیر انتقال سیگنال توسط باندشدن با کالمودولین که یک پروتئین سیتولوزیک است، نقش مهمی دارد (Paliyath & Thompson, 1987). Gaonkar & Chakraborty (2016) در آزمایشی که به‌منظور استفاده از پودر پوست تخم‌مرغ به‌عنوان کود و قرص‌های مکمل کلسیم انجام دادند، بیان کردند با کاربرد ۱۰ درصد و ۱۵ درصد پودر پوسته تخم‌مرغ در خاک میزان کلسیم خاک به‌ترتیب ۲۷/۱۳ و ۱۹/۱۵ درصد نسبت به خاک بدون کاربرد افزایش یافته است. در آزمایشی به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی کلسیم و منیزیم بر شاخص‌های رشدی گیاه (*Origanum vulgare* ssp. Hirtum)، پژوهش‌گران گزارش کردند، با محلول‌پاشی کلسیم (Ca^{2+}) به‌میزان (۰/۵ و ۱ درصد) محتوای کلسیم برگ به‌میزان دو برابر افزایش پیدا کرد. به‌طوری‌که از تیمار شاهد به‌میزان ۱۵/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به‌میزان ۳۲/٦ در تیمار ۵ درصد و ۳۸/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در تیمار ۱ درصد رسید (Dordas, 2009).

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به‌نتایج به‌دست‌آمده محلول‌پاشی سلنیوم و نقش حفاظتی این عنصر در شرایط بروز تنش خشکی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد تا حدودی اثرات منفی تنش خشکی را تعدیل کرد. تیمار محلول‌پاشی هامون گرین ۱ لیتر در ۱۰

لیتر+ کلسیم باعث بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه شد. در مجموع بین تیمارهای استفاده شده در این آزمایش محلول‌پاشی محرک رشد آلی هامون گرین به‌میزان ۱ لیتر در ۱۰ لیتر+ کلسیم نسبت به سایر سطوح مناسب به نظر می‌رسد.

۵. تشکر و قدردانی

بخشی از هزینه اجرای این آزمایش از محل اعتبار پژوهانه UOZ-GR-9618-25 دانشگاه زابل تأمین شده است.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Ahmadi, A., & Siosemardeh, A. (2005). Effect of Drought Stress on Soluble Carbohydrates, Chlorophyll and Proline in four Wheat Cultivars Adapted to Different Climatic Condition of Iran. *Iranian Journal of Agriculture Sciences*, *35*(3), 753-763. (In Persian).

Ahmadi, J., Seyfi, M.M., & Aminidehghi, M. (2013). Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. *Journal of Crop Production*, *5*(3), 115-130.

Amini, H., Arzani, A., & Karami, M. (2014). Effect of water deficiency on seed quality and physiological traits of different safflower genotypes. *Turkish Journal of Biology*, *38*(2), 271-282.

Antunes, M. D., Panagopoulos, C., Rodrigues, T. S., Neves, N., & Curado, F. (2005) The effect of pre and postharvest calcium applications on Hayward kiwifruit storage ability. *Acta Horticulturae, 682*, 909-916.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology*, *24*(1), 1.

Attarzadeh, M., Rahimi, A., Torabi, B., & Dashti, H. (2014). Effect of Ca, K, and Mn Foliar Spray on Vegetative Traits of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Salt Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(3), 445-453.

Bassil, B.S., & Kaffka, S.R. (2002). Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation. II Crop response to salinity. *Agricultural Water Management*, *54*(1), 81-92.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I., D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207.

Boldrin, P.F., Faquin, V., Ramos, S.J., Boldrin, K.V.F., Ávila, F.W., & Guilherme, L.R.G. (2013). Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*, *31*(2), 238-244.

Bouchereau, A., Clossais-Besnard, N., Bensaoud, A., Leport, L., & Renard, M. (1996). Water stress effects on rapeseed quality. *European Journal of Agronomy*, *5*, 19-30.

Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J.F., Rengel, Z., & Zhao, F. (2015). Beneficial elements. In: P. Marschner (Ed.) *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, (5th Edition). Academic Press Inc. pp, 488-504.

Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2020). Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *259*, 108823.

Dadnia, M.R. (2013). The effect of water deficiency and selenium foliar application on the activity of some antioxidant enzymes in oilseed sunflower cultivars. *Journal of Crop Physiology*. Islamic Azad University of Ahvaz Branch, *14*(14), 71-81. (In Persian).

Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A., & Bangarusamy, U. (2004). Impact of selenium spray on monocarpic senescence of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Food Agriculture and Environment*, *2*, 44-47.

Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A., & Bangarusamy, U. (2005). Selenium–an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, *272*(1), 77-86.

Dordas, C. (2009). Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare* ssp. hirtum). *Industrial Crops and Products*. *29*, 599-608.

Frachisse, J.M., Thomine, S., & Allain, J.M. (2020). Calcium and plasma membrane force-gated ion channels behind development. *Current Opinion in Plant Biology*, *53*, 57-64.

Gaonkar, M., & Chakraborty, A.P. (2016). Application of Eggshell as Fertilizer and Calcium Supplement Tablet. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, *5*(3), 3520-3525.

