اثر محلول‌پاشی سلنات سدیم بر محتوای سلنیوم دانه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus* L.)

ماندانا همتی[۱]، بابک دلخوش[۲]، امیرحسین شیرانی‌راد*[۳] و قربان نورمحمدی[۴]

۱) گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲) استادیار گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳) استاد گروه زراعت، موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران.
۴) استاد گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: shiranirad96@gmail.com

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۳۱

چکیده

سلنیوم عنصری غیرفلزی است که با تأثیر بر رشد و نمو گیاهان و به‌خاطر حضور در سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، منجر به بهبود صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاهان می‌گردد. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به‌روش کرت‌های یک بار خرد شده با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا شد. محلول‌پاشی سلنیوم از منبع سلنات‌سدیم در کرت‌های اصلی در دو سطح شاهد (بدون محلول‌پاشی) و محلول-پاشی ۳۰ گرم در لیتر طی دو نوبت پیش از گلدهی و شش ژنوتیپ کلزای تیپ پاییزه در کرت‌های فرعی مقایسه گردید. اثر سال، محلول‌پاشی سلنیوم و ژنوتیپ بر محتوای پرولین برگ، کربوهیدرات محلول، محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوی سلنیوم و روغن دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بودند. کاربرد سلنیوم منجر به افزایش پرولین (۶/۶۸ درصد)، کربوهیدرات (۷/۲۶ درصد)، کلروفیل a (۸/۶۵ درصد)، کلروفیل کل (۷/۰۴ درصد)، سلنیوم دانه (۷۹/۸۷ درصد)، روغن دانه (۰/۸۹ درصد) و عملکرد دانه (۸/۰۱ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شد. محتوای پرولین برگ در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به‌طور معنی‌دار و معادل ۳۳/۶۹ درصد بیش‌تر از سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ بود. بیش‌ترین محتوی روغن و عملکرد دانه در ژنوتیپ SW۱۰۲ به ترتیب با میانگین ۴۳/۷ درصد و ۲۰۶۰/۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده نشان داد که کشت ژنوتیپ‌های SW۱۰۲ و Elvis تحت شرایط محلول‌پاشی سلنیوم باعث ایجاد مطلوب‌ترین محتوی روغن و عملکرد دانه می‌گردد که قابل توصیه برای منطقه مورد آزمایش می-باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات و عملکرد دانه.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

مقدمه

از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به‌صورت واردات تأمین می‌شود، بنابراین تولید دانه‌های روغنی در سال‌های اخیر در اولویت قرار گرفته است (مرادی‌اقدم و همکاران، ۱۳۹۷؛ Cashin *et al*., 2014). گیاه کلزا با دارا بودن ۴۰ الی ۴۴ درصد روغن یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی خوراکی محسوب شده و پس از سویا و نخل روغنی، سومین گیاه روغنی یک ساله جهان است (Enjalbert *et al*., 2013). کلزا بر خلاف بیش‌تر گیاهان روغنی، در فصل پاییز قابل کشت بوده و از عملکرد بالایی برخوردار است (مرادی‌اقدم و همکاران، ۱۳۹۷). سلنیوم (Se) یک عنصر کمیاب و ضروری است که اثرات وسیعی بر سلامت انسان و صفات فیزیولوژیکی گیاهان دارد (Rayman, 2017). گرچه ضرورت سلنیوم برای گیاهان عالی هنوز به اثبات نرسیده است، با این وجود، به‌دلیل نقش سودمندی که در بسیاری از گونه‌های گیاهی ایفا نموده است، مورد توجه متخصصان زیست‌شناسی و کشاورزی است (El-Ramady *et al*., 2015). مطالعات نشان داده است که سلنیوم در افزایش رشد و عملکرد گیاهان از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی نقش دارد (Ahmad *et al*., 2016). پژوهشگران بیان داشتند که سلنیوم به‌طور قابل‌توجهی محتوی کلروفیل را بالا می‌برد و این افزایش در محتوی کلروفیل می‌تواند در طی افزایش محتوای کاروتنویید باشد، زیرا کاروتنوییدها کلروفیل را از تخریب اکسیداسیون نوری حفاظت می‌کنند (خادمی‌آستانه و همکاران، ۱۳۹۳). یوسفی‌راد و شریفی (۱۳۹۸) گزارش کردند که محلول‌پاشی سلنیوم منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد از طریق بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله فعالیت‌های آنتی-اکسیدانی و محتوی پرولین در گیاه گلرنگ شد. نتایج مشابهی در آزمایش دادنیا (۱۳۹۱) بر روی گیاه آفتابگردان روغنی نیز گزارش شده است. کلزا جزء گیاهان تجمع دهنده سلنیوم است (White *et al*., 2004). Wang و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که استفاده از کودهای سلنیوم، منجر به تجمع بیشتر سلنیوم در دانه کلزا می‌شود. آن‌ها همچنین نشان دادند که محلول‌پاشی سلنیوم نسبت به کاربرد خاکی ارجحیت داشته و باعث جذب سریع‌تر و مؤثرتر سلنیوم توسط گیاه می‌شود. پایین بودن محتوای سلنیوم در بدن با کاهش قدرت باروری در مردان، افزایش خطر ابتلا به سرطان پروستات، افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های مرتبط با تیرویید (محمودیان‌فرد و همکاران، ۱۳۹۲) و عملکرد ضعیف سیستم ایمنی بدن همراه است (Brigelius-Flohe, 2018). از این‌رو، وجود مقدار کافی از این عنصر در جیره غذایی روزانه (از طریق مصرف محصولات کشاورزی محتوای سلنیوم) منجر به افزایش سطح سلامت جامعه و کاهش هزینه‌های درمانی کشور خواهد شد. جذب و ذخیره سلنیوم توسط گیاهان به فرم شیمیایی، غلظت و به فاکتورهایی نظیر اسیدیته، شوری و محتوی کربنات کلسیم و توانایی گیاهان وابسته است (خادمی‌آستانه و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به مصرف بالای روغن در کشور، حجم بالای واردات آن و اهمیت کلزا در تامین بخشی از این نیاز، از طرف دیگر، نبود اطلاعات کافی در مورد اثر سلنیوم بر کلزا، هدف از

