اثر مقادیر سیلیس و کلسیم و تاریخ‌های برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.)

جبرئیل برادری باجه باج[۱]، محمد نصری*[۲]، فرشاد قوشچی[۳]، حمیدرضا توحیدی مقدم[۴] و حمیدرضا رجب لاریجانی[۵]

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) گروه زراعت، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

***نویسنده مسئول: dr.nasri@iauvaramin.ac.ir**

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۴/۰۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مقادیر سیلیس و کلسیم و تاریخ‌های برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا به‌صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای آزمایشی در منطقه آفتاب استان تهران در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل تاریخ برداشت در سه سطح یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها، دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها و زمان زرد شدن کامل خورجین‌ها، سیلیس در سه سطح صفر (شاهد)، ۳ و ۶ درصد از منبع سیلیکات سدیم و کلسیم در سه سطح ۲، ۴ و ۶ درصد از منبع سولفات کلسیم بود. نتایج نشان داد که اثر سال بر ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و آنتوسیانین معنی‌دار بود و سال دوم بیش‌ترین میزان این صفات را به خود اختصاص داد. مشاهده شد که بهترین عملکرد دانه به مقدار ۲۴۷۷/۰۲ کیلوگرم در هکتار و شاخص برداشت به میزان ۲۴/۸۳ درصد مربوط به برداشت یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها بود و با تأخیر در برداشت، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کاهش و آنتوسیانین افزایش پیدا کرد. بر اساس نتایج، محلول‌پاشی سیلیس با افزایش ۳۲/۸۱ درصدی ارتفاع بوته، ۱۱/۸ درصدی تعداد خورجین در بوته، ۳۱/۴۸ درصدی تعداد دانه در خورجین، ۱۷/۲ درصدی وزن هزار دانه، ۲۴/۳۱ درصدی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت و کاهش آنتوسیانین و نشت الکترولیت همراه بود، بیش‌ترین اثر مثبت بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد و اجزای عملکرد در محلول‌پاشی ۶ درصد سیلیس به دست آمد. با افزایش غلظت کلسیم، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت افزایش و آنتوسیانین و نشت الکترولیت کاهش پیدا کرد، حداکثر اثر مثبت در صفات مذکور در محلول‌پاشی ۶ درصد کلسیم مشاهده گردید. نتایج بیانگر آن بود که سیلیس و کلسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد اثر افزایشی روی هم داشتند و بهترین عملکرد دانه در مصرف ۶ درصد سیلیس با ۶ درصد کلسیم و برداشت یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ برداشت، کلزا، کلسیم، خورجین و سیلیس.

مقدمه

در بین دانه‌های روغنی، کلزا (*Brassica napus* L.) به دلایل متعددی از اولویت خاصی برخوردار بوده و با توجه به نیاز مبرم کشور به تولید دانه‌های روغنی و روغن‌های گیاهی، سطح زیرکشت آن در حال افزایش می‌باشد (Mcvetty and Cuncan, 2015). کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده براسیکاسه می‌باشد که هدف اصلی از کشت و کار آن در ایران و سایر نقاط جهان، تولید روغن خوراکی می‌باشد (Zhu *et al*., 2016). همچنین، گزارش شده است که از این گیاه به واسطه داشتن فیبر کم و پروتئین زیاد در برگ‌ها و ساقه‌ها، به عنوان علوفه با کیفیت در تغذیه احشام استفاده می‌شود (Zhu *et al*., 2016). این گیاه پس از سویا و نخل روغنی، سومین رده را از نظر تولید روغن گیاهی در جهان دارا می‌باشد (Vieira *et al*., 2017). با توجه به این که با نزدیک‌تر شدن دوره رشد و نمو گیاهان به زمان برداشت، کمیت و کیفیت ترکیبات زیست فعال آن‌ها به شدت تغییر می‌کند و نیز با در نظر گرفتن این که شرایط اقلیمی و جغرافیایی هر منطقه بر زمان مناسب برداشت محصول اثر به سزائی دارد، بنابراین تعیین زمان برداشت هر نوع گیاه برای یک منطقه خاص، اهمیت زیادی خواهد داشت (Zantar *et al*., 2015). عملیات برداشت بذر به ویژه زمان آن از نظر کیفیت بذر با اهمیت است و برداشت زودهنگام و دیرهنگام بذر می‌تواند موجب کاهش قوه نامیه و ریزش آن شود (پوریوسف، ۱۳۹۳). زمان برداشت محصول از مهم‌ترین و حساس‌ترین عملیات در زراعت کلزا به شمار می‌رود، برداشت زود هنگام کلزا به علت سبز بودن دانه‌ها موجب افزایش کلروفیل و اسیدهای چرب آزاد در دانه‌ها شده و عملکرد را کاهش می‌دهد. تأخیر در برداشت نیز به علت ریزش دانه‌ها باعث کاهش شدی عملکرد دانه می‌شود (سیدی و همکاران، ۱۳۹۷). مهم‌ترین عامل مرتبط با تولید محصول، تغذیه صحیح گیاهان است که نقش به سزایی در افزایش عملکرد دارد. در همین ارتباط، نقش برخی عناصر غذایی نظیر سیلیسیوم (سیلیکون) مورد توجه برخی پژوهشگران تغذیه گیاه قرار گرفته است (فانی و همکاران، ۱۳۹۸). کاربرد سیلیس به عنوان کود یک ایده نوین در کشاورزی است (Artyszak *et al*., 2016). پس از اکسیژن، سیلیسیوم فراوان‌ترین عنصر پوسته زمین است که بسته به نوع گیاه ۰/۱ تا ۱۰ درصد وزن خشک آن را تشکیل می‌دهد (Khan *et al*., 2016). آثار مفید سیلیکون برای گیاهان شامل افزایش فتوسنتز، افزایش مقاومت به بیماری‌ها و آفات، کاهش سمی بودن عناصر و مقاومت به تنش‌ها هستند (Eticha *et al*., 2017). کاربرد نانو اکسید سیلیس در آفتابگردان سبب افزایش قطر طبق، عملکرد دانه و عملکرد روغن شد (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۶). مصرف سیلیکون باعث افزایش کلروفیل، کارتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم شد (رضابیگی و بیژن‌زاده، ۱۳۹۹). کلسیم یکی از عناصر غذایی ضروری است که نقش قابل توجهی در رشد و کیفیت محصولات دارد. به عنوان یک کاتیون دو ظرفیتی برای فعالیت‌های ساختاری دیواره و غشای سلول، یک کاتیون متقابل برای آنیون‌های آلی و غیرآلی درون واکوئل و یک پیام‌رسان درون سلولی لازم است. کلسیم نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاه ایفا می‌کند.

این عنصر با اتصال به فسفولیپیدها، لایه‌های چربی را پایدار کرده و در نهایت موجب یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی می-شود (صادقی‌پور، ۱۳۹۶). کلسیم جز ساختمانی و ثابت کلیه گیاهان بوده و علاوه بر آن دارای نقش فیزیولوژیکی درگیاه نیز می‌باشد. علاوه بر آن یون کلسیم قادر است اثرهای سمی یون سدیم را بلااثر نماید. کلسیم به دلیل وجود در خاک قادر است بر قلیائیت آن اثر و متعاقب آن در رویش گیاهان اثر داشته باشد (سادات اسیلان، ۱۳۹۸). سیلیکات کلسیم موجب افزایش وزن خشک گیاه، عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد روغن و درصد روغن در کلزا شد (اسیلان، ۱۳۹۸). در آزمایش دیگری کاربرد سیلیکات کلسیم علاوه بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا و شاخص سبزینگی با افزایش عملکرد روغن نیز همراه بود (گلستانیان و همکاران، ۱۳۹۷). مصرف سیلیکات کلسیم موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کلزا و محتوای نسبی آب برگ شد (Metwally *et al*., 2018). در آزمایش دیگری مصرف کلسیم با افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و درصد پروتئین دانه در کنجد همراه بود (قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). ریزش دانه در زمان برداشت یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد محصولات زراعی در ایران است و ارائه راهکار برای تعدیل اثر آن و افزایش ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر مقادیر سیلیس و کلسیم و تاریخ‌های برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای آزمایشی در استان تهران و در منطقه بخش آفتاب در دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی اعمال شده شامل تاریخ برداشت در سه سطح یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها، دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها و زمان زرد شدن کامل، سیلیس در سه سطح صفر (شاهد)، ۳ و ۶ درصد و کلسیم در سه سطح ۲، ۴ و ۶ درصد بود. آماده‌سازی زمین در اواخر شهریورماه آغاز گردید و پس از آزمایشات خاک، کودهای لازم براساس توصیه‌های کودی برای کلزا به زمین داده شد. به‌منظور آماده‌سازی زمین، آبیاری قبل از کاشت انجام شد و پس از گاورو شدن خاک، شخم عمیق با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار صورت گرفت و به‌منظور خرد شدن کلوخه‌ها، تسطیح و یکنواخت شدن خاک مزرعه، ماله و دیسک زده شد. هر کرت شامل سه پشته (فارو)، فاصله فاروها ۶۰ سانتی‌متر و بر روی هر پشته دو ردیف کاشت و فاصله بوته‌ها روی ردیف کاشت پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بنابراین هر کرت شش ردیف کاشت داشته و فاصله بین دو کرت، یک ردیف کاشت یعنی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین هر تکرار سه متر در نظر گرفته شد. کشت به روش جوی و پشته صورت گرفت. محلول‌پاشی یکبار در روزت و یکبار بعد از پر شدن خورجین‌ها صورت پذیرفت (میر و همکاران، ۱۴۰۰). در این تحقیق از بذور کلزا رقم اُکاپی که از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج بخش دانه‌های روغنی تهیه گردیده بود استفاده شد. بذور تهیه شده

