بررسی خصوصیات رویشی، عملکرد و کیفیت دانه کلزا تحت اثر کاربرد سیلیسیم، گوگرد و تکامین فلاور

پیمان یاری[۱]، بابک پاساری*[۲]، اسعد رخزادی[۳] و خسرو محمدی[۴]

۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.
۲، ۳ و ۴) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران.

*نویسنده مسئول: **bpasary@yahoo.com**

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۲/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶**

چکیده

به منظور بررسی خصوصیات رویشی، عملکرد و کیفیت دانه کلزا تحت اثر کاربرد سیلیسیم، گوگرد و تکامین فلاور، آزمایشی در روستای درزیان از توابع شهرستان مریوان در طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در کرت‌های اصلی محلول‌پاشی سیلیسیم در دو مقدار (صفر و دو کیلوگرم در هکتار)، در کرت‌های فرعی محلول‌پاشی گوگرد در سه مقدار (صفر، یک و دو لیتر در هکتار) و همچنین در کرت‌های فرعی-فرعی محلول‌پاشی محرک گل‌دهی تکامین فلاور در سه مقدار (صفر، یک و دو لیتر در هکتار) در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که وزن ساقه تحت تفاوت سال اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داد. کاربرد سیلیسیم تعداد ساقه جانبی، وزن غلاف، طول غلاف، وزن دانه و درصد پروتئین و محلول‌پاشی تکامین فلاور همه صفات مورد بررسی از جمله ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین، تعداد ساقه جانبی، وزن ساقه، وزن غلاف، طول غلاف، وزن دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و پروتئین را به طور معنی‌داری تحت اثر قرار داد. همچنین صفات مذکور به جزء ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی و طول غلاف تحت اثر محلول‌پاشی گوگرد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. بر اساس نتایج حاصله کاربرد سیلیسیم به‌میزان دو کیلوگرم در هکتار و همچنین گوگرد و تکامین فلاور به‌میزان دو لیتر در هکتار سبب افزایش صفات مورد مطالعه گردیدند. در این آزمایش گوگرد و تکامین فلاور عملکرد دانه را به‌ترتیب ۷/۴۲ و ۱۴/۱۲ درصد افزایش دادند. درصد پروتئین نیز تحت اثر سیلیسیم به میزان ۰/۶۶ درصد افزایش یافت. همچنین درصد روغن و پروتئین تحت اثر محلول‌پاشی دو لیتر گوگرد (۳/۳۴-۳/۳۳ درصد) و دو لیتر تکامین فلاور (۱/۳۱-۱/۲ درصد) افزایش نشان دادند. بر اساس نتایج اثرات متقابل کاربرد سیلیسیم به همراه دو لیتر در هکتار گوگرد درصد روغن را به میزان ۴/۰۳ درصد افزایش داد. درصد پروتئین نیز در سال دوم آزمایش و تحت اثر کاربرد سیلیسیم و محلول‌پاشی دو لیتر گوگرد و تکامین فلاور به میزان ۵/۲۳ درصد افزایش نشان داد. لذا با توجه به اثرات تیمارهای مورد استفاده بر میزان افزایش عملکرد و کیفیت دانه و با در نظر گرفتن هزینه‌های تهیه و محلول‌پاشی، کاربرد گوگرد و تکامین فلاور به میزان دو لیتر در هکتار در شرایط آب و هوایی مشابه و در زراعت کلزا توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: تغذیه گیاه، تکامین فلاور، سیلیسیم، کلزا و گوگرد.