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

پژوهش حاضر، بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی شش ژنوتیپ کلزای پاییزه به کاربرد سلنیوم در طی دو سال زراعی می-باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی، ۵۰ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۳۱۳ متری از سطح دریا) طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. این آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به روش کرت‌های خرد شده با سه تکرار اجراء شد. محلول‌پاشی سلنیوم از منبع سلنات سدیم[1] در غلظت‌های صفر (شاهد) و ۳۰ گرم در لیتر در هکتار طی دو نوبت پیش از گلدهی (اردیبهشت ماه) در کرت‌های اصلی و شش ژنوتیپ پاییزه کلزا در کرت‌های فرعی مقایسه شدند. اطلاعات اقلیمی محل آزمایش و مشخصات ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱: اطلاعات هواشناسی منطقه آزمایشی در طی دو سال زراعی (سازمان هواشناسی ایران)

سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳		سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴	
ماه	مجموع بارش (mm)	میانگین دما (°C)	مجموع بارش (mm)	میانگین دما (°C)
مهر	۱۳/۴	۱۸/۱	۳/۵	۱۹/۴
آبان	۱۳/۷	۱۸/۲	۷۷/۴	۱۰/۵
آذر	۳۱/۶	۶/۳	۲۸/۶	۴/۶
دی	۶	۵/۲	۱۵/۶	۵/۱
بهمن	۴۷/۸	۷/۳	۸/۷	۴/۹
اسفند	۲۱/۳	۶/۷	۱۷/۸	۱۱/۸
فروردین	۴۵/۴	۱۳/۸	۷۵/۵	۱۱/۷
اردیبهشت	۲/۲	۲۰	۱۳	۱۹/۹
خرداد	۶/۶	۲۶/۴	۰	۲۴/۲
تیر	۰	۳۰/۹	۰	۲۸/۹

کاربرد کودهای اوره[2]، فسفر[3] و پتاس[4] بر اساس آزمون خاک (جدول ۳) و بر مبنای ۱۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به همراه ۲/۵ لیتر در هکتار علف‌کش ترفلان به خاک اضافه و با دو دیسک سبک عمود بر هم، با خاک مخلوط گردید

1- Na_2SeO_4
2- $(NH_2)_2CO$
3- P_2O_5
4- K_2O

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

(کودهای فسفر و پتاسیم همراه با یک سوم نیتروژن، هم‌زمان با کاشت بذر به خاک اضافه شد، و دو سوم نیتروژن باقی مانده در ابتدای مرحله گلدهی در سطح مزرعه به‌طور یکنواخت توزیع شد). سپس کرت‌های آزمایشی، به‌صورت شش خط (پشته) شش متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر آماده شدند. ابعاد هر کرت ۱/۸× ۶ متر بود. در هر سال، بذور در تاریخ ۱۰ مهر به‌صورت دو ردیف و بر روی پشته‌ها (دو طرف هر پشته) و به فاصله چهار سانتیمتر از هم و با دست کشت شدند. مقدار مصرف بذر، شش کیلوگرم در هکتار بود. بذور، قبل از کاشت غربال شدند تا از نظر اندازه یکسان باشند. به‌منظور رسیدن به تراکم بوته مناسب، در مرحله دو تا شش برگی اقدام به تنک و همچنین حذف علف‌های هرز گردید. نمونه‌برداری‌ها از چهار خط میانی انجام گرفت (دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند). بین بلوک‌ها هفت متر فاصله در نظر گرفته شد. بین کرت‌های اصلی در هر بلوک ۲/۴ متر فاصله منظور گردید. آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. نمونه‌گیری برگی به‌منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی در مرحله خورجین‌دهی انجام شد.

جدول ۲: مشخصات ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش

شماره	ژنوتیپ	نوع	منشاء
۱	Ahmadi	ژنوتیپ تجاری	ایران
۲	SW102	لاین امیدبخش	ایران
۳	Okapi	ژنوتیپ تجاری	فرانسه
۴	GKH2624	ژنوتیپ تجاری	مجارستان
۵	GK-Gabriella	ژنوتیپ تجاری	مجارستان
۶	Elvis	هیبرید	فرانسه

جدول ۳: مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

نیتروژن کل (درصد)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	رطوبت گل اشباع (درصد)	عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)	بافت خاک
۰/۰۹	۱۹۷	۱۴/۷	۰/۹۱	۷/۹	۱/۴۵	۳۶	۰-۳۰	رسی لومی
۰/۰۷	۱۵۵	۱۵/۸	۰/۹۹	۷/۲	۱/۲۴	۳۸	۳۰-۶۰	

میزان پرولین برگ به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) صورت گرفت. بر اساس این روش، ۰/۵ گرم نمونه برگ داخل هاون با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد ساییده شد. از عصاره حاصل یک میلی‌لیتر برداشته شد و در لوله آزمایش ریخته شد و سپس یک میلی‌لیتر معرف نایِن هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده شد و به مدت یک ساعت در بن‌ماری (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. بعد از اضافه کردن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، میزان جذب در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

طول موج ۵۲۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu مدل UV-1601) قرائت و محتوی پرولین بر اساس میکرومول در گرم وزن تر برگ با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

میزان کلروفیل برگ با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) تعیین شد، به این ترتیب که ابتدا ۰/۵ گرم برگ تازه در یک هاون چینی واقع در ظرف یخ و در عدم حضور نور به همراه ۰/۵ گرم کربنات منیزیم ساییده شد و به‌تدریج حدود ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه گردید. عصاره تهیه شده به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شد و به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در دقیقه) گردید تا عصاره یکنواختی به‌دست آید. سپس حدود یک میلی‌لیتر از این عصاره هموژن در سل‌های دستگاه اسپکتروفتومتر قرار داده شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و با استفاده از رابطه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی محاسبه گردید:

رابطه ۱: $Chl_{a\ (V/W)} = ۰/۰۱۲۷ \times OD_{(۶۶۳)} - ۰/۰۰۰۲۵۹ \times OD_{(۶۴۵)}$

رابطه ۲: $Chl_{b\ (V/W)} = ۰/۰۲۲۹ \times OD_{(۶۴۵)} - ۰/۰۰۰۴۶۹ \times OD_{(۶۶۳)}$

رابطه ۳: $Chl_{T\ (V/W)} = ۰/۰۲۰۲ \times OD_{(۶۴۵)} - ۰/۰۰۸۰ \times OD_{(۶۶۳)}$

رابطه ۴: $Carotenoides = ۱۰۰ \times OD_{(470)} - ۳/۲۷(mg\ Chl_a) - ۱۰۴\ (mg\ Chl_b)/۲۲۷$

در رابطه‌های بالا، Chl_a محتوای کلروفیل a، Chl_b محتوای کلروفیل b، Chl_T محتوای کلروفیل کل، بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ، OD: میزان جذب نور در طول موج‌های مربوطه، V: حجم استون ۸۰ درصد استفاده شده به میلی-لیتر، W: وزن تر نمونه برگ می‌باشند.