(رقم اکاپی) از مؤسسه تحقیقات نهال و بذر کرج در عمق دو سانتی‌متری خاک با دست کشت شد و در مرحله چهار تا شش برگی به‌منظور تراکم مورد نیاز، تنک انجام پذیرفت. سه کود زیر بر اساس آزمون خاک به همراه ۲/۵ لیتر در هکتار علف کش ترفلان به‌سطح خاک اضافه و با استفاده از دیسک سطحی با خاک مخلوط شدند؛ نیتروژن به مقدار ۱۶۱ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) در سه نوبت شامل ۴۶ کیلوگرم در مرحله ۴-۲ برگی، ۶۹ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۴۶ کیلوگرم در مرحله غنچه‌دهی، پتاسیم به‌مقدار ۷۸ کیلوگرم در هکتار (از منبع سولفات پتاسیم) در مرحله آماده‌سازی زمین، فسفر به مقدار ۶۹ کیلوگرم در هکتار (از منبع کود سوپرفسفات‌تریپل) در مرحله آماده‌سازی زمین. بلافاصله پس از کاشت آبیاری صورت گرفت. همچنین از علف‌کش بوتیزان استار چند روز پس از کشت و قبل از سبز شدن کلزا جهت مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ استفاده شد. آبیاری در تمام مراحل رشد گیاه مطابق با روش معمول منطقه (هر ۷ روز یکبار آبیاری) صورت گرفت. به‌منظور مبارزه با آفت شته مومی سم متاسیتوکس به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار به کار برده شد. در زمان رسیدگی، برای تعیین صفات مورد نظر از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه با حذف دو خط کناری هر کرت و یک متر از طرفین هر خطر کشت برداشت از مساحتی حدود سه مترمربع صورت گرفت. برای محاسبه شاخص برداشت از رابطه ۱ استفاده گردید (اسیلان، ۱۳۹۸):

رابطه ۱: $HI=(EY/BY)\times100$

که در آن HI: شاخص برداشت، EY: عملکرد اقتصادی و BY: عملکرد بیولوژیک است. برای سنجش آنتوسیانین، مقدار ۰/۲ گرم از برگ را برداشته و در سه میلی‌لیتر متانول اسیدی که شامل متانول و کلریدریک‌اسید به نسبت ۹۹ به یک است به‌طور کامل ساییده شد، سپس عصاره حاصل سانتریفیوژ شده و محلول رویی به‌مدت یک شب در تاریکی قرار گرفت. میزان جذب در ۵۵۰ نانومتر خوانده شد (Krizek *et al*., 1993). برای سنجش میزان نشت الکترولیتی غشای پلاسمایی، ۰/۲ گرم وزن تر برگ از هر تکرار را به دقت شسته و بعد در ظروف شیشه‌ای درپوش‌دار محتوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار داده شد. این ظروف به مدت سه ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار گرفتند. پس از سه ساعت هدایت الکتریکی آن‌ها با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد. سپس شیشه‌های محتوی نمونه برگی را به مدت دو دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و برای بار دوم EC آن‌ها پس از سرد شدن اندازه‌گیری گردید. درصد هدایت الکتریکی بیانگر میزان نشت الکترولیتی مواد از غشاء می‌باشد که مطابق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد. EC_1 و EC_2 هدایت الکتریکی محلول‌ها به ترتیب قبل و بعد از جوشیدن بوده است (Dionisio-Sese and Tobita, 1998).

رابطه ۲: $\%EC=(EC_1/EC_2)*100$

در پایان آزمایش، ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov- Smirnov) با

استفاده از نرم‌افزار SPSS (V 26) مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌فزار (V 9.4) SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

آنتوسیانین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس که اثر سیلیس و کلسیم در سطح احتمال یک درصد و اثر تاریخ برداشت و اثر متقابل سیلیس با کلسیم در سطح احتمال پنج درصد بر آنتوسیانین معنی‌دار شد (جدول ۱). آنتوسیانین در سال دوم به میزان ۴/۴۸ درصد بیشتر از سال اول بود (جدول ۲). با تأخیر در برداشت آنتوسیانین افزایش پیدا کرد، بیش‌ترین آنتوسیانین به میزان ۰/۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر در برداشت در دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها و کم‌ترین آنتوسیانین به میزان ۰/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر در برداشت یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها مشاهده شد که بیانگر افزایش ۴/۲۹ درصدی آنتوسیانین بود. تیمار زرد شدن کامل خورجین‌ها با دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها در یک گروه آماری قرار داشت، افزایش آنتوسیانین احتمالاً مربوط به تغییر فعالیت‌های متابولیکی به سمت بیوسنتز آنتوسیانین است (شکل ۱). همانطور که از نتایج آنتوسیانین در واکنش به سیلیس و کلسیم نمایان است، سیلیس و کلسیم باعث کاهش آنتوسیانین نسبت به شاهد شدند و اثر کاهشی روی هم داشتند، به طوری که کم‌ترین آنتوسیانین به مقدار ۰/۳۷ و ۰/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر از مصرف ۶ درصد سیلیس با ۴ و ۶ درصد کلسیم حاصل گردید (جدول ۳). مطالعه حاضر نشان داد که مقدار آنتوسیانین به دلیل استفاده از سیلیسیوم و کلسیم کاهش یافته است. با توجه به اینکه در شرایط نامساعد، گیاه مقدار آنتوسیانین را افزایش می‌دهد تا از صدمه به دستگاه فتوسنتز جلوگیری کند، به‌نظر می‌رسد که پس از استفاده از کلسیم و سیلیسیوم، شرایط گیاهان بهبود می‌یابد و بنابراین محتوای آنتوسیانین آن‌ها کاهش می‌یابد (Liu *et al.*, 2018).

شکل ۱: مقایسه میانگین آنتوسیانین تحت تأثیر تاریخ برداشت

نشت الکترولیت

نتایج تجزیه واریانس جدول ۱ نشان داد که سیلیس و کلسیم و اثر برهم‌کنش سیلیس با کلسیم در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر نشت الکترولیت داشت. همانطور که از نتایج نشت الکترولیت در واکنش به سیلیس و کلسیم مشخص است، سیلیس و کلسیم باعث کاهش نشت الکترولیت شدند و اثر کاهش روی هم داشتند، بیش‌ترین نشت الکترولیت به میزان ۷۸/۷ و ۷۶/۹۱ درصد در تیمار شاهد و ۲ درصد کلسیم در عدم مصرف سیلیس و کم‌ترین نشت الکترولیت به مقدار ۲۶/۳۶ و ۲۴/۰۹ درصد از مصرف ۶ درصد سیلیس با ۴ و ۶ درصد کلسیم حاصل گردید (جدول ۳). کلسیم در استحکام دیواره یاخته‌ای نقش دارد و از این طریق موجب کاهش نشت یونی می‌شود. کلسیم در سلول موجب استحکام دیواره سلولی و تنظیم تراوایی غشای سلولی و افزایش ثبات غشای سلولی می‌گردد (Nazari Deljou *et al*., 2012). یون‌های کلسیم نقش اساسی در حفظ ساختار غشای سلولی و ثبات و پایداری دیواره سلولی دارند. این عنصر با تقویت اتصال بین مولکولی به ترکیبات پکتینی موجود در تیغه میانی ثبات می‌بخشد (Hernandez- Munoz *et al*., 2008). کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود که نتیجه آن کاهش تخریب غشاء سلول و افزایش پایداری آن و کاهش نشت الکترولیتی و افزایش تحمل گیاه به اثرات منفی ناشی از شرایط نامطلوب و افزایش رشد می‌شود (Ahmad *et al*., 2011).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۱ نشان داد که اثرهای اصلی سال، سیلیس و کلسیم اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت (P<۰/۰۱). در اثرهای برهم‌کنش دو عامل سیلیس با کلسیم در سطح احتمال پنج درصد و در اثرهای برهم‌کنش سه عامل سال، تاریخ برداشت و کلسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار مشاهده شد. مشاهده شد که ارتفاع بوته در سال دوم به میزان ۱۱/۹۹ درصد بیش‌تر از سال اول بود (جدول ۲). کاربرد سیلیس و کلسیم باعث افزایش ارتفاع بوته شدند و اثر افزایشی روی هم داشتند، به‌طوری که حداکثر ارتفاع بوته به میزان ۱۳۲/۰۱ و ۱۳۲/۷۹ سانتی‌متر به‌ترتیب در کاربرد ۴ و ۶ درصد کلسیم همراه با ۶ درصد سیلیس به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ارتفاع بوته در واکنش به تاریخ برداشت و کلسیم در دو سال زراعی بیانگر آن بود که در سال دوم ارتفاع بوته نسبت به سال اول بیش‌تر بود و بیش‌ترین ارتفاع بوته به میزان ۱۳۵/۲۷ سانتی‌متر از کاربرد ۶ درصد کلسیم و برداشت در مرحله زرد شدن کامل خورجین‌ها در سال دوم حاصل گردید (جدول ۴). کلسیم در اتصال پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های تشکیل‌دهنده دیواره سلولی نقش دارد (Marschner, 2012). کلسیم به‌عنوان پیام‌رسان ثانویه در گیاهان، به محرک‌های محیطی و هورمون‌ها واکنش نشان می‌دهد، این عنصر به فعالیت هورمون اکسین کمک کرده و سبب تقسیم یاخته‌ای و افزایش طول یاخته‌ها می‌شود که این امر می‌تواند علت افزایش ارتفاع بوته باشد، همچنین این عنصر در متابولیسم نیتروژن و انتقال و تأمین کربوهیدرات برای سلول‌های گیاهی دخالت دارد