مقدمه

نیاز روزافزون به تولید دانه‌های روغنی، ضرورت افزایش تولید دانه کلزا (*Brassica napus*) را که حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن بوده و با شرایط مناطق مختلف آب و هوایی کشور سازگار است، را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. تحقیقات اخیر نشان داده است که کاربرد سیلیسیم ضمن ایجاد افزایش توان مقابله گیاهان با تنش‌های مختلف سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد (Kleiber *et al*., 2020; Laîné *et al*., 2019). با وجود این که ۲۸ درصد از پوسته زمین از سیلیسیم تشکیل شده است و این عنصر به‌دنبال اکسیژن فراوان‌ترین عنصر تشکیل دهنده خاک به‌شمار می‌رود (Ma and Yamaji, 2006). منتهی سیلیسیم به شکل اسیدسیلیسیک ($Si(OH)_4$) برای گیاهان قابل جذب است که مقدار آن در اکثر خاک‌ها بسیار کم است. علاوه‌بر این قابلیت جذب اسیدسیلیسیک از خاک در گیاهان خانواده کلزا بسیار محدود است ، لذا کاربرد این عنصر به صورت محلول‌پاشی جهت افزایش عملکرد کلزا مورد تاکید محققان قرار گرفته است (سادات‌اسیلان، ۱۳۹۸؛ Sonah *et al*., 2017;Bukhari *et al*., 2020). همچنین ثابت شده است که کاربرد این عنصر سبب افزایش استحکام ساقه و کاهش درصد خوابیدگی در این گیاه می‌گردد (نصری و همکاران، ۱۳۸۷). از طرف دیگر گوگرد، بعد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم، چهارمین عنصر ضروری جهت رشد و نمو کلزا به شمار می‌رود. نیاز کلزا به گوگرد تقریبا سه برابر غلات است به طوری‌که جهت تولید هر تن دانه در این گیاه، ۱۶ کیلوگرم گوگرد مورد نیاز است (McGrath and Zhao, 1996). از آنجایی که حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از کل گوگرد موجود در خاک از مواد آلی تأمین می‌شود و نظر به این که علائم کمبود گوگرد بیش‌تر در خاک‌هایی با مواد آلی کم و دارای بافت سنگین و در سال‌های خشک و مناطقی که مقادیر بالایی نیتروژن مصرف می‌شود، ظاهر می‌گردد و این شرایط در مناطق عمده کشور غالب است، لذا می‌توان با کاربرد گوگرد، عملکرد بسیاری از گیاهان از جمله کلزا را افزایش داد (مصطفوی‌راد و همکاران، ۱۳۹۷). در سال‌های اخیر کاربرد ترکیبات محرک رشد غیرشیمیایی و دوست‌دار محیط‌زیست که حاوی عناصر ضروری، اسیدهای‌آمینه و هورمون‌های رشد می‌باشند، جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان متداول گردیده است. این ترکیبات از طریق افزایش فراهمی و قابلیت جذب عناصر غذایی موجود در خاک، سبب تسریع در رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌گردند (امینی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۹؛ Trifan *et al*., 2019). با توجه به موارد مذکور، این تحقیق به منظور بهبود خصوصیات رویشی، افزایش عملکرد و کیفیت دانه کلزا تحت اثر کاربرد سیلیسیم، گوگرد و ماده محرک گل‌دهی تکامین فلاور در منطقه مریوان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی کاربرد سیلیسیم، گوگرد، و تکامین فلاور بر خصوصیات رویشی و عملکرد دانه کلزا در طی دو سال زراعی متوالی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷در شرایط مزرعه‌ای در روستای درزیان واقع در ۱۲ کیلومتری شهرستان

مریوان با طول جغرافیایی"۵۵ ′۲۶ ۳۵ شمالی و عرض "۵۴ ′۱۲ ۴۶ شرقی و ارتفاع ۱۲۸۱ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. خصوصیات برخی از پارامترهای هواشناسی در طی دو فصل زراعی در منطقه مورد آزمایش از ایستگاه سینوپتیک مریوان به‌دست آمد (جدول ۱). این آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده (اسپلیت- اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. کرت‌های اصلی کاربرد سیلیسیم در دو مقدار (شاهد: عدم کاربرد و کاربرد سیلیسیم به میزان دو کیلوگرم در هکتار) و کرت‌های فرعی محلول‌پاشی گوگرد در سه مقدار (شاهد: آب مقطر، یک و دو لیتر در هکتار) و کرت‌های فرعی- فرعی محلول‌پاشی تکامین فلاور در سه مقدار (شاهد: آب مقطر، یک و دو لیتر در هکتار) در نظر گرفته شد.

جدول۱ : پارامترهای هواشناسی در طی دو فصل زراعی در منطقه آزمایشی حاصل از ایستگاه سینوپتیک مریوان