به‌منظور اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ، ۱ گرم ماده خشک برگ (خشک شده در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت) در ۱۵ میلی‌لیتر الکل اتیلیک داغ ۸۰ درصد حل شده و عصاره حاصل با استفاده از ۵ میلی-لیتر سولفات روی ۵ درصد و ۴/۷ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ۰/۳ نرمال صاف گردید. پس از اضافه کردن ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به ۲ میلی‌لیتر از نمونه‌های صاف شده، میزان جذب محلول به‌وسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۵ نانومتر اندازه‌گیری و غلظت کربوهیدرات با توجه به منحنی استاندارد گلوکز تعیین گردید. برای ارزیابی میزان سلنیوم دانه، ابتدا ۲۰ عدد دانه از هر تیمار برداشت و در داخل آون (دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد) به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. در مرحله بعد دانه‌ها در کلریدیک اسید ۶ نرمال حل شده و میزان سلنیوم دانه با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای بر اساس میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک تعیین شد (White, 2016).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، یک متر مربع از هر کرت آزمایشی برداشت و عملکرد دانه در واحد سطح محاسبه گردید. به منظور تعیین میزان روغن دانه، مقداری از بذور هر کرت آزمایشی به آزمایشگاه منتقل شدند و استخراج روغن توسط دستگاه NMR[1] صورت گرفت. آنالیز واریانس به‌صورت تجزیه مرکب Proc GLM در نرم‌افزار SAS نسخه 9.1.3 (2003 .SAS Institute Inc، Cary، NC، USA) انجام گرفت. در تجزیه واریانس، اثر ناشی از عامل سال تصادفی در نظر گرفته شد. مقایسات میانگین در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

پرولین برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ناشی از عوامل سال، محلول‌پاشی سلنیوم و ژنوتیپ بر محتوای پرولین برگ معنی‌دار بود (جدول ۴). برهمکنش‌ها اثر معنی‌دار بر صفت ذکر شده نداشت ($P\leq ۰/۰۵$). مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی نشان داد که محتوای پرولین برگ در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ به‌طور معنی‌دار و معادل ۳۳/۶۹ درصد بیش‌تر از سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ بود (جدول ۵). با توجه به اطلاعات هواشناسی (جدول ۲)، به‌نظر می‌رسد دلیل این مشاهده، مجموع بارش کم‌تر و در عین حال، متوسط درجه حرارت بالاتر ثبت شده برای فصل زراعی ۹۴-۱۳۹۳ بود، که در نتیجه منجر به تجمع بیش‌تر پرولین در برگ‌ها شد. هم‌چنین، محلول‌پاشی سلنیوم باعث افزایش ۶/۶۹ درصدی محتوای پرولین برگ شد. در این مطالعه محتوای پرولین برگ هنگامی که گیاهان با محلول سلنیوم اسپری شدند، افزایش یافت. افزایش مقدار پرولین برگ تحت تأثیر سلنیوم برگ پیش از این نیز گزارش شده است (Djanaguiraman *et al*., 2005). بر اساس تحقیق Aghighi Shahverdi و همکاران (۲۰۱۷)، سلنیوم به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند و در نتیجه باعث افزایش پراکسیداسیون لیپید از طریق افزایش سطح گروه تیئول (ترکیباتی هستند که دارای یک گروه عاملی به شکل SH باشند) و گلوتاتیون (GSH) می‌شود. Yao و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که افزودن سلنیوم به محیط، منجر به افزایش محتوای پرولین در برگ‌های گندم شد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. نتایج مشابهی نیز بر روی گیاه سویا گزارش شده است (Djanaguiraman *et al*., 2005). با این حال، مکانیسم و دلایل انباشت پرولین در گیاهان عرضه شده توسط سلنیوم به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است (Hawrylak-Nowak, 2009). با وجود برخی تناقضات، تجمع پرولین آزاد از جمله تغییراتی است که برای گیاهان قرار گرفته در معرض تنش خشکی و شوری گزارش شده است (Thakur and Sharma, 2005). با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان بیان داشت که کاربرد سلنیوم، به‌دلیل افزایش معنی‌دار سطح پرولین، در افزایش مقاومت کلزا به تنش‌های خشکی و شوری موثر خواهد بود. متوسط محتوای پرولین

1- Nuclear Magnetic Resonance

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

برگ در ارقام مطالعه شده نیز به‌طور معنی‌داری متفاوت بود، به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای پرولین برگ معادل ۱۷/۵۲±۰/۸۵ میکرومول بر گرم وزن تر به ژنوتیپ GK-Gabriella تعلق داشت که از نظر آماری تفاوت معنی‌دار با محتوای پرولین برگ در ارقام GKH2624 و Okapi نداشت. هم‌چنین کم‌ترین محتوای پرولین برگ معادل ۱۵/۲۲±۰/۷۸ میکرومول بر گرم وزن تر برای ژنوتیپ SW۱۰۲ ثبت شد. Zhu و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که محتوای پرولین به‌طور قابل توجهی در ارقام نسبتاً مقاوم به تنش بیشتر از ارقام کم‌تر متحمل به تنش می‌باشد. بر این اساس می‌توان بیان داشت که در بین ارقام مطالعه شده، ژنوتیپ‌های GK-Gabriella، GKH2624 و Okapi دارای محتوای پرولین بیشتری از سایر ژنوتیپ‌های بود که نشان از تحمل بیش‌تر این ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش‌زا خواهند داد.