(مصطفوی‌راد و همکاران، ۱۳۹۸). کلسیم در فرایند شل شدن میکروفیبریل‌های سلولزی دیواره سلولی تحت تأثیر هورمون اکسین و افزایش ورود پروتون به دیواره سلولی و اسیدی شدن دیواره سلولی مؤثر است و موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Marschner, 2012). پژوهشگران اظهار کرده‌اند که افزایش عملکرد گیاهان زراعی تحت کاربرد سیلیس احتمالاً به کاهش تبخیر و تعرق و به انسداد نسبی جریان بای‌پس (برگشتی) تبخیر و تعرق توسط یون سیلیس مربوط باشد که در نهایت باعث افزایش مقادیر آب قابل استفاده گیاه، فتوسنتز و فرآیند تولید در گیاه می‌گردد (Dolatabadian *et al*., 2013). گیاه سیلیکون جذب شده را روی سطح برگ قرار می‌دهد و بدین وسیله تعرق کوتیکولی را کاهش می‌دهد و کاهش تعرق اثر زیادی را روی مرحله طویل شدن گیاه می‌گذارد (Ahmad *et al*., 2016).

تعداد خورجین در بوته

اثر سال، سیلیس و کلسیم در سطح احتمال یک درصد و اثرهای برهم‌کنش دو عامل سال با سیلیس، سال با کلسیم، سیلیس با کلسیم و اثر برهم‌کنش سه عامل سال با تاریخ برداشت و کلسیم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار شد (جدول ۱). تعداد خورجین در بوته در سال دوم به میزان ۵/۷۷ درصد بیش‌تر از سال اول بود (جدول ۲). تعداد خورجین در بوته در سال دوم بیش‌تر از سال اول در تیمارهای مختلف کلسیم بود، بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته به مقدار ۱۰۹/۴۴ خورجین از کاربرد ۶ درصد کلسیم در سال دوم به‌دست آمد (جدول ۶). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تعداد خورجین در بوته در واکنش به سیلیس و کلسیم، کاربرد سیلیس و کلسیم اثر افزایشی روی هم داشتند، حداکثر تعداد خورجین در بوته به میزان ۱۱۵/۲۲ خورجین در کاربرد ۶ درصد کلسیم همراه با شش درصد سیلیس به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تعداد خورجین در بوته در واکنش به تاریخ برداشت و کلسیم در دو سال زراعی بیانگر آن بود که بیش-ترین تعداد خورجین در بوته به میزان ۱۰۸/۷۸ و ۱۱۲/۷۸ خورجین از کاربرد چهار و شش درصد کلسیم در برداشت در یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها در سال اول و ۱۱۲/۷۸ و ۱۱۱/۴۴ خورجین از کاربرد چهار و شش درصد کلسیم در برداشت در مرحله زرد شدن کامل در سال دوم حاصل گردید (جدول ۴). از نتایج مقایسه میانگین تعداد خورجین در بوته در واکنش به سال و سیلیس مشخص بود که تعداد خورجین در بوته در سال دوم بیشتر از سال اول در تیمارهای مختلف سیلیس بود، همچنین بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته به مقدار ۱۱۰/۷۴ خورجین از مصرف شش درصد سیلیس در سال دوم حاصل شد (جدول ۵). اثر مثبت کلسیم بر فراهمی و جذب عناصر غذایی می‌تواند تعداد و سطح برگ بوته را افزایش داده که این امر منجر به دریافت بیشتر نور برای فتوسنتز می‌شود و تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین افزایش پیدا می‌کند. کلسیم به‌عنوان یک منبع غذایی کلسیم، جذب بهتر سایر عناصر غذایی را تسهیل می‌کند چرا که عناصر غذایی می-توانند بر جذب یکدیگر تأثیر گذاشته و کاربرد مقادیر مناسب عناصر غذایی می‌تواند به تغذیه بهتر گیاه منجر شود (Der *et*

al., 2015). سیلیسیوم و ترکیبات حاوی سیلیسیوم از طریق تحریک سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان، جذب بیشتر مواد غذایی مورد نیاز گیاهان و بی‌حرکت شدن یون‌های فلزی سمی در محیط‌های رشد سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود (Maghsoudi *et al*., 2016).

تعداد دانه در خورجین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، سیلیس و کلسیم در سطح احتمال یک درصد و اثرهای برهم‌کنش دو عامل سال با تاریخ برداشت، سال با سیلیس، سال با کلسیم، تاریخ برداشت با سیلیس، سیلیس با کلسیم در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در خورجین داشت (جدول ۱). تعداد دانه در خورجین در سال دوم به میزان ۷/۱۹ درصد بیش‌تر از سال اول بود (جدول ۲). اطلاعات به‌دست آمده از مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجین در واکنش به سال و تاریخ برداشت حاکی از آن بود که در سال اول بین تاریخ‌های برداشت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، در سال دوم نیز بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین به مقدار ۲۷/۴۸ دانه در برداشت در دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها مشاهده شد (شکل ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجین در واکنش به سیلیس و کلسیم، کاربرد سیلیس و کلسیم اثر افزایشی روی هم داشتند، حداکثر تعداد دانه در خورجین به میزان ۴/۶۱ گرم در کاربرد ۶ درصد کلسیم همراه با ۶ درصد سیلیس به‌دست آمد (جدول ۳). همانطور که از نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجین در واکنش به سال و سیلیس مشخص بود، تعداد دانه در خورجین در سال دوم بیش‌تر از سال اول در تیمارهای مختلف سیلیس بود، همچنین بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین به مقدار ۳۰/۵۲ دانه از مصرف ۶ درصد سیلیس در سال دوم حاصل شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجین در واکنش به سال و کلسیم نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین به مقدار ۲۷/۷۴ و ۲۸/۷۸ دانه از کاربرد ۶ درصد کلسیم در سال اول و دوم به دست آمد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجین تحت تأثیر تاریخ برداشت و سیلیس نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خورجین به میزان ۲۸/۸۹ دانه در کاربرد ۶ درصد سیلیس در برداشت یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها، ۲۸/۸۹ دانه در کاربرد ۶ درصد سیلیس در برداشت دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها و ۲۹/۴۴ دانه در کاربرد ۶ درصد سیلیس در برداشت در زرد شدن کامل حاصل شد (جدول ۷). تأخیر در زمان برداشت به‌دلیل خشکیدگی بیش از حد بوته، خورجین‌ها در واکنش به شرایط نامساعد اواخر فصل به‌ویژه بادهای گرم و خشک از بوته جدا شده و یا در اثر ضربه‌های ناشی از عوامل فیزیکی دیواره پوششی خورجین باز شده و تمامی دانه‌های داخل خورجین‌ها ریزش یافته و عامل اصلی در کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین و نهایتاً کاهش عملکرد دانه است (Haile and Shirtliffe, 2017). چنین به‌نظر می‌رسد کاربرد کلسیم از طریق بهبود فرآیند فتوسنتزی گیاه، تولید کربوهیدرات و پر شدن دانه‌ها و تعداد خورجین، عملکرد و اجزای عملکرد را بهبود می‌بخشد (Der *et al*., 2015). سیلیس

نفوذپذیری غشاء پلاسمایی را کاهش داده و همچنین پراکسید شدن غشاءپلاسمایی و سلامت آن را در شرایط تنش حفظ می-کند و در نتیجه رشد گیاه و افزایش تعداد دانه را بهبود می‌دهد (Greger and Landberg, 2019).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثرهای اصلی تاریخ برداشت، سیلیس و کلسیم در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه داشت. همچنین اثرهای برهم‌کنش دو عامل تاریخ برداشت با سیلیس، تاریخ برداشت با کلسیم، سیلیس با کلسیم و اثر برهم‌کنش سه عامل تاریخ برداشت، سیلیس و کلسیم در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۱). همانطور که از نتایج مقایسه میانگین وزن هزار دانه در واکنش به سیلیس و کلسیم نمایان است، سیلیس و کلسیم اثر افزایشی روی هم داشتند، به طوری که بیش‌ترین وزن هزار دانه به مقدار ۴/۶۱ گرم از مصرف ۶ درصد سیلیس با ۶ درصد کلسیم حاصل گردید (جدول ۵). کاربرد سیلیس در مراحل مختلف برداشت موجب افزایش وزن هزار دانه شد، بالاترین وزن هزار دانه به مقدار ۴/۳۳ و ۴/۴ گرم از کاربرد ۶ درصد سیلیس در برداشت یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها و دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها به دست آمد (جدول ۷). افزایش غلظت کلسیم در برداشت در یک هفته پس از شروع زرد شدن کامل خورجین‌ها و دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها اثر معنی‌داری نداشت، اما در برداشت در زرد شدن کامل خورجین‌ها سطوح ۴ و ۶ درصد کلسیم باعث افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار ۲ درصد کلسیم شد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین وزن هزار دانه در واکنش به تاریخ برداشت، سیلیس و کلسیم نشان داد که کم-ترین وزن هزار دانه به مقدار ۱/۰۷ گرم مربوط به مصرف ۶ درصد سیلیس با ۲ درصد کلسیم در برداشت در زرد شدن کامل بود، سایر تیمارها در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۸). علت کم‌تر بودن وزن هزار دانه در برداشت دیرهنگام را نسبت به برداشت زودتر از دست دادن رطوبت و خشک شدن بذر می‌باشد (ربیعی و همکاران، ۱۳۹۳). کلسیم با تقویت دیواره یاخته‌ای و افزایش سوخت و ساز (متابولیسم) یاخته‌ای شده و در نهایت باعث افزایش وزن هزار دانه شده است (Der *et al*., 2015). به‌نظر می‌رسد سیلیس در پوسته دانه انباشته شده است و با افزایش ضخامت پوسته سبب افزایش وزن هزار دانه گردیده است (Bukhari *et al*., 2015).

