



## تأثیر محرک رشد آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی کلزا تحت شرایط تنش خشکی

مهدی معتکفی<sup>۱</sup>، احمد قنبری<sup>۲</sup>، محسن موسوی نیک<sup>۳</sup>، علیرضا سیروس‌مهر<sup>۳\*</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳. استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر محرک رشد آلی بر رشد و عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) رقم دلگان تحت شرایط تنش خشکی طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی چاه نیمه دانشگاه زابل، به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح قطع آبیاری بر اساس مراحل فنولوژیک رشد (سیستم کدبندی سیلوستر- برادلی) در سه سطح شاهد (آبیاری کامل)، قطع آبیاری از مرحله رشدی کد ۲/۲۰ (۲۰ میانگرمه مشخص می‌شود) و آبیاری تا مرحله رشدی کد ۵/۹ (تمام خورجین‌ها بیش‌تر از ۲ سانتی‌متر طول دارند) و عامل فرعی شامل چهار تیمار کودی: شاهد (محلول‌پاشی آب خالص)، هامون گرین ۱ در ۱۰ لیتر + کلسیم، هامون گرین ۱ در ۲۰ لیتر + کلسیم و هامون گرین ۱ در ۳۰ لیتر + کلسیم بود. نتایج اثرات ساده نشان داد که قطع آبیاری از مرحله رشدی کد ۲/۲۰ باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن شد و از طرفی تیمار محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر باعث افزایش صفات فوق به‌جز درصد روغن گردید. اما نتایج اثرات متقابل نشان داد که بالاترین مقدار کلروفیل a، b، کل، کارتنوئید، محتوای سلنیوم و کلسیم دانه از تیمار آبیاری کامل توأم با محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر + کلسیم و بیش‌ترین مقدار پرولین از تیمار قطع آبیاری از مرحله رشدی کد ۲/۲۰ توأم با محلول‌پاشی ۱ لیتر در ۱۰ لیتر کلسیم به‌دست آمد. به‌طور کلی می‌توان گفت محلول‌پاشی محرک رشد آلی باعث تعدیل اثرات منفی تنش خشکی در گیاه کلزا شد و به میزان ۲۷/۹۱ درصد باعث بهبود عملکرد دانه شده است.

**کلیدواژه‌ها:** پرولین، تنش خشکی، عملکرد دانه، کلزا، محرک رشد آلی.

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

Mahdi Motakefi<sup>1</sup>, Ahmad Ghanbari<sup>2</sup>, Mohsen Mousavinick<sup>2</sup>, Alireza Sirousmehr<sup>3\*</sup>

1. Former M.Sc. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.

2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.

Received: April 28, 2019

Accepted: September 30, 2019

### Abstract

This study aims at investigating the effect of organic growth stimulator on growth and yield of rapeseed (Dalgan cultivar) under drought in University of Zabol (Chahnime) during 2017 as a split plot experiment, based on RCBD with three replications. The treatments include irrigation cut off levels, based on the phenological growth stages (Sylvester-Bradley encoding system): I<sub>1</sub> = control (complete irrigation), I<sub>2</sub> = irrigation to growth rate code 2.20 (twenty internally identified), and I<sub>3</sub> = irrigation to growth rate code 5.9 (all pods are more than 2 cm long), with the subsidiary factor being consisted of four levels of fertilizer: F<sub>1</sub> = control (pure water solution), F<sub>2</sub> = Hamoon Green 1 liter at 10 liter + calcium, F<sub>3</sub> = Hamoon Green 1 Liter at 20 liter + calcium, and F<sub>4</sub> = Hamoon Green 1 liter at 30 liter + Calcium. Results show that I<sub>2</sub> has significantly decreased plant height, stem diameter, number of pods, number of seeds per pod, 1000-seed weight, grain and biological yield, and oil percentage, while F<sub>2</sub> has increased the abovementioned traits, except for the percentage of oil. Interaction effects show that the highest amount of chlorophyll a, b, total, carotenoid, selenium, and calcium content of grain belong to I<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, while the highest amount of proline has been observed in I<sub>2</sub>F<sub>2</sub>. Also, the highest of these traits belongs to F<sub>2</sub>. Generally, spraying the organic growth stimulator can moderate the harmful effects of drought stress in rapeseed, improving the seed yield by 27%.

**Keywords:** Canola, drought stress, grain yield, organic growth stimulator, prolin.

## ۱. مقدمه

تنش خشکی تأثیرگذارترین تنش غیرزنده محیطی است که از طریق تأثیر بر فرآیندهای رشدی، میزان تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی میزان تأثیر آن بسته به ژنوتیپ، زمان وقوع تنش خشکی و شدت آن متفاوت است (Moradshahi et al., 2004). از جمله واکنش‌های گیاهان در شرایط تنش محیطی، افزایش تجمع مواد محلول با وزن ملکولی کم، که به‌طور کلی مواد محلول سازگار (شامل اسیدهای آمینه، قندها و بتائین) نامیده می‌شوند، می‌باشد (Bajji et al., 2001).

پرویلین یکی از مهم‌ترین مواد محلول سازگار شناخته‌شده می‌باشد که سبب استواری ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها و محافظت از سیستم فتوسنتزی و غشای سلولی (Verbruggen & Hermans, 2008)، تنظیم اسمزی سلولی (Bhardwaj & Yadav, 2012) و جاروبگری گونه‌های فعال اکسیژن (Ashraf & Foolad, 2007) در واکنش به تنش‌های غیر زیستی می‌گردد.