ماه/ پارامتر	میانگین دما درجه (سانتی‌گراد)	تبخیر (میلی‌متر)	ساعات آفتابی	میانگین رطوبت نسبی (درصد)	روزهای بارانی	میزان بارندگی (میلی‌متر)
شهریور	۲۴/۲	۳۰۶	۳۳۳/۵	۲۸	۰	۰
	(۲۲/۹)	(۲۵۸/۶)	(۳۳۱)	(۲۱/۳۲)	(۰)	(۰)
مهر	۱۵/۸	۱۹۳	۲۸۸/۵	۴۱	۰	۰
	(۱۸)	(۱۴۷)	(۲۲۵/۲)	(۳۵/۴۶)	(۷)	(۲۸/۵)
آبان	۱۳/۵	۱۰۷	۱۸۱	۶۲	۹	۸۶
	(۱۱/۲)	(۷۹)	(۱۶۵)	(۶۹)	(۱۴)	(۱۴۸/۶)
آذر	۵/۲	۰	۱۷۷/۳	۶۷	۴	۸۴
	(۶/۳)	(۱۹/۵)	(۷۲/۱)	(۹۱)	(۱۶)	(۳۴۸/۵)
دی	۵/۸	۰	۱۴۷	۶۷/۵	۸	۵۶
	(۲/۶)	(۰)	(۱۴۳)	(۸۰)	(۱۶)	(۲۵۳/۵)
بهمن	۵	۰	۱۵۳/۲	۷۱	۱۰	۲۸۹/۶
	(۴/۱)	(۰)	(۱۳۷)	(۸۳)	(۱۲)	(۲۸۹/۵)
اسفند	۹	۰	۱۷۱	۵۸/۲	۱۱	۲۰۰
	(۵/۶)	(۰)	(۱۷۲/۶)	(۷۰)	(۱۳)	(۱۷۲/۶)
فروردین	۱۲/۷۲	۶۶	۲۲۶	۵۲	۱۳	۹۷/۱
	(۹/۵)	(۴۴)	(۱۵۷/۷)	(۶۹)	(۲۳)	(۲۳۸/۵)
اردیبهشت	۱۴/۵۶	۱۳۶	۲۷۳/۷	۶۵/۳۸	۱۶	۱۷۱/۲
	(۱۴/۱)	(۱۵۰)	(۲۹۹)	(۴۹)	(۱۰)	(۸۵/۳)
خرداد	۲۱	۲۱۳	۳۱۲	۴۱	۴	۱۴/۴
	(۲۱/۵)	(۳۰۰)	(۳۷۷)	(۳۳)	(۰)	(۰)

اعداد خارج پرانتز مربوط به سال اول و اعداد داخل پرانتز مربوط به سال دوم آزمایش هستند.

عملیات تهیه بستر بذر، با انجام شخم آغاز و سپس با کمک دیسک، کلوخه‌های خاک خرد شدند و از قطعه زمین مورد نظر به‌وسیله اوگر چند نمونه خاک به‌صورت تصادفی از مناطق مختلف مزرعه به شکل حرف W از اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ برداشت و به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال گردید (جدول۲). پس از تعیین خصوصیات خاک، کود مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک در سطح زمین پخش و با استفاده از دیسک با خاک مخلوط شد. با توجه به ریز بودن بذور کلزا و حساسیت آن به عمق زیاد و وجود کلوخه، آماده‌سازی زمین و خرد نمودن کلوخه‌های خاک با دقت انجام گرفت.

در این تحقیق در هر کرت آزمایشی چهار خط کاشت به طول هشت متر، با فواصل ۳۵ سانتی‌متر بین ردیف‌های کاشت و پنج سانتی‌متر بین بوته‌ها روی هر ردیف کاشت (۵۷ بوته در متر مربع) در نظر گرفته شد. عملیات کشت کلزا (رقم بروتوس) در سال اول در ۹۶/۷/۱ و در سال دوم در۹۷/۶/۳۰ صورت گرفت. بذر گواهی شده بروتوس از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان مریوان تهیه گردید. بروتوس جزو ارقام هیبرید و دو صفر با تیپ رشد پاییزه و تولید شرکت KWS آلمان است. اولین آبیاری یک روز بعد از کشت بذور در زمین صورت گرفت و آبیاری‌های بعدی در چهار نوبت تا شروع بارندگی‌های موثر پاییزه با فواصل۱۰-۷ روزه انجام گرفت. در فصل بهار نیز بعد از اتمام بارندگی‌های بهاره تا مرحله کامل پر شدن دانه، آبیاری با فواصل منظم به روش جوی و پشته‌ای صورت گرفت.

جدول۲: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

خصوصیات خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	مواد خنثی شونده (درصد)	مواد آلی (درصد)	ازت (درصد)	پتاسیم قابل دسترس (قسمت در میلیون)	فسفر قابل دسترس (قسمت در میلیون)
عمق کاشت ۰-۳۰ سانتیمتر	۳۵	/۵۶ ۳۸	/۴۴ ۲۶	لوم رسی	۷/۹۶	۰/۳۸	۷/۵	۰/۷۲	۰/۰۷	۱۴۷	۰/۳۲
عمق کاشت ۶۰-۳۰ سانتیمتر	۳۷	/۵۶ ۳۶	/۴۴ ۲۶	لوم رسی	۷/۹۲	۰/۲	۶/۲۵	۰/۶۳	۰/۰۶	۳۸۰	۲/۹

عملیات وجین و کنترل علف‌های هرز مزرعه در فروردین ماه و قبل از به ساقه رفتن کلزا به‌صورت دستی در چند مرحله انجام گرفت. لازم به ذکر است در طی دو فصل رویشی در مزرعه آزمایشی، بیماری و آفت خاصی مشاهده نگردید.