علت کم‌تر بودن وزن هزار دانه در برداشت دیرهنگام را نسبت به برداشت زودتر از دست دادن رطوبت و خشک شدن بذر می‌باشد (ربیعی و همکاران، ۱۳۹۳). کلسیم با تقویت دیواره یاخته‌ای و افزایش سوخت و ساز (متابولیسم) یاخته‌ای شده و در نهایت باعث افزایش وزن هزار دانه شده است (Der *et al*., 2015). به‌نظر می‌رسد سیلیس در پوسته دانه انباشته شده است و با افزایش ضخامت پوسته سبب افزایش وزن هزار دانه گردیده است (Bukhari *et al*., 2015).

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس مرکب بررسی اثر سطوح عناصر سیلیس و کلسیم در تاریخ‌های برداشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		آنتوسیانین	نشت الکترولیت	ارتفاع بوته	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت
سال (a)	۱	۰/۰۳**	۱۰/۶ ns	۶۰۱۶/۱۹**	۱۳۲۸/۹۹**	۱۲۹/۷۸*	۰/۰۳ ns	۱۹۸۶۲/۲۴ ns	۱۳۵۸/۷۷ ns	**۳/۰۱ ns**
سال*بلوک	۴	۰/۰۰۹	۵۹/۲۱	۱۴۳/۶۳	۵۷۳/۷۹	۱۰۹/۷۳	۰/۴۳	۱۴۳۹۲۱/۱۶	۶۴۴۲۲۵/۹۴	**۱۱/۲۵**
تاریخ برداشت (b)	۲	۰/۰۱*	۴/۱۸ ns	۷۹/۳۹ns	۱۱۴/۱۳ns	۴/۳۴ns	۲/۲۵**	۲۲۰۲۶۲۴/۱**	۱۷۷۳۶۹۸۱/۰۳**	**۴۲/۱۸****
a*b	۲	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۴ ns	۱۸/۴۲ns	۳۰۶/۲۳ns	۱۶/۰۱*	۰/۰۰۰۱ns	۳۲۵۴/۴۸ ns	۴۱۷۲۵۴/۲۴ ns	**۲/۴۲ ns**
خطا (a)	۸	۰/۰۰۲	۱۴/۱۱	۷۴/۵۲	۹۷/۳۱	۷/۸۲	۰/۰۴	۱۰۵۵۰۰/۵	۳۷۹۰۶۹۱/۷۳	**۱۸/۴۴**
سیلیس (c)	۲	۳/۸۱**	۲۸۷۶۸/۳۷**	۱۲۸۹۲/۲**	۱۷۹۳/۱۳**	۶۶۲/۰۸**	۵/۲۴**	۳۴۷۹۱۰۸/۸**	۵۲۹۸۳۱۰/۳۶**	**۶۱۷/۴۵****
کلسیم (d)	۲	۰/۵۱**	۱۸۸۷/۴۴**	۶۰۹۲/۷۲**	۳۹۰۶**	۴۱۵/۶۷**	۵/۶۳**	۲۷۰۹۲۹۳/۳۸**	۵۱۷۴۳۷۴۳/۹۳**	**۱۲/۰۴ ns**
a*c	۲	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۹ ns	۱/۹۹ns	۶/۶*	۲۲/۴۵*	۰/۰۰۰۱ns	۶۴۴۱۲/۴۸*	۸۸۰۹۶/۶۴ ns	**۶/۰۴ ns**
a*d	۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۴۵/۶۹ns	۲۱۸/۹۹*	۲۲/۹۷*	۰/۰۰۰۲ns	۶۰۶۳۳/۲۵*	۳۵۷۵۰/۶۹ ns	**۴/۱۷ ns**
b*c	۴	۰/۰۰۲ ns	۰/۳۸ ns	۲۰/۰۶ns	۲۰/۴۳ns	۱۲/۶۳*	۲/۰۴**	۵۷۱۱/۱۴ns	۹۸۱۳۰۲/۱۶ ns	**۳/۳۵ ns**
b*d	۴	۰/۰۰۱ ns	۰/۱۹ ns	۲۰۵/۹۳ns	۱۷/۵۲ns	۱/۳۹ns	۱/۹**	۲۴۷۹۴/۸۲ ns	۴۴۱۳۷۳/۵۵ ns	**۰/۴۷ ns**
c*d	۴	۰/۰۳*	۱۳۱/۱۷**	۲۰۸/۱۲*	۲۴۲/۲۷*	۱۶/۳۲*	۳/۴۹**	۱۱۴۶۵۱/۴۳**	۲۲۴۷۲۰۰/۳۲*	**۹/۰۳ ns**
a*b*c	۴	۰/۰۰۰۲ ns	۰/۱۴ ns	۲/۹۲ns	۸۷/۸۴ns	۱/۳۷ns	۰/۰۰۰۳ns	۱۴۷۰۷/۹۵ ns	۶۴۴۵۲۵/۲۵ ns	**۴/۹ ns**
a*b*d	۴	۰/۰۰۱ ns	۰/۱۲ ns	۴۴۵/۲۹**	۱۸۲/۹*	۴/۵۵ns	۰/۰۰۰۳ns	۱۷۳۷۰/۴۲ ns	۱۳۴۴۴۲۷/۱۵ ns	**۵/۸۱ ns**
a*c*d	۴	۰/۰۰۴ ns	۰/۲۲ ns	۶/۹۳ns	۶/۷۹ns	۲/۲۵ns	۰/۰۰۱ns	۵۱۵۰۹/۴۶*	۲۱۴۳۴۵۸/۹۱*	**۸/۸۸ns**
b*c*d	۸	۰/۰۰۱ ns	۰/۳۳ ns	۳۳/۳۳ns	۶۴/۵۸ns	۳/۴۲ns	۲/۰۳**	۶۳۲۰۸/۸۹**	۳۴۲۶۶۵/۱۸ns	**۴/۶۶ ns**
a*b*c*d	۸	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۹ ns	۵۸/۲۷ns	۴۷/۱۶ns	۲/۱۱ns	۰/۰۰۰۳ns	۱۷۴۰۳/۲۱ ns	۳۸۴۲۷۸/۴۷ns	**۳/۹۴ ns**
خطا	۹۶	۰/۰۰۴	۳۱/۳۱	۸۱/۹۵	۶۹/۰۵	۵/۰۷	۰/۲۸	۱۸۹۳۵/۵۹	۸۴۲۲۳/۶	**۵/۴۱**
ضریب تغییرات (٪)	–	**۹/۲۱**	**۱۱/۱۷**	**۸/۳۵**	**۸/۱۴**	**۸/۷۳**	**۱۴**	**۶/۰۶**	**۹/۵۳**	**۹/۷۷**

ns، * و** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۲: مقایسه میانگین‌های اثر سال بر آنتوسیانین و اجزای عملکرد کلزا

سال	آنتوسیانین (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین
اول	۰/۶۷b	۱۰۲/۳۴b	۹۹/۲۵b	**۲۴/۹۱b**
دوم	۰/۷a	۱۱۴/۵۳a	۱۰۴/۹۸a	**۲۶/۷a**

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های اثر سیلیس و کلسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