جدول ۴: تجزیه مرکب واریانس اثر سلنیوم بر برخی صفات ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا در طی دو سال زراعی

منبع واریانس	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		پرولین	کاروتنوئید	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای سلنیم دانه	میزان روغن	عملکرد دانه
سال	۱	۱۱۹۵**	۱۱۴۳/۲**	۰/۴۱۸**	۰/۱۶۳**	۱/۱۰۲**	۰/۰۴۹^{ns}	۸/۷۳**	۶۴۶۱۸۹/۳*
تکرار درون سال	۴	۱۵/۲۹^{ns}	۵۰/۱^{ns}	۰/۰۱۹^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۳۶۵۸۲۶/۴**
سلنیم	۱	۶۹/۸*	۴۲۵/۸*	۰/۳۷۱*	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۴۸۵**	۸۱/۰۰۹*	۸/۱۷*	۱۳۵۶۹۱۸/۵*
سال × سلنیم	۱	۰/۲۶^{ns}	۰/۵۰^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۳۳^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۱۰۹۳/۵^{ns}
خطای a	۴	۰/۱۴۳^{ns}	۳/۱۹^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۶۳۵۶۰/۶^{ns}
ژنوتیپ	۵	۴۰/۲**	۲۲۸/۲۵**	۰/۲۲۱**	۰/۰۰۵*	۰/۲۹**	۰/۰۳۶**	۴/۲۲**	۷۲۸۹۸۳/۱*
سال × ژنوتیپ	۵	۰/۳۷۶^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۵۹۹۹/۴^{ns}
سلنیم × ژنوتیپ	۵	۰/۱۵^{ns}	۱/۶۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۴**	۰/۰۰۵^{ns}	۱۱۳۰/۸^{ns}
سال × سلنیم × ژنوتیپ	۵	۰/۰۴۶^{ns}	۰/۴۶۳^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۱۳۰۵/۷^{ns}
خطای b	۱۸۴	۱۸/۲	۱۰۲/۴	۰/۱۰۱	۰/۰۰۳	۰/۱۲۶	۰/۰۳۳	۰/۱۵	۵۱۱۹۵/۱
ضریب تغییرات (٪)		۲۶/۱۷	۲۷/۱۷	۲۱/۹۵	۱۴/۵۶	۲۵/۸۷	۱۹/۶۷	۱۲/۲	۱۳/۲۸

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

کربوهیدرات محلول برگ

نتایج نشان داد که عوامل سال، محلول‌پاشی، سلنیوم و ژنوتیپ بر میزان کربوهیدرات محلول برگ اثر معنی‌دار داشتند، در حالی‌که برهم‌کنش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان کربوهیدرات محلول برگ در سال اول آزمایش ۱۳/۱۶ درصد بیشتر از سال دوم بود. از دلایل این امر، می‌توان به تفاوت شرایط اقلیمی از نظر میزان دما و بارش در دو سال زراعی اشاره کرد. در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ مجموع بارش ۱۸۸ میلی‌متر و متوسط کل

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

دما ۱۵/۲۹ درجه سانتیگراد بود، در حالی‌که در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مجموع بارش ۲۴۰/۱ میلی‌متر و متوسط کل دما ۱۴/۱ درجه سانتیگراد به‌دست آمد. این مشاهدات نشان می‌دهد که در سال دوم آزمایش، شرایط محیطی نسبت به سال دوم مطلوب‌تر بود (دمای کمتر و بارش بیش‌تر که تبخیر کمتر را در پی داشت) و از این‌رو، میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ نیز در مقایسه با سال زراعی اول، پایین‌تر بود. کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی نقش موثری دارند (آئین، ۱۳۹۱). کربوهیدرات‌های محلول نیز نظیر پرولین‌های آزاد، در افزایش سازگاری گیاه به شرایط اقلیمی نقش دارند (Sairam and Tyagi, 2004). همبستگی محاسبه شده بین محتوای پرولین و کربوهیدرات محلول برگ (۰/۹۲۱**) این موضوع را تایید می‌کند (جدول ۵). محلول‌پاشی سلنیوم باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول برگ به مقدار ۷/۲۷ درصد شد. افزایش تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ گیاهان تیمار شده با سلنیوم نشان دهنده افزایش کارایی فتوسنتز است (Turakainen *et al*., 2004).

جدول ۵: همبستگی پیرسون بین صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا طی دو سال زراعی

	محتوای پرولین	کربوهیدرات محلول	محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	کلروفیل کل	محتوای سلنیوم دانه	محتوی روغن دانه	عملکرد دانه
کربوهیدرات محلول	۰/۹۲**	۱						
محتوای کلروفیل a	-۰/۸۲**	-۰/۸۹**	۱					
محتوای کلروفیل b	-۰/۶۶**	-۰/۶۰**	۰/۶۲**	۱				
کلروفیل کل	-۰/۸۴**	-۰/۸۹**	۰/۹۹**	۰/۷۲**	۱			
محتوای سلنیم دانه	۰/۳۱*	۰/۳۵**	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۰۸	۱		
محتوی روغن دانه	-۰/۵۲**	۰/۱۲	۰/۷۵**	۰/۰۸	۰/۶۹**	۰/۳۱*	۱	
عملکرد دانه	-۰/۴۷**	۰/۱۱	۰/۷۲**	۰/۱۰	۰/۶۷**	۰/۳۵*	۰/۴۸**	۱

** و * به‌ترتیب نشان دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

تحقیقات پیشین نشان داده است که بین سلنیوم و تجمع کربوهیدرات‌های برگ در گیاه کاهو رابطه معنی‌داری وجود داشت (Pennanen *et al*., 2002). اثرات سودمند سلنیوم بر متابولیسم کربوهیدرات و رشد گیاهان اخیراً توسط محققان مختلف گزارش شده است (Manpreet *et al*., 2018). این گزارش‌ها نشان می‌دهند که سطح بالای کربوهیدرات‌های محلول نقش موثری در کاهش تنش‌های محیطی ناشی از خشک‌سالی دارد. همان‌گونه که Yao و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نموده‌اند، اثر مفید سلنیوم به‌طور عمده به افزایش کمیت و فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نسبت داده شده است. از این‌رو، با توجه به نتایج تحقیق حاضر، می‌توان بیان داشت که کاربرد سلنیوم، به دلیل افزایش معنی‌دار سطح

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

کربوهیدرات‌های محلول برگ، احتمالاً در افزایش مقاومت کلزا به تنش خشکی موثر است. با این وجود، مکانیسم افزایش کربوهیدرات‌های محلول در برگ تحت تاثیر سلنیوم هنوز به‌درستی تبین نشده است. در بین ارقام مطالعه شده، بیش‌ترین میزان کربوهیدرات محلول برگ با ۱/۸۲±۴۰/۱۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر به ژنوتیپ GK-Gabriella تعلق داشت. همچنین کمترین میزان کربوهیدرات محلول برگ به مقدار ۱/۶۳±۳۴/۶۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برای ژنوتیپ SW۱۰۲ ثبت شد (جدول ۵). این یافته نشان داد که ژنوتیپ GK-Gabriella در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، سازگاری بهتری در برابر شرایط نامساعد محیطی داشت.

رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل)

عوامل سال، محلول‌پاشی، سلنیوم و ژنوتیپ بر صفات محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل برگ اثر معنی‌دار داشتند (P≤۰/۰۵). اگرچه محتوای کلروفیل b در بین ژنوتیپ و سال‌های مختلف از نظر آماری متفاوت بود، اما به محلول‌پاشی سلنیوم پاسخ معنی‌دار نشان نداد. برهمکنش‌های محاسبه شده، اثر معنی‌دار بر محتوای کلروفیل برگ نداشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل برگ در سال دوم آزمایش به‌ترتیب ۸/۶۵، ۱۴/۶۳ و ۹/۷۲ درصد نسبت به سال اول آزمایش بیش‌تر بود. دلیل این تفاوت، شرایط مطلوب‌تر از نظر متوسط درجه حرارت ثبت شده و میزان بارش برای فصل زراعی ۹۵-۱۳۹۴ بود (جدول ۲). هم‌چنین، محلول‌پاشی سلنیوم به‌طور عمومی منجر به افزایش محتوای کلروفیل شد. افزایش کلروفیل در کلزا به دلیل جذب و تحلیل مقدار بیش‌تر گوگرد در این گیاه می‌تواند باشد (مجیدیان، ۱۳۹۳). شباهت ساختاری بین گوگرد و سلنیم باعث شده است که جذب سلنیوم و اتصال آن به ترکیبات آلی از طریق مسیرهای مربوط به گوگرد انجام گیرد و در نتیجه این گیاه، پاسخ بیشتری به سلنیوم افزوده شده به محیط رشد در مقایسه با دیگر تیره‌ها از جمله گندمیان و تیره نخود نشان دهد. خوشه‌های آهن ـ گوگرد در کلروپلاست‌ها نقش حیاتی را برای عملکرد کمپلکس سیتوکروم B/F ایفا می‌کنند (Raven *et al*., 1999). از سوی دیگر، تشکیل خوشه‌های آهن ـ گوگرد ممکن است تحت مکمل‌های سلنیوم رخ دهد که نقش مهمی در زنجیره انتقال الکترون، ظهور و خاموش شدن گونه‌های اکسیژن واکنشی و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان تحت تاثیر دارد (Feng *et al*., 2013). با این وجود که افزودن سطوح مناسب سلنیوم می‌تواند محتوای کلروفیل را افزایش دهد اما سطوح بالاتر سلنیوم اثرات استرس‌زایی داشته و منجربه از دست دادن محتوای کلروفیل شده است (Chen *et al*., 2005). منابع مختلف افزایش محتوای کلروفیل برگ تحت تاثیر سلنیوم را تایید کرده است. اخیراً، مطابق با نتایج این مطالعه، Mozafariyan و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که محتوای کلروفیل برگ‌های گوجه‌فرنگی[1] که به‌صورت هیدروپونیک کشت شده و با محلول هفت

1- *Lycopersicum esculentum* L.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

و ۱۰ میکرومولار سلنیوم تغذیه شدند، افزایش یافت، در حالی که Feng و همکاران (۲۰۱۳) معتقدند که تحت شرایط تنش، افزودن سلنیوم باعث تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن واکنشی در گیاهان می‌شود. در بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده، بیش‌ترین محتوای کلروفیل a برگ با ۱/۰۸±۰/۰۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر به ژنوتیپ SW۱۰۲ تعلق داشت که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با محتوای کلروفیل a برگ در ژنوتیپ Elvis نشان نداد. همچنین کم‌ترین محتوای کلروفیل a برگ برای ژنوتیپ GK-Gabriella ثبت شد (۰/۹۱±۰/۰۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر). بیش‌ترین محتوای کلروفیل b برگ به ژنوتیپ‌های SW۱۰۲، Elvis و Ahmadi تعلق داشت، در حالی که کم‌ترین محتوای کلروفیل b برگ در ژنوتیپ-های Okapi، GK-Gabriella و GKH۲۶۲۴ مشاهده شد. هم‌چنین، بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل برگ با ۱/۴۷±۰/۰۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر به ژنوتیپ SW۱۰۲ تعلق داشت که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با محتوای کلروفیل کل برگ در ژنوتیپ Elvis نشان نداد. کمترین محتوای کلروفیل کل برگ برای ژنوتیپ GK-Gabriella ثبت شد (۱/۲۷±۰/۰۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) (جدول ۶).

سلنیوم دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی ناشی از محلول‌پاشی سلنیوم، ژنوتیپ و بر هم‌کنش آن‌ها بر محتوای سلنیوم دانه معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۵). با این وجود، اثر سایر برهمکنش‌های محاسبه شده از نظر آماری بر این صفت معنی‌دار نبودند (جدول ۴). مقایسه میانگین صفت محتوای سلنیوم دانه تحت اثر عوامل اصلی نشان داد که اگرچه محتوای سلنیوم دانه در سال دوم آزمایش در حدود ۳/۳۰ درصد نسبت به سال اول آزمایش کمتر بود، با این وجود اختلاف یاد شده از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۶). بیش‌ترین محتوای سلنیوم دانه با ۰/۹۶±۰/۱۱ میکروگرم در گرم وزن دانه به ژنوتیپ SW۱۰۲ تعلق داشت که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با محتوای سلنیوم دانه در ژنوتیپ‌های Elvis و GK-Gabriella نشان نداد. هم‌چنین کم‌ترین محتوای سلنیوم دانه برای ژنوتیپ‌های GKH۲۶۲۴ و Ahmadi ثبت شد (جدول ۶). شکل ۱ مقایسه میانگین محتوای سلنیوم دانه تحت اثر بر هم‌کنش محلول‌پاشی سلنیوم در ژنوتیپ را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار این صفت برای ژنوتیپ‌های SW102، Okapi، GK-Gabriella و Elvis تحت تیمار محلول‌پاشی سلنیوم ثبت شد در حالی‌که بدون محلول‌پاشی، تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه شده کمترین مقدار را نشان دادند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم محتوای این عنصر در دانه را به‌طور چشم‌گیری افزایش داد. به‌طور کلی برای تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، محلول‌پاشی سلنیوم به‌طور متوسط باعث افزایش ۳۹۵/۳۱ درصدی محتوای سلنیوم دانه گردید (شکل ۱). از آنجا که کلزا از جمله گیاهانی است که مقادیر بالایی سلنیوم را در بافت‌ها و دانه خود تجمع می‌دهد، نتایج این تحقیق نشان داد که جذب سلنیوم از طریق محلول‌پاشی به‌خوبی صورت گرفته است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