سلنیوم از جمله عناصر ضروری برای تغذیه حیوانات و انسان‌ها می‌باشد که از منابع مختلفی چون غلات، حبوبات و سبزیجات به‌دست می‌آید و میزان آن در گیاهان متفاوت است (Tapiero et al., 2003). بررسی‌های متعدد اثر مفید سلنیوم را روی رشد و عملکرد گیاهان اثبات کرده است. نقش مفید این عنصر در بهبود رشد در شرایط تنشی مانند سرما (Seppänen et al., 2003) و نور ماورای بنفش (Heijari et al., 2006) گزارش شده است. سلنیوم، گیاهان را در مقابل آسیب سلولی ناشی از رادیکال‌های آزاد ایجادشده طی تنش‌های محیطی محافظت می‌کند که مکانیسم اصلی مطرح‌شده برای این موضوع، بر عملکرد آنزیم‌ها و سایر پروتئین‌های وابسته به سلنیوم تأکید دارند (Schweizer et al., 2004). طبق نظر پژوهش‌گران کاربرد خاکی یا محلول‌پاشی سلنیوم می‌تواند

رشد، عملکرد و کیفیت محصولات را افزایش دهد (Xu et al., 2003; Whanger, 2002). اثرات مفید محلول‌پاشی سلنیوم بر رشد چمن ری‌گراس (Hartikainen et al., 2000)، کاهو (Xue et al., 2001)، سویا (Djanaguiraman et al., 2005) و برگ‌های چای سبز (Hu et al., 2003) گزارش شده است. کلزا به‌علت دارابودن صفات مثبت زراعی نظیر مقاومت به سرما، کم‌آبی و تحمل شوری، ارزش تناوبی بالا، بی‌تفاوتی نسبی به بافت خاک، کنترل علف‌های هرز، دارابودن ژنوتیپ‌های بهاره و پاییزه، و عملکرد بیش‌تر روغن در واحد سطح نسبت به دیگر دانه‌های روغنی مورد کشت در کشور برتری داشته و می‌تواند جهت کاشت برای اکثر استان‌های کشور پیشنهاد گردد (Alyari et al., 2001). در آزمایشی بر روی سه رقم کلزای پاییزه همراه با ۴ رژیم آبیاری (آبیاری معمول، قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی، قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به بعد)، مشاهده شد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و طول خورجین)، اجزای عملکرد (تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه)، عملکرد دانه و عملکرد روغن گردید (Hassan-Zadeh et al., 2005). بنابراین با توجه به نیاز کشور به دانه‌های روغنی، این آزمایش با هدف تأثیر محرک رشد آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه کلزا طی تنش خشکی، انجام شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی چاه نیمه واقع در شهرستان زهک در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در

تأثیر محرک رشد آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی کلزا تحت شرایط تنش خشکی

سولفات پتاسیم به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، کود دی آمونیوم فسفات به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۰۰ کیلوگرم پایه و ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ۴-۵) برگی به خاک اضافه شد. کاشت در آذرماه ۱۳۹۶ به صورت دستی انجام شد. طول و عرض هر کرت ۲ متر، فواصل بین ردیف ۴۰ و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۶ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در مساحت ۲ مترمربع از هر کرت آزمایشی به طور جداگانه کف بر شدند و جهت خشک شدن نهایی، به مدت ۵ روز در هوای آزاد قرار داده شدند. اندازه‌گیری میزان کلروفیل به روش آرنون (Arnon, 1967)، اندازه‌گیری درصد روغن به روش سوکسله (Soxhlet, 1879)، اندازه‌گیری میزان پروتئین به روش بیتز (Bates et al., 1973)، اندازه‌گیری مقدار سلیوم دانه به روش (Mahaveer & Jaldappa, 2000)، اندازه‌گیری مقدار کلسیم به روش Prokopov (1973) انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نسخه (۹/۱) نرم‌افزار SAS و برای انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. در جدول ۲ تجزیه واریانس، برای صفات ارتفاع بوته، وزن هزاردانه و عملکرد دانه خطای «ب» بزرگ‌تر از خطای «الف» می‌باشد که برای حل این موضوع اقدام به شکستن خطای b به منابع تشکیل‌دهنده آن (rb و rab) گردید. rb در مقابل rab آزمون گردید ولی از نظر آماری معنی‌دار نشدند. لذا مجدداً این دو منبع با هم پولد (pooled) شدند، خاطر نشان می‌گردد احتمالاً بزرگی خطای «ب» نسبت به خطای «الف» به واسطه ماهیت صفات باشد.

جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای آزمایش شامل سطوح قطع آبیاری بر اساس مراحل فنولوژیک گیاه (سیستم کدبندی سیلوستر- برادلی (Sylvester-Bradley, 1951) در سه سطح I<sub>1</sub>= شاهد (آبیاری کامل)، I<sub>2</sub>= قطع آبیاری از مرحله رشدی کد ۲/۲۰ (تکمیل ساقه‌دهی: ۲۰ میانگرم مشخص می‌شود) و I<sub>3</sub>= آبیاری تا مرحله رشدی کد ۵/۹ (خورجین‌دهی: کلیه خورجین‌ها بیش‌تر از ۲ سانتی‌متر طول دارند) و عامل فرعی شامل چهار سطح تیمار کود: F<sub>1</sub>= شاهد (محلول‌پاشی آب خالص)، F<sub>2</sub>= هامون گرین ۱ لیتر در ۱۰ لیتر + کلسیم، F<sub>3</sub>= هامون گرین ۱ لیتر در ۲۰ لیتر + کلسیم، F<sub>4</sub>= هامون گرین ۱ لیتر در ۳۰ لیتر + کلسیم بود. بذر مورد استفاده رقم دلگان (آزادگرده‌افشان، بهاره، مناسب برای مناطق گرم و خشک کشور، زودرس، متحمل به ورس، در برابر بیماری اسکروتینیایی ساقه نسبتاً متحمل، کیفیت خوب روغن) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان تهیه شد. محرک رشد آلی (هامون گرین®) از شرکت سروش سپهر هامون تهیه شد که شامل ترکیبات نانوسلنیوم، آنتوسیانین، الکل استیک و کلسیم آلی می‌باشد. کلسیم استفاده‌شده در این آزمایش از کلسیم موجود در پودر پوسته تخم مرغ که در اسید سولفوریک ۹۶٪ هضم شده و سپس به وسیله آب مقطر به pH خنثی رسانیده شد، به دست آمده است. قبل از محلول‌پاشی ابتدا محلول به دست‌آمده از پودر پوسته تخم مرغ به نسبت برابر با هر سه سطح محلول هامون گرین مخلوط و سپس محلول‌پاشی انجام شد. محلول‌پاشی محرک رشد آلی بر اساس مراحل فنولوژیک رشد در سه مرحله شامل: ۱- مرحله رشدی کد ۱/۲۰ (ظهور بیستمین برگ حقیقی)، ۲- مرحله رشدی کد ۴/۱ (اولین گل‌ها باز می‌شوند)، ۳- مرحله رشدی کد ۵/۹ (کلیه خورجین‌ها بیش‌تر از ۲ سانتی‌متر طول دارند) اعمال شدند. آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک و تسطیح بود. با توجه به نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی از کود