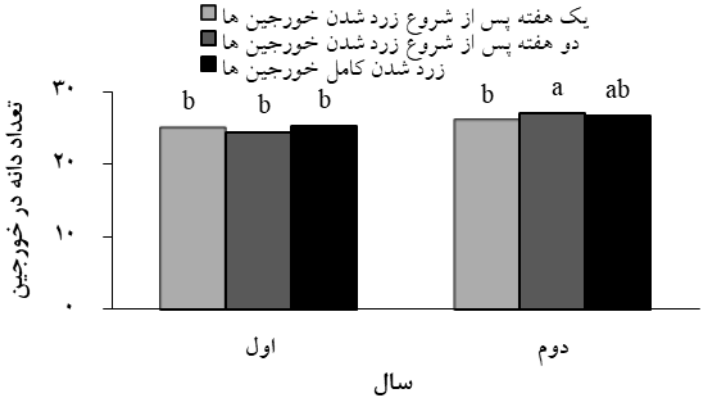
کلسیم (درصد)	سیلیس (درصد)	آنتوسیانین (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	نشت الکترولیت (درصد)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
۲	۰	۱/۰۳a	۷۸/۷a	۸۳/۵۶d	۸۷/۶۷c	۲۰/۲۲e	۳/۳۴c	۱۸۶۶/۸۸f	**۸۷۴۱/۷۵bc**
۴	۰	۰/۹۵ab	۷۶/۹۱a	۹۴/۶۶cd	۹۷/۳۹bc	۲۲/۵de	۳/۴c	۲۱۲۱/۵۶de	**۱۰۶۴۰/۶۵a**
۶	۰	۰/۸۸bc	۶۵/۹۳b	۱۰۳/۲bc	۱۰۵/۴۴ab	۲۳/۶۱de	۳/۵۵bc	۲۱۶۴/۲۶cde	**۹۸۸۱/۱۴ab**
۲	۳	۰/۸۲c	۵۳/۲۱c	۹۶/۴۹cd	۸۹/۷۲c	۲۲/۵de	۳/۸۴abc	۱۹۴۹/۴۳ef	**۸۶۴۷/۱۲bc**
۴	۳	۰/۶۸d	۵۲/۵۸c	۱۱۱/۳۳b	۱۰۹/۳۳ab	۲۷/۲۲bc	۳/۹۱abc	۲۳۴۲/۸۴c	**۱۰۲۴۱/۴۶a**
۶	۳	۰/۵۶e	۴۰/۴۹d	۱۱۲/۸۸b	۱۰۴/۶۷ab	۲۹abc	۳/۹۳abc	۲۳۵۹/۳۶c	**۱۰۷۲۳/۲a**
۲	۶	۰/۵۴e	۳۲/۷۸de	۱۰۸/۹۸bc	۹۹/۹۴bc	۲۵/۶۷cd	۳/۰۷c	۲۲۴۳/۷۷cd	**۸۱۲۴/۹۴c**
۴	۶	۰/۳۷f	۲۶/۳۶e	۱۳۲/۰۱a	۱۰۹/۶۱ab	۲۹/۳۹ab	۴/۳۸ab	۲۵۸۶/۱۶b	**۹۶۸۱/۷۷ab**
۶	۶	۰/۳۶f	۲۴/۰۹e	۱۳۲/۷۹a	۱۱۵/۲۲a	۳۲/۱۷a	۴/۶۱a	۲۸۱۸/۳۷a	**۱۰۰۳۱/۵۱ab**

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

جدول ۴: مقایسه میانگین‌های اثر سال زراعی، تاریخ برداشت و کلسیم بر ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته کلزا

سال	کلسیم (درصد)	تاریخ برداشت	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد خورجین در بوته
اول	۲	یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۸۸/۹۵e	**۸۸/۵۶cd**
اول	۴	یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۰۵/۰۱bcde	**۱۰۸/۷۸a**
اول	۶	یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۱۱/۱۱bcd	**۱۱۲/۷۸a**
اول	۲	دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۹۲/۹۱de	**۸۴d**
اول	۴	دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۰۴/۳۱bcde	**۱۰۳/۳۳abc**
اول	۶	دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۰۹/۷۵bcd	**۱۰۳/۸abc**
اول	۲	زرد شدن کامل خورجین‌ها	۹۲/۰۴de	**۸۹/۷۸bcd**
اول	۴	زرد شدن کامل خورجین‌ها	۱۰۹/۲۵bcde	**۹۶/۴۴abcd**
اول	۶	زرد شدن کامل خورجین‌ها	۱۰۷/۷۱bcde	**۱۰۵/۶۷abc**
دوم	۲	یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۹۶/۲۵de	**۹۸/۱۱abcd**
دوم	۴	یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۲۴/۵۱ab	**۱۰۴/۶۷abc**
دوم	۶	یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۱۶/۸۷abc	**۱۰۸/۵۶ab**
دوم	۲	دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۰۳/۴۹cde	**۹۷/۷۸abcd**
دوم	۴	دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۲۱/۸۹abc	**۱۰۶/۶۷abc**
دوم	۶	دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۱۱۹/۷abc	**۱۰۸/۳۳ab**
دوم	۲	زرد شدن کامل خورجین‌ها	۱۰۴/۴۴bcde	**۹۶/۴۴abcd**
دوم	۴	زرد شدن کامل خورجین‌ها	۱۱۱/۰۲bcd	**۱۱۲/۷۸a**
دوم	۶	زرد شدن کامل خورجین‌ها	۱۳۲/۵۷a	**۱۱۱/۴۴a**

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.



شکل ۲: مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجین تحت تأثیر سال و تاریخ برداشت

جدول ۵: مقایسه میانگین‌های اثر سال زراعی و سیلیس بر تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملرد دانه کلزا

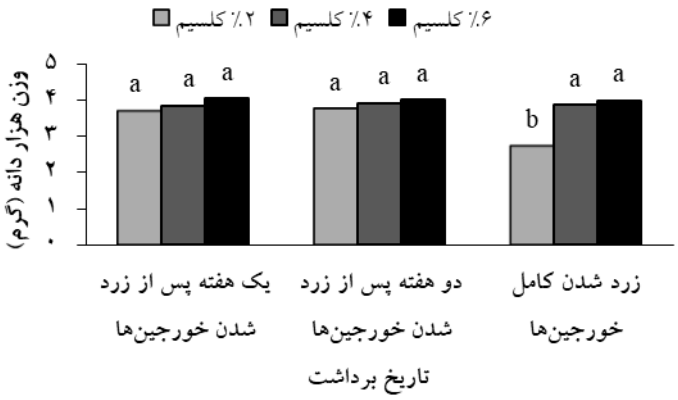
سال	سیلیس (درصد)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
اول	۰	۹۳/۸۹c	۲۱/۹۳d	**۲۰۲۲/۱c**
اول	۳	۹۸/۰۷bc	۲۵/۱۹bc	**۲۲۴۷/۹۲b**
اول	۶	۱۰۵/۷۸ab	۲۷/۶۳ab	**۲۵۸۰/۷۵a**
دوم	۰	۹۹/۷۸abc	۲۲/۳cd	**۲۰۷۹/۷۱bc**
دوم	۳	۱۰۴/۴۱abc	۲۷/۳b	**۲۱۸۶/۵bc**
دوم	۶	۱۱۰/۷۴a	۳۰/۵۲a	**۲۵۱۸/۱۲a**

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

جدول ۶: مقایسه میانگین‌های اثر سال زراعی و کلسیم بر تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه کلزا

سال	کلسیم (درصد)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
اول	۲	۸۷/۴۴c	۲۱/۱۵c	**۲۰۶۷/۳۰b**
اول	۴	۱۰۲/۸۵ab	۲۵/۸۵ab	**۲۳۳۱/۴۳a**
اول	۶	۱۰۷/۴۴ab	۲۷/۷۴a	**۲۴۵۱/۹۸a**
دوم	۲	۹۷/۴۴bc	۲۴/۴۴b	**۱۹۷۲/۷b**
دوم	۴	۱۰۸/۰۴ab	۲۶/۸۹ab	**۲۳۶۸/۹۵a**
دوم	۶	۱۰۹/۴۴a	۲۸/۷۸a	**۲۴۴۲/۶۸a**

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.



شکل ۳: مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر کلسیم و تاریخ برداشت

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی تاریخ برداشت، سیلیس و کلسیم در سطح احتمال در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. اثرهای برهم‌کنش دو عامل سال با سیلیس، سال با کلسیم، سیلیس با کلسیم و اثر برهم‌کنش سه عامل سال با سیلیس و کلسیم در سطح احتمال پنج درصد و اثر برهم‌کنش سه عامل تاریخ برداشت با سیلیس و کلسیم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). کاربرد سیلیس و کلسیم اثر افزایشی روی هم داشتند، به‌طوری که حداکثر عملکرد دانه به میزان ۲۸۱۸/۳۷ کیلوگرم در هکتار در کاربرد ۶ درصد کلسیم همراه با ۶ درصد سیلیس به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه در واکنش به سال و سیلیس، بیش-ترین عملکرد دانه به مقدار ۲۵۸۰/۷۵ و ۲۵۱۸/۱۲ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۶ درصد سیلیس در سال اول و دوم حاصل گردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه در واکنش به سال و کلسیم نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه به مقدار ۲۳۳۱/۴۳ و ۲۴۵۱/۹۸ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۲۳۶۸/۹۵ و ۲۴۴۲/۶۸ کیلوگرم در هکتار در سال دوم از کاربرد ۴ و ۶ درصد کلسیم به‌دست آمد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه در واکنش به تاریخ برداشت، سیلیس