روغن دانه

نتایج نشان داد اثر سال، محلول‌پاشی سلنیوم و ژنوتیپ بر میزان روغن دانه معنی‌دار بودند. برهمکنش‌های محاسبه شده اثر معنی‌داری بر صفت مورد بررسی نداشتند ($P\leq$۰/۰۵) (جدول ۴). به‌طور کلی میزان روغن دانه در سال دوم آزمایش به مقدار ۰/۹۲ درصد نسبت به سال اول بیشتر بود. محلول‌پاشی سلنیوم در مقایسه با عدم محلول‌پاشی، باعث افزایش صفت میزان روغن دانه به میزان ۰/۸۹ درصد گردید. بررسی متوسط میزان روغن دانه در ارقام مطالعه شده نشان داد که ژنوتیپ SW۱۰۲ با متوسط ۴۳/۷۷ درصد بیشترین میزان روغن دانه را نشان داد که از نظر آماری با میزان روغن دانه در ژنوتیپ Elvis تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین مقدار صفت مورد اشاره به ارقام GK-Gabriella، GKH۲۶۲۴ و Okapi تعلق داشت (جدول ۶). گیاهانی که سلنیوم دریافت کرده بودند به دلیل اثر مثبت سلنیوم در کاهش اثرات مؤثر آن، از جمله دارا بودن خاصیت آنتی‌اکسیدانی، گیاهان از رشد و تولید بهتری برخوردار بودند که در نتیجه درصد روغن بالاتری داشتند. این نتیجه در جدول همبستگی ساده نیز مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۶: مقایسه میانگین±انحراف استاندارد صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های پاییزه کلزا تحت اثرات ناشی از سال، محلول‌پاشی سلنیوم و ژنوتیپ

عامل	سطوح عامل	پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)	کربوهیدرات محلول برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	سلنیم دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)	روغن دانه (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
سال زراعی	سال ۱	۱۸/۶^{a}	۳۹/۵^{a}	۰/۹۵^{b}	۰/۳۵^{b}	۱/۳^{b}	۰/۹۴^{a}	۴۳/۱۸^{b}	۱۷۲۵/۰۹^{b}
	سال ۲	۱۳/۹^{b}	۳۴/۹^{b}	۱/۰۴^{a}	۰/۴۱^{a}	۱/۴۴^{a}	۰/۹۱^{a}	۴۳/۵۸^{a}	۲۰۷۱/۰۳^{a}
محلول‌پاشی سلنیوم	شاهد	۱۵/۷^{b}	۳۵/۸^{b}	۰/۹۵^{b}	۰/۳۷^{a}	۱/۳۲^{b}	۰/۳۱^{b}	۴۳/۱۸^{b}	۱۸۱۸/۷۸^{b}
	محلول‌پاشی	۱۶/۹^{a}	۳۸/۶^{a}	۱/۰۴^{a}	۰/۳۸^{a}	۱/۴۲^{a}	۱/۵۴^{a}	۴۳/۵۷^{a}	۱۹۷۷/۳۵^{a}
ژنوتیپ	Ahmadi	۱۵/۶۲^{b}	۳۵/۴^{c}	۱/۰۴^{b}	۰/۳۹^{a}	۱/۴۳^{b}	۰/۸۹^{c}	۴۳/۵۷^{b}	۱۹۷۰/۰۶^{b}
	SW۱۰۲	۱۵/۲۲^{c}	۳۴/۶^{e}	۱/۰۸^{a}	۰/۳۹^{a}	۱/۴۷^{a}	۰/۹۶^{a}	۴۳/۷۷^{a}	۲۰۶۰/۶۷^{a}
	Okapi	۱۷/۱۶^{a}	۳۹/۱^{b}	۰/۹۳^{c}	۰/۳۷^{bc}	۱/۳^{c}	۰/۹۳^{b}	۴۳/۱۲^{c}	۱۷۸۶/۳۹^{c}
	GKH۲۶۲۴	۱۷/۱۷^{a}	۳۹/۲^{b}	۰/۹۳^{c}	۰/۳۷^{bc}	۱/۳^{c}	۰/۸۸^{c}	۴۳/۱۱^{c}	۱۷۸۹/۴۴^{c}
	GK-Gabriella	۱۷/۵۲^{a}	۴۰/۱^{a}	۰/۹۱^{d}	۰/۳۶^{c}	۱/۲۷^{d}	۰/۹۴^{ab}	۴۲/۹۹^{c}	۱۷۴۰/۳۹^{d}
	Elvis	۱۵/۳^{bc}	۳۴/۸^{d}	۱/۰۷^{a}	۰/۳۹^{a}	۱/۴۶^{a}	۰/۹۴^{ab}	۴۳/۷۱^{ab}	۲۰۴۱/۲۲^{a}