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

| بافت خاک | هدایت الکتریکی<br>(dS.m <sup>-1</sup> ) | اسیدیته<br>(pH) | سلنیوم<br>(ppm) | سدیم<br>(ppm) | پتاسیم<br>(ppm) | کلسیم<br>(ppm) | منیزیم<br>(ppm) | نیتروژن<br>(%) |
|----------|---|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| لوم-رسی  | ۳/۳۶                                    | ۸/۴۳            | <۰/۰۱۸          | ۶۸/۱          | ۲۲/۸            | ۱۰۲/۷۲         | ۵۱/۵۱           | ۰/۰۵۷          |

### 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). بالاترین میزان ارتفاع بوته از تیمار آبیاری کامل و کم‌ترین میزان آن در تیمار آبیاری تا مرحله رشدی کد (۲/۲۰) مشاهده شد، که به میزان ۲۱/۵۷ درصد در طی تنش کاهش داشته است (جدول ۳). تنش خشکی از طریق کندشدن رشد میان گره‌ها و کاهش توسعه و دوام سطح برگ‌ها در نهایت منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Seyed Ahmadi et al., 2015). نتایج این آزمایش هم‌راستا با نتایج Zali et al. (2016) بر روی ۶ ژنوتیپ کلزا می‌باشد. بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر آب) بود که ۱۳/۶۶ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی آب خالص افزایش داشت (جدول ۳). در تنش خشکی به دلیل کمبود آب قابل دسترس، گیاه برای تقسیم و رشد سلولی دچار محدودیت می‌شود که سلنیوم با اثرات مثبت بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه باعث تعدیل اثر تنش خشکی می‌شود. پژوهش‌گران بیان کردند غلظت‌های مناسب سلنیوم با افزایش سنتر رنگدانه‌های فتوسنتزی، تثبیت کربن و هم‌چنین سنتر و هیدرولیز نشاسته و ساکارز موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Han-wens et al., 2010; Tailin et al., 2001).

#### ۳.۲. قطر ساقه

قطر ساقه تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین قطر

ساقه در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد (جدول ۳). قطر ساقه یکی از صفات ارزیابی شدت تنش خشکی در گیاهان است (Sadras et al., 1993) و مانند ارتفاع بوته تحت تأثیر تقسیم و بزرگ‌شدن سلولی در شرایط تنش کمبود آب است که احتمالاً نتیجه اختلال در فتوسنتز، تعرق، فرایندهای متابولیکی گیاه و غیره است (Sarker et al., 2005; Jones & Tardieu, 1998).

بیش‌ترین قطر ساقه در محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) ۵/۵۶ میلی‌متر به میزان ۲۲/۰۸ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی آب خالص، ۴/۳۳ میلی‌متر افزایش نشان داد (جدول ۳). پژوهش‌گران گزارش کردند که مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم باعث افزایش ۱۱/۱۵ درصد قطر ساقه گیاه کلزا شد (Yousefvand et al., 2011).

#### ۳.۳. تعداد خورجین در بوته

تعداد خورجین تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که به‌طورکلی با افزایش سطوح تنش خشکی تعداد خورجین در بوته کاهش یافت (جدول ۳). در اثر محلول‌پاشی؛ محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) ۱۰۹/۳۲ به مقدار ۲۷/۶۶ درصد نسبت به تیمار شاهد ۷۹/۱۳ افزایش داشت (جدول ۳). در آزمایشی بر روی نخود پژوهش‌گران گزارش کردند با محلول‌پاشی ۶، ۱۲ و ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم تعداد نیام در بوته نسبت به شاهد به‌ترتیب ۳/۶، ۹/۳۶ و ۴/۵۷ درصد افزایش یافت (Cheraghi et al., 2013).

تأثیر محرک رشد آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی کلزا تحت شرایط تنش خشکی

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

| منابع تغییرات    | درجه آزادی | ارتفاع بوته          | قطر ساقه            | تعداد خورجین در بوته  | تعداد دانه در خورجین | وزن هزاردانه        | عملکرد بیولوژیک          | عملکرد دانه              |
|------------------|------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| تکرار            | ۲          | ۲۱/۱۰ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۹ <sup>ns</sup>  | ۵۰۸/۰۱ <sup>ns</sup>  | ۳/۲۹ <sup>ns</sup>   | ۰/۰۲۱ <sup>ns</sup> | ۶۹۲۹۵/۶۰ <sup>ns</sup>   | ۸۵۸۱/۰۹ <sup>ns</sup>    |
| آبیاری           | ۲          | ۸۱۹/۶۹ <sup>**</sup> | ۳۲/۹۸ <sup>**</sup> | ۸۹۷۷/۸۱ <sup>**</sup> | ۱۵۳/۵۳ <sup>**</sup> | ۱۶/۳۲ <sup>**</sup> | ۳۳۸۶۱۷۴/۴۴ <sup>**</sup> | ۱۲۰۹۸۴۳/۳۲ <sup>**</sup> |
| خطای الف         | ۴          | ۱۰/۳۷                | ۰/۱۲                | ۱۶۵/۴۹                | ۳/۸۱                 | ۰/۰۵۳               | ۹۹۱۲۷/۵۸                 | ۲۰۸۸/۲۵                  |
| محلول پاشی       | ۳          | ۱۴۸/۴۳ <sup>**</sup> | ۲/۳۷ <sup>**</sup>  | ۱۳۹۶/۳۶ <sup>**</sup> | ۸/۸۴ <sup>**</sup>   | ۲/۳۶ <sup>**</sup>  | ۳۰۸۲۳۰/۶۴ <sup>**</sup>  | ۹۹۳۶۳/۷۲ <sup>**</sup>   |
| اثرات متقابل     | ۶          | ۲۹/۵۸ <sup>ns</sup>  | ۰/۱۱ <sup>ns</sup>  | ۳۳۴/۹۸ <sup>ns</sup>  | ۰/۶۸ <sup>ns</sup>   | ۰/۱۹ <sup>*</sup>   | ۵۸۵۰۲/۵۸ <sup>ns</sup>   | ۱۰۶۸۶/۴۶ <sup>*</sup>    |
| خطای ب           | ۱۸         | ۲۱/۸۲                | ۰/۱۲                | ۱۴۲/۰۱                | ۰/۶۱                 | ۰/۰۶                | ۲۹۹۰۱/۷۹                 | ۳۵۴۰/۹۹                  |
| ضریب تغییرات (%) | -          | ۶/۸۸                 | ۷/۰۸                | ۱۲/۴۶                 | ۴/۳۴                 | ۷/۴۸                | ۷/۷۱                     | ۷/۷۶                     |

ns و \* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات ارتفاع، قطر ساقه، تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن

تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی

| تیمارهای آزمایشی                              | ارتفاع گیاه (cm) | قطر ساقه (mm) | تعداد خورجین در بوته | تعداد دانه در خورجین | عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> ) | درصد روغن (%) |
|---|------------------|---------------|----------------------|----------------------|--|---------------|
| آبیاری کامل                                   | ۷۶/۴۴a           | ۶/۴۵a         | ۱۲۳/۴۲a              | ۲۱/۵۲a               | ۲۷۲۹a                                  | ۴۲/۶۱a        |
| آبیاری تا مرحله رشدی کد ۵/۹ (خورجین دهی)      | ۶۷/۱۹b           | ۵/۳۸b         | ۹۴/۶۸b               | ۱۸/۳۲b               | ۲۲۷۵/۶b                                | ۴۱/۶۶a        |
| آبیاری تا مرحله رشدی کد ۲/۲۰ (تکمیل ساقه دهی) | ۵۹/۹۵c           | ۳/۲۰c         | ۶۸/۷۳c               | ۱۴/۳۸c               | ۱۶۷۰/۲c                                | ۳۸/۴۷b        |
| محلول‌پاشی محرک رشد آلی                       |                  |               |                      |                      |  |               |
| ۱ لیتر در ۱۰ لیتر                             | ۷۲/۸۴a           | ۵/۵۶a         | ۱۰۹/۳۲a              | ۱۹/۰۱a               | ۲۴۶۵/۸۵a                               | -             |
| ۱ لیتر در ۲۰ لیتر                             | ۶۸/۱۱b           | ۵/۱۸b         | ۹۷/۳۶b               | ۱۸/۴۳ab              | ۲۲۴۱/۸۸b                               | -             |
| ۱ لیتر در ۳۰ لیتر                             | ۶۷/۵۸b           | ۴/۹۹b         | ۹۶/۵۶b               | ۱۸/۱۷b               | ۲۱۷۰/۸۱bc                              | -             |
| آب خالص                                       | ۶۲/۹۱c           | ۴/۳۳c         | ۷۹/۱۳c               | ۱۶/۶۸c               | ۲۰۲۱/۲۵c                               | -             |

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

### ۳.۴. تعداد دانه در خورجین

سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی بر تعداد دانه در خورجین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق مقایسه میانگین‌ها افزایش تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در خورجین شد (جدول ۳). در آزمایشی بر روی دو گونه کلزا (*B. napus*) و (*B. campestris*) پژوهش‌گران عامل اصلی کاهش

عملکرد طی تنش خشکی در دو مرحله گلدهی و نمو خورجین‌ها را کاهش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین بیان کردند (Din et al., 2011). محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) ۱۹/۰۱ به میزان ۱۲/۲۵ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی آب خالص ۱۶/۶۸ افزایش نشان داده است (جدول ۳). پژوهش‌گران بیان کردند مصرف ۱۸ گرم در هکتار سلیوم باعث

میلی گرم در لیتر از منبع سلنات سدیم) باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه جو نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین در آزمایشی مشابه، به منظور بررسی تأثیر همگراکونازول، پنکونازول و سیلیکات کلسیم بر روی دو رقم سویا، گزارش کردند بالاترین عملکرد زیست‌توده از تیمار محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم روی رقم L17 در شرایط بدون تنش به‌دست آمد (Madanipour et al., 2017).

### ۳.۶. درصد روغن

فقط اثر تنش خشکی بر درصد روغن کلزا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بالاترین درصد روغن از تیمار آبیاری کامل ۴۲/۶۱ درصد و کم‌ترین درصد روغن در تیمار آبیاری تا مرحله رشدی کد (۲/۲۰)، ۳۸/۴۷ درصد به‌دست آمد، که نشان‌دهنده کاهش ۹/۷۱ درصدی روغن طی تنش خشکی می‌باشد (جدول ۳). پژوهش‌گران گزارش کردند افت درصد روغن در اثر تنش خشکی شدید در مقایسه با تنش خشکی ملایم نسبتاً بالاتر است که نشان می‌دهد، اگر شدت تنش زیاد نباشد، تأثیر چندانی بر درصد روغن دانه نخواهد داشت (Farokhi nia et al., 2010).

### ۳.۷. وزن هزاردانه

اثر سطوح تنش خشکی و محلول‌پاشی محرک آلی رشد بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد، بالاترین وزن هزاردانه از تیمار آبیاری کامل توأم با محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) به‌دست آمد (جدول ۵). پژوهش‌گران گزارش کردند عامل کاهش وزن هزاردانه گیاه کلزا، بسته‌شدن روزنه‌ها و هم‌چنین کاهش سرعت فتوسنتز در شرایط تنش خشکی می‌باشد که به تولید دانه‌های کوچک‌تر منجر می‌شود (Sadaqat et al., 2003).

افزایش ۵/۰۱ درصد تعداد دانه در طبق گیاه آفتابگردان گردید (Yousefvand et al., 2011).