و کلسیم بیانگر آن بود که بیش‌ترین عملکرد دانه به مقدار ۳۱۲۳/۳۴ کیلوگرم در هکتار را کاربرد ۶ درصد سیلیس با ۶ درصد کلسیم در برداشت در یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها به همراه داشت، ریزش دانه در این مراحل می‌تواند باعث کاهش عملکرد دانه شود (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه در واکنش به سیلیس و کلسیم در دو سال زراعی مشخص کرد، بیش‌ترین عملکرد دانه به میزان ۲۹۰۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به مصرف ۶ درصد سیلیس با ۶ درصد کلسیم در سال اول بود (جدول ۹). علت عمده این کاهش را می‌توان به باز شدن خورجین‌های گیاه و افزایش ریزش دانه نسبت داد (Haile and Shirtliffe, 2017). گیاهانی دارای عملکرد بالا خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید، بهترین استفاده را برده و مواد فتوسنتزی بیش‌تری را در اندام‌های خود تجمع دهند (Ghassemi-Golezani *et al*., 2011). علت کم‌تر بودن عملکرد دانه در برداشت دیرهنگام را نسبت به برداشت زودتر تلفات ریزش دانه دانستند (Eskandari, 2012). چون کلسیم تحرک کمی در گیاه دارد، حتی اگر در خاک به مقدار زیادی کلسیم وجود داشته باشد، امکان کمبود کلسیم در اندام‌هایی با تعرق پایین وجود دارد، از این رو محلول‌پاشی برگی باعث از بین رفتن این معضل شده، چون عناصر غذایی به صورت مستقیم بر روی گیاه قرار گرفته و باعث افزایش رشد و عملکرد می‌شوند. علاوه بر این کلسیم با اتصال به دیواره سلولی و افزایش استحکام مانع ریزش دانه می‌شود (Song *et al*., 2019). کلسیم انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه تسهیل می‌کند. به‌علاوه این عنصر، بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تقسیم، توسعه و تمایز سلولی، پایداری و یکپارچگی غشاء و دیواره سلولی و فعالیت برخی آنزیم‌ها را تنظیم می‌کند که تمامی این موارد در نهایت منجر به بهبود رشد و عملکرد می‌شوند (Ibrahim *et al*., 2016). افزایش عملکرد در شرایط کاربرد سیلیسیوم نشان دهنده بهبود در فرایندهای مرتبط یا انتقال مواد کانی به بذر بوده و به طور کلی افزایش جذب پتاسیم و جلوگیری از جذب سدیم با کاربرد سیلیسیوم، یکی از روش‌های کاربرد در راستای افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی است (Jo *et al*., 2018). سیلیس با سرعت بخشیدن به رشد رویشی، افزایش تولید ماده خشک، کاهش تعرق، باعث افزایش کمیت دانه و در نهایت عملکرد می‌شود (Greger and Landberg, 2019).

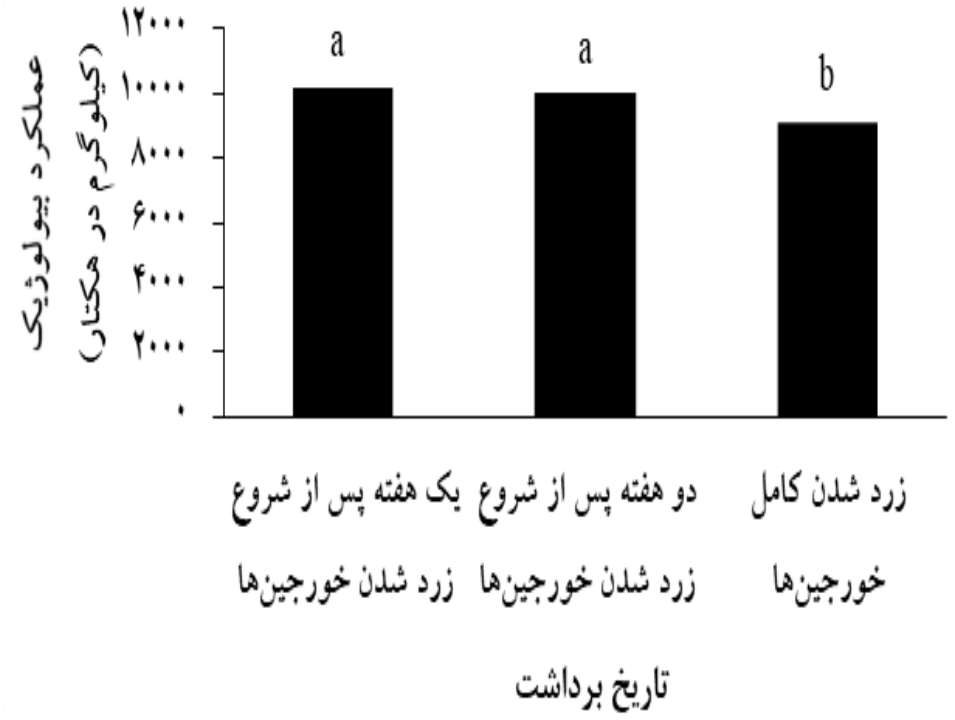
جدول ۷: مقایسه میانگین‌های اثر تاریخ برداشت و سیلیس بر تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه کلزا

تاریخ برداشت	سیلیس (درصد)	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۲۰/۹۴c	**۳/۴۳b**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۲۶/۶۱ab	**۳/۸۹ab**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۲۸/۸۹a	**۴/۳۳a**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۲۳/۲۸bc	**۳/۴۵b**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۲۵/۷۸ab	**۳/۸۹ab**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۲۸/۸۹a	**۴/۴a**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۰	۲۲/۱۱c	**۳/۴b**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۳	۲۶/۳۳ab	**۳/۹ab**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۶	۲۹/۴۴a	**۳/۳۴b**

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس مبین آن بود که اثر تاریخ برداشت، سیلیس و کلسیم در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش دو عامل سیلیس با کلسیم و اثر برهم‌کنش سه عامل سال با سیلیس و کلسیم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک در واکنش به تاریخ برداشت بیانگر آن بود که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک به مقدار ۱۰۰۶۰/۵۳ و ۹۸۶۰/۷۹ کیلوگرم در هکتار در برداشت یک هفته و دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها و کم‌ترین عملکرد بیولوژیک به مقدار ۸۹۸۳/۱۸ کیلوگرم در هکتار در برداشت در زرد شدن کامل خورجین‌ها حاصل شد، احتمالاً کاهش رطوبت گیاه و کاهش وزن بوته و همچنین ریزش دانه باعث کاهش عملکرد بیولوژیک شده است (شکل ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک در واکنش به سیلیس و کلسیم، کاربرد سیلیس و کلسیم افزایش عملکرد بیولوژیک را به همراه داشت، حداکثر عملکرد بیولوژیک به‌میزان ۱۰۶۴۰/۶۵ کیلوگرم در هکتار در کاربرد ۴ درصد کلسیم در عدم حضور سیلیس و ۱۰۲۴۱/۴۶ و ۱۰۷۲۳/۲ کیلوگرم در هکتار از ۴ و ۶ درصد کلسیم همراه با ۳ درصد سیلیس به دست آمد (جدول ۳). همانطور که نتایج مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک در واکنش به سیلیس و کلسیم در دو سال زراعی مشخص کرد، بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک به میزان ۱۱۰۲۴/۹۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به مصرف ۶ درصد کلسیم در عدم حضور سیلیس در سال اول بود (جدول ۹). کاربرد کلسیم ممکن است غلظت کلسیم را در مناطق رشد افزایش داده و تا حد زیادی سرعت رشد برگ را افزایش می‌دهد (Ibrahim *et al*., 2016). عنصر کلسیم در ساخت پروتئین‌های میتوکندری دخیل است. میتوکندری در تنفس هوازی و انتقال فعال شمار زیادی از عنصرها نقش دارد (عظیمی گندمانی و همکاران، ۱۳۹۶). می‌توان نتیجه گرفت که بین جذب عنصرها و کلسیم ارتباط مثبتی وجود دارد. کلسیم با جلوگیری از تجزیه کلروفیل و پروتئین‌ها می‌تواند باعث افزایش رشد و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک شود (Song *et al*., 2019). احتمال دخیل بودن کلسیم در انتقال کربوهیدرات نیز علت دیگری در افزایش عملکرد بیولوژیک در این مطالعه شده است. سیلیس با کاهش تعرق گیاه و یا رسوب در زیر سلول‌های اپیدرم برگ و ساقه باعث کاهش اتلاف آب از کوتیکول می‌شود. در نتیجه باعث حفظ و نگهداری آب در سلول و افزایش فشار تورژسانس می‌شود و باعث افزایش سطح سبز گیاه می‌شود. رسوب کریستال‌های سیلیکات در سلول‌های اپیدرمی مانعی را برای کاهش آب از کوتیکول‌ها ایجاد می‌کند (عظیمی گندمانی و همکاران، ۱۳۹۶). مصرف سیلیس با تحریک رشد گیاه باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود (Greger and Landberg, 2019).