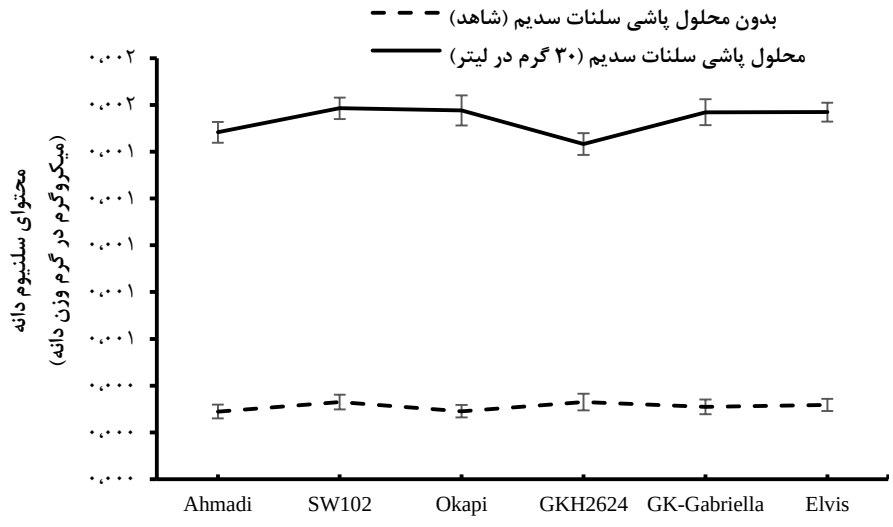
حروف غیر یکسان نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

عملکرد دانه

اثرات عوامل سال، محلول‌پاشی سلنیوم و ژنوتیپ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر عوامل اصلی نشان داد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در سال دوم آزمایش (۴۷۲۰/۷۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سال اول (۳۹۶۴/۱۱ کیلوگرم در هکتار) به مقدار ۱۶/۰۳ درصد افزایش داشته است. محلول‌پاشی سلنیوم در مقایسه با عدم محلول-پاشی، باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۷/۲۷ درصد شد. بررسی متوسط عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های مطالعه شده نشان داد که ژنوتیپ SW۱۰۲ با متوسط ۴۶۷۴/۵ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را نشان داد، در حالی‌که کمترین مقدار صفت مورد اشاره به ژنوتیپ GK-Gabriella با ۴۰۰۹/۵ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (جدول ۶). بررسی نتایج همبستگی ساده بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل، محتوی سلنیوم و محتوای روغن دانه همبستگی مثبت و با محتوای پرولین همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۵). پژوهشگران بیان داشتند که محلول‌پاشی سلنیوم احتمالاً از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی منجر به بهبود صفات عملکردی می‌گردد (Aghighi Shahverdi *et al*., 2018). شواهد این بررسی پیشنهاد می‌کند که محلول‌پاشی سلنیم، موجب افزایش عملکرد دانه در گیاه کلزا می‌شود. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم، موجب افزایش مقدار سلنیوم در دانه و در نتیجه روغن استحصال شده از آن شد (Hashem *et al*., 2013).



شکل ۱: مقایسه میانگین محتوای سلنیوم دانه تحت اثر برهمکنش محلول‌پاشی سلنیوم در ژنوتیپ به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (α=۰/۰۵)

حروف غیر یکسان نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم طی دو نوبت پیش از گل‌دهی، با بهبود صفات فیزیولوژیکی از جمله محتوای پرولین، کربوهیدرات کل و رنگیزه‌های فتوسنتزی منجر به افزایش عملکرد دانه و میزان روغن دانه شد. از طرف دیگر محلول‌پاشی این عنصر ۳۰ گرم در لیتر از منبع سلنات‌سدیم باعث افزایش میزان سلنیوم دانه شد از آنجا که سلنیوم عنصری ضروری برای دام و انسان است، غنی‌سازی فرآورده‌های گیاهی با سلنیوم می‌تواند منجر به افزایش کیفیت تغذیه‌ای محصولات کشاورزی با هدف بهبود و ارتقای تغذیه در انسان گردد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، SW۱۰۲ و Elvis دارای بیشترین محتوای روغن و عملکرد دانه در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بودند. به‌طور کلی، محلول‌پاشی سلنیوم به میزان ۳۰ گرم در لیتر در کشت ژنوتیپ‌های SW۱۰۲ و Elvis برای منطقه مورد آزمایش قابل توصیه می‌باشد.

منابع

آئین، ا. ۱۳۹۱. تغییرات میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و جذب عناصر پتاسیم، روی و کلسیم در ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت تنش خشکی، تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی. ۴: ۴۸-۳۹.

خادمی‌آستانه، ر.، طباطبایی، س.ج. و بلندنظر، ص. ۱۳۹۳. تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر عملکرد و ویژگی-های فیزیولوژیکی کلم تکمه‌ای (*Brasssica oleracea* var. Gemmifera)، نشریه علوم باغبانی. ۲۸ (۴): ۵۴۳-۵۳۵.

دادنیا، م. ر. ۱۳۹۱. بررسی اثر تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سلنیوم بر فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ارقام آفتابگردان روغنی، فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۴ (۴): ۸۱-۷۱.

محمودیان‌فرد، س.، وفا، م.، گل‌گیری، ف.، خوش‌نیت نیکو، م.، گوهری، م. و جلالی، م. ۱۳۹۲. اثرات مکمل یاری روی و سلنیوم بر عملکرد تیروئیدی در زنان مبتلا به کم‌کاری تیروئید دارای اضافه وزن یا چاقی. مجله علوم پزشکی رازی. ۲۰: ۹۸-۸۶.

مجیدیان، م. ۱۳۹۳. تأثیر روی، بر و گوگرد بر میزان روغن دانه، عملکرد و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کلزا. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۱ (۳): ۱۵۲-۱۳۵.

مرادی‌اقدم، ا.، سیف‌زاده، س.، شیرانی‌راد، ا.، ولدآبادی، س.ع. و ذاکرین، ح.ر. ۱۳۹۷. اثر قطع آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ارقام کلزا تحت تاریخ‌های مختلف کاشت. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۳۸ (۱۰): ۷۶-۵۹.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

یوسفی‌راد، م. و شریفی، م. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی اسید سالسیلیک و سلنیوم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و زراعی گلرنگ در شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴۱ (۱۱): ۴۶-۲۹.

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H. and Tabatabaei, S. J. 2017. Effect of nutri-priming on germination indices and physiological characteristics of stevia seedling under salinity stress. Journal of Seed Science 39(4): 1-10.

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H. and Tabatabaei, S.J. 2018. Plant growth and steviol glycosides as affected by foliar application of selenium, boron, and iron under NaCl stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni. Industerial and Crop Productions 125: 408-415.