### ۳.۵. عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سطوح تنش خشکی و محلول‌پاشی محرک رشد آلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان می‌دهد بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری کامل ۲۷۲۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به تیمار آبیاری تا مرحله رشدی کد (۲/۲۰) ۱۶۷۰/۲ کیلوگرم در هکتار به میزان ۳۸/۷۹ درصد طی تنش خشکی کاهش یافته است (جدول ۳). دلیل کاهش عملکرد در شرایط تنش می‌توان ناشی از پیری زودرس گیاه و ریزش برگ‌ها در اثر تنش خشکی دانست که در نتیجه باعث کاهش وزن خشک گیاه می‌شود. در آزمایش زیرگلی و کهریزی بر روی ۱۰ واریته کلزا، گزارش کردند عملکرد بیولوژیک تمامی واریته‌ها تحت شرایط تنش خشکی در مراحل رویشی و زایشی کاهش نشان داد (Zirgoli & Kahrizi, 2015).

محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) با بیش‌ترین میانگین ۲۴۶۵/۸۵ کیلوگرم در هکتار به‌میزان ۱۸/۰۳ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی آب خالص با میانگین ۲۰۲۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد بیولوژیک داشته است (جدول ۳). پژوهش‌گران گزارش کردند پیش تیمار با آب مقطر توأم با محلول‌پاشی سلنیوم و هم‌چنین پیش تیمار با مقادیر ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم توأم با محلول‌پاشی سلنیوم عملکرد زیستی را در گندم افزایش داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد زیستی از تیمارهای پرایمینگ با ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم توأم با محلول‌پاشی سلنیوم حاصل شد که باعث افزایش ۲۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد (Sajedi et al., 2016). آزمایش دیگر پژوهش‌گران نشان داد، محلول‌پاشی با سلنیوم (۴۰

تأثیر محرک رشد آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی کلزا تحت شرایط تنش خشکی

جدول ۴. تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی بر درصد روغن، کلروفیل a، b، کل، کارتونوئید، پرولین و محتوای

سلنیوم دانه

| منابع تغییرات    | درجه آزادی | درصد روغن          | کلروفیل a           | کلروفیل b            | کارتونوئید          | کلروفیل کل          | پرولین             | محتوای سلنیوم       | محتوای کلسیم        |
|------------------|------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| تکرار            | ۲          | ۲/۹۹ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۵ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۷۱ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۶ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۲ <sup>ns</sup> | ۰/۳۶ <sup>ns</sup> | ۰/۰۷۴ <sup>ns</sup> | ۰/۰۹۵ <sup>ns</sup> |
| آبیاری           | ۲          | ۵۶/۴۰*             | ۶/۵۸**              | ۰/۸۸۵**              | ۲۱/۷۳**             | ۱۲/۲۴**             | ۳۰۳/۴۲**           | ۲۰/۹۰**             | ۰/۶۳*               |
| خطای اصلی        | ۴          | ۵/۷۹               | ۰/۰۰۳               | ۰/۰۰۲۵               | ۰/۰۳۹               | ۰/۰۰۳               | ۰/۸۹               | ۰/۰۲۷               | ۰/۰۴۵               |
| محلول‌پاشی       | ۳          | ۲/۱۶ <sup>ns</sup> | ۰/۳۹۸**             | ۰/۰۸۱**              | ۱/۷۲**              | ۰/۹۶**              | ۴۵/۶۷**            | ۴/۷۳**              | ۰/۵۱**              |
| اثر متقابل       | ۶          | ۰/۳۰ <sup>ns</sup> | ۰/۰۱۱*              | ۰/۰۰۵**              | ۰/۱۱*               | ۰/۰۱۹**             | ۶/۳۳*              | ۰/۱۳۸**             | ۰/۰۹*               |
| خطای فرعی        | ۱۸         | ۵/۳۹               | ۰/۰۰۳               | ۰/۰۰۱                | ۰/۰۴                | ۰/۰۰۴               | ۰/۵۹               | ۰/۰۳۳               | ۰/۰۲۷               |
| ضریب تغییرات (%) | -          | ۵/۵۶               | ۳/۲۶                | ۸/۰۴                 | ۶/۰۸                | ۲/۷۶                | ۸/۵۵               | ۶/۴۰                | ۸/۶۸                |

ns، \*، \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر صفات وزن هزاردانه، کلروفیل a، b، کل، کارتونوئید، پرولین