شکل ۴: مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تاریخ برداشت

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی تاریخ برداشت و سیلیس در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار شد. اثر سال، کلسیم و اثرهای برهم‌کنش دو عامل، سه عامل و چهار عامل بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین شاخص برداشت در واکنش به تاریخ برداشت بیانگر آن بود که بیش‌ترین شاخص برداشت به مقدار ۲۴/۸۳ درصد در برداشت یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها به‌دست آمد و با تأخیر در برداشت از شاخص برداشت کاسته شد، به‌طوری که برداشت در دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها و زرد شدن کامل خورجین‌ها کم‌ترین شاخص برداشت به میزان ۲۳/۲۸ و ۲۳/۳۱ درصد را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۵). با کاربرد سیلیس شاخص برداشت نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد، حداکثر شاخص برداشت به‌میزان ۲۷/۶۳ درصد در تیمار ۶ درصد سیلیس و حداقل شاخص برداشت به‌میزان ۲۱/۲۱ درصد در تیمار شاهد حاصل گردید (شکل ۶). افزایش شاخص برداشت از افزایش بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک می‌باشد. این امر از یک طرف به دلیل کاهش بیشتر رشد برگ‌ها و اندام‌های رویشی و از طرف دیگر به دلیل افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به دانه نسبت داده می‌شود (سیدی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۸: مقایسه میانگین‌های اثر تاریخ برداشت، سیلیس و کلسیم بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه کلزا

تاریخ برداشت	سیلیس (درصد)	کلسیم (درصد)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۲	۳/۳۳a	**۲۰۲۱/۳۶hijk**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۴	۳/۳۹a	**۲۲۶۹/۲۳defghi**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۶	۳/۵۹a	**۲۴۳۷/۵۴bcdef**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۲	۳/۸۱a	**۲۰۸۷/۶۹efghij**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۴	۳/۸۷a	**۲۷۰۵/۸۳bc**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۶	۳/۹۹a	**۲۴۴۷/۶۷bcde**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۲	۴/۰۵a	**۲۴۲۰/۱۵bcdefg**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۴	۴/۳۵a	**۲۷۸۰/۳۳b**
یک هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۶	۴/۶a	**۳۱۲۳/۳a**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۲	۳/۳۵a	**۱۹۱۸/۲۱ijk**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۴	۳/۴۳a	**۲۱۴۷/۷efghij**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۰	۶	۳/۵۸a	**۲۱۰۵/۷۲efghij**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۲	۳/۸۵a	**۱۹۴۷/۸۳ijk**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۴	۳/۹۸a	**۲۲۸۱/۷۸defghi**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۳	۶	۳/۸۵a	**۲۳۸۸/۹۶cdefgh**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۲	۴/۱۱a	**۲۲۴۷/۴۶defghi**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۴	۴/۴۲a	**۲۵۸۱/۲۵bcd**
دو هفته پس از شروع زرد شدن خورجین‌ها	۶	۶	۴/۶۶a	**۲۷۸۷/۲۱b**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۰	۲	۳/۳۳a	**۱۶۶۱/۰۸k**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۰	۴	۳/۳۸a	**۱۹۴۷/۷۶ijk**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۰	۶	۳/۴۹a	**۱۹۴۹/۵۱ijk**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۳	۲	۳/۸۵a	**۱۸۱۲/۷۷jk**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۳	۴	۳/۸۹a	**۲۰۴۰/۹۲ghij**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۳	۶	۳/۹۶a	**۲۲۴۱/۴۷defghi**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۶	۲	۱/۰۷b	**۲۰۶۳/۷۱fghij**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۶	۴	۴/۳۸a	**۲۳۹۶/۹cdefgh**
زرد شدن کامل خورجین‌ها	۶	۶	۴/۵۸a	**۲۵۴۴/۵۷bcd**

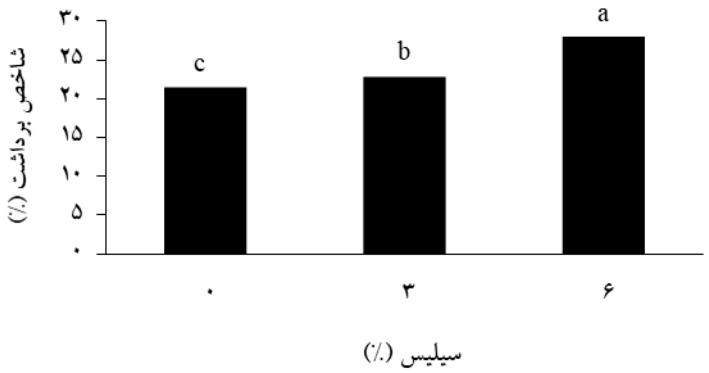
میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

جدول ۹: مقایسه میانگین‌های اثر سال زراعی، سیلیس و کلسیم بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کلزا

سال	سیلیس (درصد)	کلسیم (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
اول	۰	۲	۱۸۹۲/۳۵f	**۸۶۲۵/۳۴cdef**
اول	۰	۴	۲۰۴۵/۶۱ef	**۱۱۰۲۴/۹۸a**
اول	۰	۶	۲۱۲۸/۳۳def	**۹۶۴۸/۶۶abcdef**
اول	۳	۲	۲۰۴۷/۸۳ef	**۸۸۹۹/۰۹bcdef**
اول	۳	۴	۲۳۶۹/۵۹cd	**۱۰۱۶۲/۴abcde**
اول	۳	۶	۲۳۲۶/۳۵cde	**۱۰۶۳۴/۵۱abc**
اول	۶	۲	۲۲۶۱/۸۹de	**۸۰۶۹/۶۴f**
اول	۶	۴	۲۵۷۹/۱bc	**۹۳۲۸/۲۵abcdef**
اول	۶	۶	۲۹۰۱/۲۵a	**۱۰۲۹۴/۵۸abcd**
دوم	۰	۲	۱۸۴۱/۴۱f	**۸۸۵۸/۱۶bcdef**
دوم	۰	۴	۲۱۹۷/۵۲de	**۱۰۲۵۶/۳۱abcde**
دوم	۰	۶	۲۲۰۰/۱de	**۱۰۱۱۳/۶۲abcdef**
دوم	۳	۲	۱۸۵۱/۰۳f	**۸۳۹۵/۱۵def**
دوم	۳	۴	۲۳۱۶/۱cde	**۱۰۳۲۰/۵۱abcd**
دوم	۳	۶	۲۳۹۲/۳۷cd	**۱۰۸۱۱/۸۸ab**
دوم	۶	۲	۲۲۲۵/۶۵de	**۸۱۸۰/۲۳def**
دوم	۶	۴	۲۵۹۳/۲۲bc	**۱۰۰۳۵/۲۹abcdef**
دوم	۶	۶	۲۷۳۵/۴۹ab	**۹۷۶۸/۴۳abcdef**

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

شکل ۵: مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تأثیر تاریخ برداشت



شکل ۶: مقایسه میانگین شاخص برداشت تحت تأثیر سیلیس

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، تأخیر در برداشت موجب کاهش وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و افزایش آنتوسیانین شد و مناسب‌ترین زمان برداشت کلزا یک هفته پس از شروع زرد شدن بود پیدا کرد. با کاربرد کلسیم و سیلیس عملکرد، اجزای عملکرد افزایش و آنتوسیانی و نشت الکترولیت کاهش یافت، نتایج بیانگر آن بود که سیلیس و کلسیم در عملکرد و اجزای عملکرد اثر افزایشی بر هم داشتند و بهترین تیمار در مصرف ۶ درصد سیلیس با ۶ درصد کلسیم حاصل شد. بر اساس نتایج به دست آمده محلول‌پاشی کلسیم و سیلیسیوم با غلظت‌های مشخص شده روی کلزا و برداشت یک هفته پس از شروع زرد شدن می‌تواند عملکرد دانه را در استان تهران به میزان قابل توجهی بهبود بخشد.

منابع

اسدزاده، ن.، موسوی، س.غ. و ثقه‌الاسلامی، م.ج. ۱۳۹۶. تأثیر سطوح آبیاری و کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در آفتابگردان. پژوهش‌های کاربرد زراعی. ۳۰(۱): ۱۷-۱.

اسیلان، ک.س. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم بر مقاومت به تنش شوری در دو رقم کلزا. به‌زراعی کشاورزی. ۲۱(۴): ۳۶۶-۳۵۳.

پوریوسف، م. ۱۳۹۳. تأثیر تنش خشکی انتهای فصل و زمان برداشت بر عملکرد دانه و محتوای اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۰(۶): ۸۹۷-۸۸۹.

ربیعی، م.، اصفهانی، م.، حسینی ایمنی، س.ص. و جیلانی، م. ۱۳۹۳. تعیین بهترین زمان برداشت ارقام کلزای بهاره به عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری شمال کشور. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۵(۲): ۲۳۳-۲۲۷.

رضابیگی، س. و بیژن‌زاده، ا. ۱۳۹۹. بررسی واکنش صفات بیوشیمیایی و محتوای نسبی آب دو رقم گندم نان و ماکارونی به محلول‌پاشی سیلیکون تحت شرایط تنش آبی. به‌زراعی کشاورزی. ۲۲(۱): ۸۷-۷۳.

سیدی، س.ر.، امیرشکاری، ح.، امیدی، ح. و بیعی، م. ۱۳۹۷. اثرکاربرد اتفن و زمان برداشت بر عملکرد، ریزش و درصد روغن دانه کلزا. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰(۳۹): ۱۳۰-۱۱۳.

صادقی‌پور، ا. ۱۳۹۶. اثر کاربرد کلسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد دانه سویا در شرایط آلودگی خاک به سرب. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹(۳۵): ۱۰۴-۸۹.

عظیمی گندمانی، م.، فرجی، ه.، موحدی‌دهنوی، م. و میرشکاری، ا. ۱۳۹۶. اثر برهم‌کنش کلسیم و جاسمونیک اسید، بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد غده سه رقم سیب‌زمینی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹(۳۴): ۵۹-۳۷.

فانی، ا.، حسیبی، پ.، مسکرباشی، م.، مهدی خانلو، خ. و سید احمدی، س.ع. ۱۳۹۸. ارزیابی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱(۴۲): ۱۵-۵.