Ahmad, R., Waraich, E. A., Nawaz, F., Ashraf, M. Y. and Khalid, M. 2016. Selenium (Se) improves drought tolerance in crop plants–a myth or fact? Journal of the Science of Food and Agriculture 96: 372-380.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

Bates, L., Waldren, R. and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Brigelius-Flohe, R. 2018. Selenium in human health and disease: An overview. in "Selenium" (B. Michalke, ed.), pp. 3-26. Springer International Publishing, Cham.

Cashin, P., Mohaddes, K., Raissi, M. and Raissi, M. 2014. The differential effects of oil demand and supply shocks on the global economy. Energy Economics 44: 113-134.

Chen, T. F., Zheng, W. J., Luo, Y., Yang, F., Bai, Y. and Tu, F. 2005. Effects of selenium stress on photosynthetic pigment contents and growth of *Chlorella vulgaris*. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology 31: 369-373.

Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A. and Bangarusamy, U. 2005. Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil 272: 77–86.

El-Ramady, H., Abdalla, N., Alshaal, T., El-Henawy, A., Faizy, S. E. D. A., Shams, M. S., Shalaby, T., Bayoumi, Y., Elhawat, N., Shehata, S., Sztrik, A., Prokisch, J., Fari, M., Pilon-Smits, E. A. and Domokos-Szabolcsy, E. 2015. Selenium and its role in higher plants. *In* "Pollutants in Buildings, Water and Living Organisms" (E. Lichtfouse, J. Schwarzbauer and D. Robert, eds.), pp. 235-296. Springer International Publishing, Cham.

Enjalbert, J. N., Zheng, S., Johnson, J. J., Mullen, J. L., Byrne, P. F. and McKay, J.K. 2013. Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress. Industrial Crops and Products 47: 176–185.

Feng, R., Wei, C. and Tu, S. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. Environmental and Experimental Botany 87: 58-68.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

Hashem, H. A., Hassanein, R. A., Bekheta, M. A. and El-Kady, F. A. 2013. Protective role of selenium in canola (*Brassica napus* l.) plant subjected to salt stress. Egyptian Journal of Experimental Biology 9 (2): 199-211.

Hawrylak-Nowak, B. 2009. Beneficial Effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. Biological Trace Element Research 132: 259–269.

Manpreet, K., Sucheta, S. and Dhanwinder, S. 2018. Influence of selenium on carbohydrate accumulation in developing wheat grains. Communications in Soil Science and Plant Analysis 49: 1650-1659.

Mozafariyan, M., Pessarakli, M. and Saghafi, K. 2017. Effects of selenium on some morphological and physiological traits of tomato plants grown under hydroponic condition. Journal of Plant Nutrition 40: 139-144.

Pennanen, A., Xue, T. and Hartikainen, H. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. Journal of Applied Botany 76: 66-76.

Raven, J. A., Evans, M. C. and Korb, R. E. 1999. The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O_2-evolving organisms. Photosynthethesis Research 60: 111-150.

Rayman, M. 2017. P6 - Selenium Intake And Status In Health & Disease. Free Radical Biology and Medicine 112: 5.

Sairam, R.K. and Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Current Science 86: 407- 421.

Thakur, M. and Sharma, A. D. 2005. Salt-stress-induced proline accumulation in germinating embryos: evidence suggesting a role of proline in seed germination. Journal of Arid Environments 62: 517–523.

Turakainen, M., Hartikainen, H. and Seppanen, M. M. 2004. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 5378-5382.

Wang, Q., Yu, Y., Li, J., Wan, Y., Huang, Q., Guo, Y. and Li, H. 2017. Effects of different forms of selenium fertilizers on Se accumulation, distribution, and residual effect in winter wheat–summer maize rotation system. Journal of Agricultural and Food Chemistry 65: 1116-1123.

White, P. J., 2016. Selenium accumulation by plants. Annals of Botany 117: 217-235.

White, P., Bowen, H., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W., Spiby, R., Meacham, M., Mead, A., Harriman, M. and Trueman, L. 2004. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Experimental Botany 55: 1927-1937.

Yao, X., Chu, J. and Wang, G. 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. Biological Trace Element Research 130: 283-290.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

Zhu, J., Bie, Z. and Li, Y. 2008. Physiological and growth responses of two different salt-sensitive cucumber cultivars to NaCl stress. Soil Science and Plant Nutrition 54: 400–407.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]

Effect of sodium selenate spraying on seed selenium content and some physiological indices of rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.)

M. Hemmati[1], B. Delkhosh[2], A. H. Shirani-rad[3*] and Gh. Noor Mohammadi[4]

1) Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) Assistant of Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3) Professor of Department of Agronomy, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.
4) Professor of Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[*]Corresponding author: shiranirad96@gmail.com

This article is extracted from a Ph.D thesis.

Received date: 2019.03.12 **Accepted date: 2019.07.22**

Abstract

Selenium is a non-metallic element that improves the growth and physiological traits of plants by affecting the plant growth and the presence in antioxidant systems. For this purpose, an experiment was conducted in a randomized complete blocks design with split plot design with three replications during two cropping years 2013-94 and 2014-95 at research farm of Karaj Seed and Plant Improvement Research Institute. Foliar application of selenium (from selenate sodium source) in main plots in two levels control (no foliar application) and 30 gram per liter foliar application in two pre-flowering stages and six autumn type rapeseed genotypes in sub-plots were compared.The effect of year, foliar application and genotype on leaf proline content, soluble carbohydrate, photosynthetic pigments content, selenium content and seed oil and grain yield were significant.Selenium application increased proline (68.6 percent), carbohydrate (26.7 percent), chlorophyll a (65.8 percent), total chlorophyll (04.7 percent), grain selenium 87.79 percent), seed oil (89 .0 percent) and grain yield (01.8 percent) were compared with control treatment. In 2013- 2014 cropping year, the proline content of leaf was significantly higher and equal to 33.69 percent higher than in 2014- 2015.The highest oil content and grain yield were observed in 102SW genotype with average of 7.43 percent and 6.2060 kilogram per hectare, respectively. In general, the obtained results showed that cultivation of 102SW and Elvis genotypes under selenium foliar application conditions, resulted in optimum oil content and grain yield, which is recommended for the study area.

Keywords: Proline, Photosynthetic pigments, Carbohydrate and Grain yield.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-26]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1398.11.43.4.3]