و محتوای سلنیوم دانه

| تیمارهای آزمایشی     | وزن هزاردانه      | عملکرد                 | کلروفیل a                | کلروفیل b                | کلروفیل کل               | کارتونوئید               | پرولین                    | محتوای سلنیوم دانه       | محتوای کلسیم دانه |
|----------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| آبیاری               | (gr)              | (kg.ha <sup>-1</sup> ) | (mg.gr <sup>-1</sup> fw) | (mg.gr <sup>-1</sup> fw) | (mg.gr <sup>-1</sup> fw) | (mg.gr <sup>-1</sup> fw) | (mcg.gr <sup>-1</sup> fw) | (mg.kg <sup>-1</sup> fw) | (%)               |
| آب خالص              | ۳/۸۷c             | ۸۹۲/۱c                 | ۲/۳۱c                    | ۰/۵۵۱d                   | ۲/۸۶d                    | ۴/۱۶bc                   | ۲/۴۱i                     | ۳/۰۷e                    | ۱/۷۹c             |
| آبیاری کامل          | ۱ لیتر در ۱۰ لیتر | ۱۳۰۶/۸۱a               | ۲/۹۵a                    | ۰/۸۸۴a                   | ۳/۸۳a                    | ۵/۰۱a                    | ۶/۵۹g                     | ۵/۱۸a                    | ۲/۳۷a             |
|                      | ۱ لیتر در ۲۰ لیتر | ۱۰۸۶/۱۱b               | ۲/۷۴b                    | ۰/۷۸۹b                   | ۳/۵۳b                    | ۴/۸۲a                    | ۴/۶۵h                     | ۴/۵۵b                    | ۲/۲۰ab            |
|                      | ۱ لیتر در ۳۰ لیتر | ۴/۷۱b                  | ۲/۶۴b                    | ۰/۷۰۱c                   | ۳/۳۴c                    | ۴/۳۷b                    | ۳/۲۱i                     | ۴c                       | ۲/۰۰bc            |
| آبیاری تا مرحله رشدی | ۲/۷۵defg          | ۶۷۷/۹۱e                | ۱/۵۸f                    | ۰/۳۰۸f                   | ۱/۸۹h                    | ۳/۱۴f                    | ۷/۵۴fg                    | ۲/۰۷g                    | ۱/۷۵c             |
| کد ۵/۹               | ۱ لیتر در ۱۰ لیتر | ۳/۷۹c                  | ۱/۹۴d                    | ۰/۵۰۷d                   | ۲/۶۴e                    | ۳/۹۳cd                   | ۱۰/۸۱d                    | ۳/۴۴d                    | ۱/۹۵bc            |
| (خورجین‌دهی)         | ۱ لیتر در ۲۰ لیتر | ۷۸۲/۷۳cd               | ۱/۸۶de                   | ۰/۴۱۵e                   | ۲/۲۸f                    | ۳/۶de                    | ۸/۳ef                     | ۲/۹۶e                    | ۱/۹۱bc            |
|                      | ۱ لیتر در ۳۰ لیتر | ۳/۱۴de                 | ۱/۷۷e                    | ۰/۳۸e                    | ۲/۱۶g                    | ۳/۴۶ef                   | ۷/۹۵def                   | ۲/۸۵def                  | ۱/۸۳c             |
| آبیاری تا مرحله رشدی | ۲/۱۹h             | ۳۸۳/۸g                 | ۰/۹۳i                    | ۰/۱۲۱h                   | ۱/۰۵k                    | ۱/۲۱i                    | ۹/۲e                      | ۰/۷۷i                    | ۱/۰۴d             |
| کد ۲/۲۰              | ۱ لیتر در ۱۰ لیتر | ۲/۹۵def                | ۱/۴۴g                    | ۰/۲۷۴f                   | ۱/۷۲i                    | ۲/۷۴g                    | ۱۷/۹a                     | ۲/۵۵f                    | ۱/۸۷c             |
| (تکمیل ساقه‌دهی)     | ۱ لیتر در ۲۰ لیتر | ۴۳۸/۴g                 | ۱/۲۱h                    | ۰/۲۰۳g                   | ۱/۴۱j                    | ۱/۸۶h                    | ۱۶/۰۳b                    | ۱/۵۵h                    | ۱/۸۳c             |
|                      | ۱ لیتر در ۳۰ لیتر | ۲/۴۵gh                 | ۱/۱۶h                    | ۰/۱۷۱gh                  | ۱/۳۳j                    | ۱/۸۲h                    | ۱۳/۷۸c                    | ۱/۳۷h                    | ۱/۷۹d             |

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

۳.۸. عملکرد دانه

لیتر در ۱۰ لیتر (۱۳۰۶/۸۱) (۱۳۰۷) کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میانگین عملکرد دانه از تیمار آبیاری تا مرحله رشدی کد (۲/۲۰) توأم با محلول‌پاشی آب خالص ۳۸۳/۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که به میزان ۷۰/۶۳ درصد کاهش نشان داده است (جدول ۵).

عملکرد دانه تحت تأثیر تیمار تنش خشکی، محلول‌پاشی و اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲). طبق مقایسه میانگین اثر متقابل، بالاترین میزان عملکرد دانه از تیمار آبیاری کامل توأم با محلول‌پاشی (۱)

درصد و برهم‌کنش آنها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار می‌باشد، درحالی‌که محتوای کلروفیل b و کل تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). طبق مقایسه میانگین داده‌ها بالاترین مقدار کلروفیل a، ۲/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کاروتنوئید ۵/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار آبیاری کامل توأم با محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) و کم‌ترین مقدار کلروفیل a، ۰/۹۳۲ و کاروتنوئید ۱/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار آبیاری تا مرحله رشدی کد (۲/۲۰) توأم با محلول‌پاشی آب خالص مشاهده شد، که به میزان ۶۸/۴۰ و ۷۵/۸۴ درصد به ترتیب، طی تنش خشکی کاهش نشان دادند (جدول ۵). هم‌چنین نتایج برهم‌کنش سطوح متقابل نشان داد بالاترین میزان کلروفیل b ۰/۸۸ و کلروفیل کل ۳/۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مربوط به تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) و کم‌ترین مقدار صفات مذکور به ترتیب ۰/۱۲ و ۱/۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر از تیمار آبیاری تا مرحله رشدی کد (۲/۲۰) و محلول‌پاشی آب خالص به دست آمد (جدول ۵).

یکی از عوامل کاهش محتوای کلروفیل طی تنش خشکی، تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است (Xiao *et al.*, 2008). از طرفی دیگر پژوهش‌گران تغییرات متابولیکی را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی بیان نمودند، آن‌ها گزارش کردند که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل می‌شود (Oliviera-Neto *et al.*, 2009). نتایج پژوهش‌گران نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه کلزا (Jabbari *et al.*, 2014) و آفتابگردان (Nematollahi *et al.*, 2013) گردید.

پژوهش‌گران بیان کردند کاهش مواد ذخیره‌ای فتوسنتزی در ساقه و کاهش سطح فتوسنتزکننده برگ‌ها منجر به کاهش اندازه مخزن می‌گردد که در نتیجه آن، سبب کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود (Seyed *et al.*, 2015)، هم‌چنین تنش خشکی سبب تغییر ریخت‌شناختی، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان می‌شود که تأثیر منفی بر رشد و عملکرد آنها می‌گذارد و سبب تنش اسمزی و اختلال در تخصیص یون‌ها به یاخته و اختلال در غشای یاخته‌ای می‌شود (Wang *et al.*, 2003)، از طرف دیگر محلول‌پاشی محرک رشد آلی با تأثیر مثبت بر روی اجزای عملکرد کلزا (تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه) باعث افزایش عملکرد دانه در کلزا گردید. در همین راستا، پژوهش‌گران تشکیل اسیدهای آمینه سلنیوم‌دار را موجب افزایش تولید اتیلن و در نتیجه تغییر ترکیب لیپیدهای غشایی، افزایش نفوذپذیری غشا و نشت پتاسیم دانسته که نتیجه آن افزایش آب در فضای بین سلولی و افزایش وزن تر بافت است (Tailin *et al.*, 2001)، هم‌چنین Timothy (2001) بیان کرد، تیمار گیاهان به‌وسیله سلنیوم باعث بهبود تحمل به تنش خشکی می‌شود که ممکن است این تأثیر مثبت ناشی از افزایش سطوح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه باشد. سلنیوم باعث جلوگیری از پیری زودرس گیاه و مقاومت گیاه در برابر اشعه ماورای بنفش خورشید می‌گردد، هم‌چنین مشخص شده سلنیوم این توانایی را دارد که وضعیت آب گیاهان را در شرایط تنش خشکی تنظیم کند (Kuznetsov *et al.*, 2003).