Habibi, G. (2013). Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley/Ucinek susnega stresa in skropljenja s selenom na fotosintezo in antioksidativno aktivnost jarega jecmena. *Acta Agriculturae Slovenica*, *101*(1), 31-39.

Habibi, GH., Ghorbanzadeh, P., & Abedini, M. (2016). Effect of Selenium on some physiological properties of medicinal plant (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research*, *32*(4), 698-715. (In Persian).

Hajiboland, R., Keyvanfar, N., Joudmand, A., Rezaee, H., & Yusefnezhad, M. (2014). The effect of Selenium treatment on drought tolerance in Canola. *Iranian Journal of Biology*, *27*(4), 557-568. (In Persian).

Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L., & Wei-Jun. K. (2010). Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *41*, 1195-1204.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Gill, S.S., Alharby, H.F., Razafindrabe, B.H., & Fujita, M. (2017). Hydrogen peroxide pretreatment mitigates cadmium-induced oxidative stress in *Brassica napus* L.: an intrinsic study on antioxidant defense and glyoxalase systems. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1-19.

Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signaling & Behavior*, *7*(11), 1456-1466.

Ibrahim, M. F. M., Faisal, A., & Shehata, S. A. (2016). Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, *16*, 677-693.

Jabbari, H., Akbari, A., Khosh Kholgh Sima, N.A., & Alahdadi, I. (2014). Comparison of the Role of Antioxidant and Proline Enzymes in Drought tolerance in (*Brassica napus* L.). *Journal of Oil Plant Production*, *1*(1), 15-31. (In Persian).

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, *11*, 100-105.

Karimi, A., & Tadayon, A. (2018). The effect of humic acid foliar application on yield and some morphological properties of safflower under drought stress conditions. *Applied Research in Field Crops*, *31*(1), 19-38. (In Persian).

Khademi, B., Sheybani, H., & Borzu, A. (2016). Effect of selenium foliar application on quality traits and enzymatic activity of safflower under different soil moisture regimes in Varamin region. *Agronomic Research in semi Desert Regions*, *12*(3), 183-196. (In Persian).

Khalili, M., Naghavi, M.R., & Pour Aboughadareh, A.R. (2016). Evaluation of seed Yield and some Agronomic and morphological traits in spring safflower genotypes under irrigation and dryland condition. *Journal of Crop Breeding*, *7*(16), 139-148. (In Persian).

Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P., Kuznetsov, V.V., & Yagodin, B.A. (2003). Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. *Doklady Biological Sciences*, *390*, 266-268.

Lehmann, S., Funck, D., Szabados, L., & Rentsch, D. (2010). Proline metabolism and transport in plant development. *Amino Acids*, *39*, 949-962.

Mahaveer, B.M., & Jaldappa, S. (2000). Spectrophotometric Determination of Selenium (IV) Using Methdilazine Hydrochloride. *Turkish Journal of Chemistry*, *24*, 287-290.

Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plant*. Academic Press, London.

Ministry of Agriculture-jahad. https://zeraat.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub56/Amarnamehj1-95-96-site.pdf

Misra, A., & Srivastava, N.K. (2000). Influence of water stress on Japanese Mint. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plant*, *7*(1), 51-58.

Moez-Ardalan, M., & Savaghebi-Firoozabadi, G. (2014). *Nutrition of fruit trees*. Tehran, Iran: Jahad Publication.

Mohtashami, R., Dehnavi, M.M., Balouchi, H., & Faraji, H. (2020). Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. *Agricultural Water Management*, 232, 106046.

Motakefi, M., Ghanbari, A., Moussavi Nik, S., & Sirousmehr, A. (2019). Effect of organic growth stimulator on yield, yield components, oil percentage and some physiological indices of canola under drought stress conditions. *Journal of Crop Improvement*, *21*(4), 367-377. (In Persian)

Mousavifar, B.A., Behdani, M.A., Jam Alahmadi, M.J., & Hosseini Bajd, M.S. (2010). Effects of limited irrigation on growth and yield of spring genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in Birjand. *Journal of Agricultural Ecology*, *2*(4), 639- 627. (In Persian).

Naeem, M., Naeem, M. S., Ahmad, R., Ihsan, M. Z., Ashraf, M. Y., Hussain, Y., & Fahad, S. (2018). Foliar calcium spray confers drought stress tolerance in maize via modulation of plant growth, water relations, proline content and hydrogen peroxide activity. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *64*(1), 116-131.

Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M.Y., Tahir, M.N., Zulfiqar, B., Salahuddin, M., Shabbir, R.N., & Aslam, M. (2016). Selenium supplementation affects physiological and biochemical processes to improve fodder yield and quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1438.

Niakan, M., & Ghorbanli, M.L. (2007). Effect of drought stress on growth indices of photosynthetic factors and ionic content in aerial and underground of two soybean cultivars. *Vegetables*, *8*(1), 17-30. (In Persian).

Paliyath, G., & Thompson, J. E. (1987). Calcium and calmodulin regulated breakdown of phospholipid by microsomal from bean cotyledons. *Plant. Physiol*. *83*, 63-68.