قلی‌پور، س.، رمانی، غ.ر. و جامی الاحمدی، م. ۱۳۹۹. بررسی امکان کاهش خسارت پروتئین و روغن کنجد با محلولپاش پوترسین و نیترات کلسیم تحت شرایط کمبود آب. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۲(۴۶): ۳۳-۵.

گلستانیان، ج.، شرقی، ی.، زاهدی، ح.، مدرس ثانوی، س.ع. و علوی اصل، س.ع. ۱۳۹۷. تأثیر سیلیکات کلسیم بر مقاومت به تنش شوری در چهار رقم کلزا. مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران). ۴۹(۱): ۱۸۸-۱۷۹.

مصطفوی‌راد، م.، ذاکرین، ح.ر.، نوبهار، ا.، سیف‌زاده، س. و ولدآبادی، ع. ۱۳۹۸. واکنش عملکرد و برخی از صفات فیزیولوژیک بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) به نانوکودهای کلات روی و کلسیم و روش کاربرد آن‌ها. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۱(۴۲): ۶۶-۵۳.

میر، ی.، دانشور، م. و اسماعیلی، ا. ۱۴۰۰. اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی بر فعالیت‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا تحت تنش کم آبی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳(۵۰): ۱۳۴-۱۱۹.

Ahmad, M., El-Saeid, M.H. and Akram, M.A. 2016. Silicon fertilization–a tool to boost up drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) crop for better yield. Journal of Plant Nutrition. 39: 1283–1291.

Ahmad, M., Hassen, F., Qadeer, U. and Aslam, A. 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. African Journal of Agricultural Researc. 6(3): 594-607.

Artyszak, A., Gozdowski, D. and Kucinska, K. 2015. The effect of silicon foliar fertilization in sugar beet *Beta vulgaris* L. ssp. vulgaris conv. Crassa (Alef.) prov. altissima (Döll). Turkish Journal of Field Crops. 20(1): 115-119.

Bukhari, M.A., Ashraf, M.Y. and Ahmad, R. 2015. Improving drought tolerance potential in wheat (*Triticum aestivum* L.) through exogenous silicon supply. Pakistan Journal of Botany. 47: 1641–1648

Der, H.N., Vaghasia, P.M. and Verma, H.P. 2015. Effect of foliar application of potash and micronutrients on growth and yield attributes of groundnut. Annual Agricultural Research. 36(3): 275-278.

Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S. 1998. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. Plant Science. 135: 1–9.

Dolatabadian, A., Sanavy, S.A.M.M., Gholamhoseini, M., Joghan, A.K., Majdi, M. and Kashkooli, A.B. 2013. The role of calcium in improving photosynthesis and related physiological

and biochemical attributes of spring wheat subjected to simulated acid rain. Journal Physiology Molecular Biology of Plants. 19: 189-198.

Eskandari, H. 2012. Seed quality changes in cowpea (*Vigna sinensis*) during seed development and maturation. Seed Science and Technology. 40(1): 108-112.

Eticha, D., Kwast, A., de Souza, C.T., Horowitz, N. and Stützel, H. 2017. Calcium nutrition of orange and its impact on growth, nutrient uptake and leaf cell wall. Citrus Research and Technology. 38: 62–70.

Ghassemi-Golezani, K., Tajbakhsh, Z. and Raey, Y. 2011. Seed development and quality in maize cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 39(1): 178-182.

Greger, M. and Landberg, T. 2019. Silicon reduces cadmium and arsenic levels in field-grown crops. Silicon. 11: 2371-2375

Haile, T.J. and Shirtliffe, S.J. 2017. Effect of harvest timing on dormancy induction in Canola seeds. Weed Science. 62(3): 548-554.

Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V.D., Velez, D. and Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. Food Chemistry. 110: 428-435.

Ibrahim, M.F.M., Faisal, A. and Shehata, S.A. 2016. Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. American- Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 16(4): 677-693.

Jo, E.H., Soundararajan, P., Park, Y.G. and Jeong, B.R. 2018. Effect of silicon on growth and tolerance of Torenia fournieriin vitro to NaCl Stress. Flower Research Journal. 26(2): 68-76.

Khan, W.U.D., Aziz, T., Maqsood, M.A., Sabir, M., Ahmad, H.R., Ramzani, P.M.A. and Naseem, M. 2016. Silicon: a beneficial nutrient under salt stress, its uptake mechanism and mode of action. Soil science: agricultural and environmental prospective. 287-301.

Krizek, D.T., Kramer, G.F., Upadhyaya, A. and Mirecki, R.M. 1993. UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halid and high pressure sodium/deluxe lamps. Physiology of Plant. 88:350-358.

Liu, Y., Tikunov, Y., Schouten, R.E., Marcelis, L.F., Visser, R.G. and Bovy, A. 2018. Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in Solanaceous vegetables: a review. Frontiers in Chemistry. 52(6): 1-17.

Maghsoudi, K., Emam, Y. and Ashraf, M. 2016. Foliar application of silicon at different growth stages alters growth and yield of selected wheat cultivars. Journal of Plant Nutrition. 39: 1194–1203.

Marschner, P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Academic Press. 651p.

Mcvetty, P.B.E. and Cuncan, R.W. 2015. Canola, Rapeseed, and Mustard: For Biofuels and Bioproducts. Industrial Crops-Handbook of Plant Breeding. 133-156.

Metwally, A.M., Radi, A.A., El-Shazoly, R.M. and Hamada, A.M. 2018. The role of calcium, silicon and salicylic acid treatment in protection of canola plants against boron toxicity stress. Journal of Plant Research. 131: 1015-1028.

Nazari Deljou, M.J., Pour Youssef, M., Karamian, R. and Jaberian Hamedani, H. 2012. Effect of cultivar on water relations and postharvest quality of gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus Ex. Hook f.) cut flower. World Applied Sciences Journal. 18(5):698-703.

Perez, C.E.A., Rodrigues, F.Á., Moreira, W.R. and DaMatta, F.M. 2014. Leaf gas exchange and chlorophyll a fluorescence in wheat plants supplied with silicon and infected with Pyricularia oryzae. Phytopathology. 104(2): 143-149.

Song, Q., Liu, Y., Pang, J., Yong, J.W.H., Chen, Y. and Bai, C. 2019. Supplementary calcium restores peanut (*Arachis hypogaea*) growth and photosynthetic capacity under low nocturnal temperature. Frontiers in Plant Science. 10:1637. doi: 10.3389/fpls.2019.01637

Vieira, A.D.S., Doyle, A., Aucélio, R.Q. and Rey, N.A. 2017. A study of canola degradation mediated by CuO. Journal of Environmental Chemical Engineering. 5: 3766–3772.

Zantar, S., Garrouj, D., Pagán, R., Chabi, M., Laglaoui, A., Bakkali, M. and Zerrouk, M.H. 2015. Effect of harvest time on yield, chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Thymus vulgaris* and *Mentha pulegium* essential oils. European Journal of Medicinal Plants. 8(2): 69-77.

Zhu, M., Monroe, J.G., Suhail, Y., Villiers, F., Mullen, J. and Pater, D. 2016. Molecular and systems approaches towards drought-tolerant canola crops. New Phytologist. 210(4): 1169–1189.

Effect of silica and calcium contents and harvest dates on yield and components function of canola (*Brassica napus* L.)

J. Baradari BajeBaj[1], M. Nasri*[2], F. Ghoshchi[3], H. Tohidi Moghadam[4] and H. Larijani[5]

1, 2, 3, 4 & 5) Department of Agronomy, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

*** Coresponding author:** dr.nasri@iauvaramin.ac.ir

This article is taken from a doctoral dissertation.

Received date: 2021.06.29 **Accepted date: 2021.10.19**

Abstract

In order to investigate the effect of silica and calcium content and harvest dates on yield and yield components of rapeseed as a factorial split in a randomized complete block design with three replications in experimental farms in Aftab region of Tehran province in two cropping years 2018-2019 and 2019-2020 were implemented. Experimental factors include harvest date in three levels one week after the start of yellowing of pods, two weeks after the beginning of yellowing of pods and time of complete yellowing of pods, silica in three levels of zero (control), 3 and 6% of the source was sodium and calcium silicate at three levels of 2, 4 and 6% of the source of calcium sulfate. The results showed that the effect of year on plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod and anthocyanin was significant and the second year had the highest amount of these traits. It was observed that the best grain yield of 2477.02 kg / ha and harvest index of 24.83% was related to harvest one week after the start of yellowing of pods and with delay in harvest, 1000-seed weight, grain yield, Biological yield and harvest index decreased and anthocyanins increased. According to the results, silica foliar application with 32.81% increase in plant height, 11.8% number of pods per plant, 31.48% number of seeds per pod, 17.2% weight per thousand seeds, 24.31% grain yield, Biological yield and harvest index and reduction of anthocyanin and electrolyte leakage were associated. The most positive effect on physiological characteristics and yield and yield components was obtained in 6% silica spray. With increasing calcium concentration, plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, grain yield, biological yield and harvest index decreased and anthocyanin and electrolyte leakage decreased, the maximum positive effect on these traits in foliar application 6% calcium was observed. The results showed that silica and calcium had an additive effect on yield and yield components and the best grain yield was obtained by consuming 6% silica with 6% calcium and harvesting one week after the start of yellowing of pods.

Key word: Date of harvest, Canola rapeseed, Calcium, Pods and Silica.