### ۳.۹. رنگدانه‌های فتوسنتزی

#### ۳.۹.۱. کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محتوای کلروفیل a و کاروتنوئید تحت تأثیر تنش خشکی در سطح احتمال یک



تأثیر محرک رشد آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی کلزا تحت شرایط تنش خشکی

### ۳.۱۰. پرولین برگ

محتوای پرولین برگ تحت تأثیر اثر ساده و متقابل تیمارهای آزمایش معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان پرولین در تیمار آبیاری تا مرحله رشدی کد (۲/۲۰) توأم با محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر)، ۱۶/۰۳ میکروگرم بر گرم وزن تر مشاهده شد (جدول ۵). تنش خشکی از دو راه باعث افزایش میزان پرولین در گیاهان می‌شود، اولین راه افزایش سنتز آنزیم‌هایی است که باعث تحریک تولید پرولین می‌شود و دومین راه ممانعت از عمل آنزیم‌هایی است که پرولین را تخریب می‌کند (Rontein et al., 2002). در همین راستا پژوهش‌گران گزارش کردند، تنش خشکی باعث افزایش تجمع پرولین در سه وارپته کلزا گردید، آن‌ها بیان کردند به موازات قطع آبیاری از مراحل مختلف نموی، تجمع پرولین افزایش چشم‌گیری یافت و در شرایط شاهد و تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی به‌ترتیب پائین‌ترین و بالاترین غلظت پرولین مشاهده شد (Jabbari et al., 2014).

### ۳.۱۱. محتوای سلنیوم دانه

محتوای سلنیوم دانه تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل تیمارها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد محتوای سلنیوم دانه در طی تنش به‌میزان ۸۵/۱۳ درصد کاهش یافته است (جدول ۵). احتمالاً سلنیوم در برهم‌کنش سلنیت با پلاسمالما و تغییر در نفوذپذیری غشا نسبت به برخی یون‌ها (پتاسیم، سدیم و کلسیم) بر طویل‌شدن گیاه، تنفس، جذب آب و تخلیه از آوندهای آبکش تأثیرگذار است و در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌گردد (Dziubinskaa et al., 2010).

### ۳.۱۲. محتوای کلسیم دانه

محتوای کلسیم دانه تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل تیمارها معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان کلسیم دانه

از آبیاری کامل توأم با محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) ۲/۳۷ مشاهده شد (جدول ۵). محلول‌پاشی برگ‌گی کلسیم یکی از روش‌های مؤثر برای برطرف‌کردن کمبود و اصلاح عوارض ناشی از آن است (Rogers, 2007)، هم‌چنین غلظت بیش‌تر کلسیم در بافت گیاه به بقای آن در شرایط تنش خشکی کمک می‌کند (Çakir, 2004). از طرفی در محیط درون سلول، کلسیم به‌عنوان پیک ثانویه عمل کرده و با تأثیرگذاری بر روی پایداری و فعالیت آنزیم‌ها، شرایط تنش را تعدیل می‌کند (Girija et al., 2002).

### ۴. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌توان گفت تنش خشکی در مراحل مختلف نموی باعث کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا شد، از طرفی محلول‌پاشی محرک رشد آلی (هامون گرین®) اثرات تنش خشکی را تعدیل کرد و از این طریق توانست عملکرد گیاه را بهبود بخشد، در مجموع با محلول‌پاشی (۱ لیتر در ۱۰ لیتر) از محرک رشد آلی (هامون گرین®) می‌توان به کمیت و کیفیت قابل‌قبول محصول دست پیدا کرد.

### ۵. سپاسگزاری

بخشی از هزینه اجرای این آزمایش از محل اعتبار پژوهانه شماره UOZ-GR-9517-21 دانشگاه زابل تأمین شده است.

### ۶. منابع

- Alyari, H., Shekari, F. & Shekari, F. (2001). *Oil Seed (Agronomy and Physiology)*. Amidi Publication. Tabriz. pp 182. (in Persian)
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112-121.
- Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycinebetaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>