Pezzarossa, B., Gorini, F., & Petruzzelli, G. (2014). Selenium distribution and bioavailability in contaminated sites: dynamics and bioavailability of malondialdehyde in the leaf zone. Taylor and Francis Group. UK. 93-128.

Piekielek, W.P. & Fox, R.H. (1992). Use of a chlorophyll meter to predict side dress nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*, *84*(1), 59-65.

Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S., & Mohammadi, A. (2006). Essential oil content and composition of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. *Journal of Agronomy*, *5*(3), 451-455. (In Persian).

Prokopov, T.S. (1973). Spectrophotometric determination of calcium. *Microchimica Acta*. *61*(3), 429-434.

Rahmani, F., Sayfzadeh, S., Jabbari, H., Valadabadi, S. A., & Masouleh, E. H. (2019). Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. *International Journal of Plant Production*, *13*(4), 297-308.

Roger, G. S. (2006). Development of a crop management program to improve the sugar-content and quality of rockmelons. Horticulture Australia Project Number: Vx00019.

Sajedi, N.A., & Madani, H. (2017). Improvement of some physiological traits of yield and yield components of wheat and barley by using sodium selenite and sodium selenite in dryland conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *11*(1), 17-30. (In Persian).

Sajedi, N., Cheraghi, A., Gomarian, M. (2014). Response of agronomic, physiological and quality characteristics of Rainfed chickpea to Salicylic Acid and Selenium. *Iranian Journal Pulses Research*, 5(2), 31-42.

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Acta Botanica Croatica*, *66*(1), 43-56.

Sattar, A., Cheema, M. A., Abbas, T., Sher, A., Ijaz, M., & Hussain, M. (2017). Separate and combined effects of silicon and selenium on salt tolerance of wheat plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, *64*(3), 341-348.

Seppänen, M., Turakainen, M., & Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, *165*(2), 311-319.

Seppänen, M.M., Ebrahimi, N., Kontturi, J., Hartikainen, H., Heras, I.L., Cámara, C., & Madrid, Y. (2018). Dynamics of selenium uptake and metabolism of organic selenium species in the leaves and seeds of *Brassica napus* L. *Agricultural and Food Science*, *27*, 38-49.

Soheili-Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., & Alizadeh, B. (2019). Improvement in seed quantity and quality of spring safflower through foliar application of boron and zinc under end-season drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(8), 942-953.

Soxhlet, F. (1879). Die gewichtsanalytische bestimmung des milchfettes. *Polytechnisches J*, *232*, 461-465.

Taheri, SH., Gholami, A., Abbasdokht, H., & Makarian, H. (2018). Alleviation of water deficit stress effects on safflower cultivars by seed priming. *Journal of Crop Improvement*, *20*(2), 487-502. (In Persian).

Tailin, X., Hartikainen, H., & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing Lettuce. *Plant and Soil*, *237*, 55-61.

Tanaka, D.L., Rivaland, N.B., Bergman, J.W., & Johnson, B.L. (2002). A description of safflower plant development stages. *United States Department of Agriculture*. Report 2.

Ulhassan, Z., Gill, R.A., Ali, S., Mwamba, T.M., Ali, B., Wang, J., Huang, Q., Aziz, R., & Zhou, W. (2019). Dual behavior of selenium: insights into physio-biochemical, anatomical and molecular analyses of four *Brassica napus* cultivars. *Chemosphere*, *225*, 329-341.

Ünyayar, S., Keleþ, Y., & Ünal, E. (2004). Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 30(3-4), 34-47.

Van Oosterom, E. J., Weltzien, E., Yadav, O. P., & Bidinger, F. R. (2006). Grain yield components of pearl millet under optimum conditions can be used to identify germplasm with adaptation to arid zones. *Field Crops Research*, 96(2-3), 407-421.

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.

Xiao, X., Xu, X., & Yang, F. (2008). Adaptive responses to progressive drought stress in two Populus cothayana populations. *Silva Fennica*, *42*, 705-719.

Xue, T., Hartikainen, H., & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, *237*(1), 55-61.

Yao, X., Chu, J., & Wang, G. (2009). Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research*, *130*(3), 283-290.

Yao, X., Chu, J., He, X., & Ba, C. (2011). Protective Role of selenium in Wheat seedlings Subjected to Enhanced UVB Radiation. *Russian Journal of Plant Physiology*, *58*, 283-289.

Yonesi, A., SAarifzade, F., & Ahmadi, A. (2010). Effect of irrigation on grain yield, yield components and some germination characteristics grain sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars of kimia. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *41*(1), 187-195. (In Persian).

Yusefvand, P., Sajedi, N.A., & Mirzakhani, M. (2011). Effect of drought stress, zeolite and and selenium on yield and yield components on sunflower. *New Findings in Agriculture*, *5*(3), 325-339. (In Persian).

Zafari, M., Ebadi, A., Sedghi, M., Jahanbakhsh, S., & Miransari, M. (2020). Alleviating effect of 24-epibrassinolide on seed oil content and fatty acid composition under drought stress in safflower. *Journal of Food Composition and Analysis*, *10*, 35-44.