- Bajji, M., Lutts, S. & Kient, J. M. (2001). Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum*) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160(4), 669-681.
- 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.
- Bhardwaj, J. & Yadav, S. K. (2012). Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in drought tolerant and a sensitive variety of Horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. *American Journal of Plant Physiology*, 7(1), 17-29. DOI: 10.3923/ajpp.2012.17.29.
- Çakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005>.
- Cheraghi, A. M., Sajedi, N. A. & Gomarian, M. (2013). Effect of foliar application of salicylic acid and selenium on agronomic, physiological and qualitative characteristics of chickpea in rain fed conditions. *Iranian Journal of Bean Research*, 5(2), 31-42. (in Persian)
- Din, J., Khan, S.U., Ali, I. & Gurmani, A.R. (2011). Physiological and Agronomic Response of Canola Varieties to Drought Stress. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(1), 78-82.
- 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.
- Dziubinskaa H., Filekb M., Krol E., & Trebacz K. (2010). Cadmium and selenium modulate slow vacuolar channels in rape (*Brassica napus* L.) vacuoles. *Journal of Plant Physiology*, 167(18), 1566-1570. DOI: 10.1016/j.jplph.2010.06.016.
- Farokhi nia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B. & Sasan Doust, R. (2010). Effect of Drought Stress on Grain Yield and Some Vegetative Traits of Spring Safflower. *Journal of Crop Research*, 2(5), 1-11. (in Persian)
- Girija, C., Smit, B. N. & Swamy, P. (2002). Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis Hypogaea* L.). *Environ. Exp. Bot*, 47(1), 1-10. DOI: 10.1016/S0098-8472(01)00096-X
- 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(10), 1195-1204. <https://doi.org/10.1080/00103621003721395>
- Hartikainen, H., Xue, T. & Piironen, V. (2000). Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil*, 225(1-2), 193-200.
- Hassan-Zade, M., Naderi Darbaghshahi, M.R. & Shirani Rad, A.H. (2005). Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of autumn rapeseed varieties in Isfahan region. *Iranian Journal of Research in Agriculture*, 2(2), 51- 62. (in Persian)
- Heijari, J., Kivimäenpää, M., Hartikainen, H., Julkunen-Tiitto, R. & Wulff, A. (2006). Responses of strawberry to supplemental UV-B radiation and selenium under field conditions. *Plant and Soil*, 282(1-2), 27-39.
- Hu, Q., Xu, J. & Pang, G. (2003). Effect of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in early spring. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(11), 3379-3381. <https://doi.org/10.1021/jf0341417>
- Jabbari, H., Akbari, A., Khosh kholgh Sima, N. A., Alahdadi, I., Shirani Rad, A. H., Tabatabaee, S. A. & Hamed, A. (2014). Comparison of antioxidant enzymes and proline roles in drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Oil Plant*, 1(1), 15-31. (in Persian)
- Jones, H.G. & Tardieu, F. (1998). Modeling water relations of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulture*, 74(1-2), 21-46.
- Kuznetsov, V.V., Kholodova, V.P., Kuznetsov, V.L.V. & Yagodin, B.A. (2003). Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. *Doklady Biological Sciences*. 390(1), 266-268. DOI: 10.1023/a:1024426104894 The Digital Object Identifier
- Madanipour, E., Asilan, K. S. & Mansourifar, S. (2017). The effect of hexaconazole, penconazole and calcium silicate on the quantitative and qualitative traits of two varieties of soybean under water deficit conditions. *Iranian Crop Sciences*, 48(2), 377-388. (in Persian)
- Mahaveer B.M. & Jaldappa, S. (2000). Spectrophotometric Determination of Selenium (IV) Using Methdilazine Hydrochloride. *Turkish Journal of Chemistry*, 24(3), 287-290.
- Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B. & Kholdebarin, B. (2004). Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. *Iranian Journal of Science and Technology. Transaction A*, 28(A1), 43-50. (in Persian)

- Nematollahi, E., Jafari, A. & Bagheri, A. (2013). Effect of drought stress and salicylic acid on photosynthesis pigments and macronutrients absorption in two sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. *Journal of Plant Ecophysiology*, 5(12), 37-51. (in Persian)
- Oliviera-Neto, C.F., Silva-Lobato, A.K., Goncalves-Vidigal, M.C., Costa, R.C.L., Santos Filho, B.G., Alves, G.A.R., Silva-Maia, W.J.M., Cruz, F.J.R., Neres, H.K.B. & Santos Lopes, M.J. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology*, 7(3&4), 588-593.
- Prokopov, T.S. (1973). Spectrophotometric determination of calcium. *Microchimica Acta*, 61(3), 429-434.
- Rogers, G. S. (2007). *Development of a crop management program to improve the sugar-content and quality of rockmelons*. Horticultural Australia, Sydney, Australia.
- Rontein, D., Basse, T. G. & Hasont, A. D. (2002). Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic Engineering*, 4(1), 49-56. DOI: 10.1006/mben.2001.0208
- Sadaqat, H.A., Tahir, M.H.N. & Hussain, M.T. (2003). Physiogenetic Aspects of Drought Tolerance in Canola (*Brassica napus* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 5(4), 611-614.
- Sadras, V.O., Connor, D.J. & Whitfield, D.M. (1993). Yield, yield components and source-sink relationships in water-stressed sunflower. *Filed Crops Research*, 31(1-2), 27-39. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(93\)90048-R](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90048-R)
- Sajedi, N. A., Madani, H. & Sajedi, A. (2016). Effect of water priming and different amounts of selenium on germination characteristics, seedling growth and seed yield of rainfed wheat under laboratory and field conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(1), 1-14. (in Persian)
- Sarker, B.C., Hara, M. & Uemura, M. (2005). Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Science Horticulture*, 103(4), 387-402.
- Schweizer, U., Bräuer, A., U., Köhrle, J., Nitsch, R. & Savaskan, N.E. (2004). Selenium and brain function: a poorly recognized liaison. *Brain Research Reviews*, 45(3), 164-178.
- Seppänen, M., Turakainen, M. & Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, 165(2), 311-319. DOI: 10.1016/S0168-9452(03)00085-2
- Seyed Ahmadi, A., Bakhshandeh, A. & Gharineh M. H. (2015). Evaluation Physiological Characteristics and Grain Yield Canola Cultivars under end Seasonal Drought Stress in Weather Condition of Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(1), 71-80. (in Persian)
- Soxhlet, F. (1879). Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes; von.
- Sylvester-Bradley, P.C. (1951). The subspecies in palaeontology. *Geological Magazine*, 88(2), 88-102.
- Tailin, X., Hartikainen, H. & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing Lettuce. *Plant and Soil*, 237(1), 55-61.
- Tapiero, H., Townsend, D. & Tew, K. (2003). The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 57(3), 134-144. DOI: 10.1016/s0753-3322(03)00035-0
- Verbruggen, N. & Hermans, C. (2008). Proline accumulation implants: A review. *Amino Acids*, 35(4), 753-759.
- Wang, W., Vinocur, B. & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1-14. DOI: 10.1007/s00425-003-1105-5
- Xiao, X., Xu X. & Yang, F. (2008). Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. *Silva Fennica*, 42(5), 705-719.
- Xu, J., Yang, F., Chen, L., Hu, Y. & Hu, Q. (2003). Effect of selenium on increasing the antioxidant activity of tea leaves harvested during the early spring tea producing season. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(4), 1081-1084.
- Xue, T., Hartikainen, H. & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237(1), 55-61.
- Yousefvand, P., Sajedi, N. A. & Mirzakhani, M. (2011). Effect of drought stress, zeolite and selenium intake on yield and yield components of sunflower. *New Agricultural Findings*, 5(3), 325-339. (in Persian)
- Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A. & Zeinalabedini, M. (2016). Appropriate Strategies for Selection of Drought Tolerant Genotypes in Canola. *Journal of Crop Breeding*, 8(20), 77-90. (in Persian)
- Zirgoli, M.H. & Kahrizi, D. (2015). Effects of end-season drought stress on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm regions of Kermanshah Province. *Biharean Biologist*, 9(2), 133-140.