عملیات محلول‌پاشی تیمارهای آزمایشی پس از پایان زمستان‌گذرانی و شروع فصل بهار در دو نوبت در فروردین و اوایل اردیبهشت به طور جداگانه و با فواصل ۷۲ ساعت از هم انجام شد. نوبت اول در زمان ظهور اولین گل‌ها (در مرحله ۶۰ با مقیاس BBCH) و نوبت دوم دو هفته پس از محلول‌پاشی اول (در مرحله ۶۲ با مقیاس BBCH) صورت گرفت. پودر

سیلیسیم حاوی Sio_2 ۸۰ درصد با نام تجاری (سیتام) و کود گوگردی مایع ۸۰ درصد با نام تجاری (پارومی- اس) از شرکت آریاشیمی تهیه گردید. همچنین ماده محرک رشد زایشی با نام تجاری (تکامین فلاور) از شرکت آگروتکنو کشور اسپانیا تهیه گردید. تکامین فلاور حاوی اسیدهای آمینه (سه درصد)، نیتروژن (سه درصد)، فسفر (۱۰ درصد)، بر (یک درصد) و مولیبدن (۰/۵ درصد) بود. ترکیبات مذکور بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده با آب مقطر رقیق گردید و توسط سمپاش پشتی ۲۰ لیتری در هوای آرام و ساعات خنک بعد از ظهر بر روی اندام‌های هوایی گیاه کلزا محلول‌پاشی گردید. پس از رسیدگی محصول، عملیات برداشت در تیرماه صورت گرفت و صفات ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک ساقه، وزن خشک غلاف، طول غلاف و وزن خشک دانه از طریق پنج بوته که به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب شده بود، اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین عملکرد دانه در هر کرت، پنج متر از بوته‌های واقع در ردیف‌های میانی برداشت و پس از خرمن‌کوبی وزن دانه‌های حاصله با انجام تناسب به عملکرد در هکتار تبدیل گردید. همچنین درصد روغن دانه به روش کجلدال و درصد پروتئین دانه به روش سوکسله اندازه‌گیری گردید. در نهایت پس از انجام تست بارتلت و اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی، تجزیه مرکب با فرض ثابت بودن اثر تیمارهای آزمایشی و تصادفی بودن اثر سال با نرم افزار $SAS_{9.1}$ انجام و مقایسات میانگین با روش دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج حاصله ارتفاع بوته تحت تاثیر اثر متقابل سال در سیلیسیم و اثر متقابل سال در سیلیسیم در گوگرد در سطح پنج درصد و تحت اثر تکامین فلاور در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول۳).

بر اساس نتایج اثر متقابل سال در سیلیسیم حداکثر ارتفاع بوته در تیمار کاربرد دو کیلوگرم سیلیسیم و در سال دوم حاصل گردید (۱۷۸/۶۲ سانتی‌متر) که با سال اول نیز اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول۴). به‌نظر می‌رسد افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌وسیله سیلیسیم، سبب افزایش ارتفاع بوته گردیده است (Olle, 2017; Haddad *et al*., 2018). افزایش ارتفاع بوته تحت اثر سیلیسیم توسط سایر محققان گزارش شده است (Kleiber *et al*., 2020). احتمال داده می‌شود که سیلیسیم در افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها و همچنین افزایش فشار تورژسانس و در عین حال بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه نیز نقش داشته باشد (Chen *et al*., 2018; Bukhari *et al*., 2020). از طرف دیگر به نظر می‌رسد کاربرد سیلیسیم سبب افزایش تولید آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز در برگ گردیده و از

آنجایی که این آنزیم در تثبیت دی اکسید کربن توسط گیاهان نقش مهمی دارد، باعث افزایش فتوسنتز گیاه می‌گردد (Sonobe *et al*., 2011). احتمال می‌رود محلول‌پاشی سیلیسیم میزان کلروفیل a، b و همچنین سرعت فتوسنتز را در گیاه کلزا افزایش دهد (فانی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین بر اساس نتایج اثر متقابل سال در سیلیسیم در گوگرد، حداکثر ارتفاع بوته در سال دوم آزمایش و با کاربرد دو کیلوگرم سیلیسیم و یک لیتر گوگرد به میزان ۱۷۹/۲۲ سانتی‌متر حاصل گردید. به نظر می‌رسد اثر متقابل این دو تیمار باعث بروز اثرات هم‌افزایی شده و از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی توسط گوگرد و همچنین استحکام ساقه توسط سیلیسیم این امر محقق شده باشد.

جدول۳: نتایج تجزیه مرکب خصوصیات رویشی، عملکرد و کیفیت دانه تحت اثرکاربرد سیلیسیم، گوگرد و تکامین فلاور

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	ارتفاع اولین غلاف	تعداد ساقه جانبی	وزن ساقه	وزن غلاف	وزن دانه	طول غلاف	عملکرد دانه	درصد روغن	درصد پروتئین
سال	۱	۱۶/۳۳^{ns}	۳۱/۷۴ ^{ns}	۰/۸۷ ^{ns}	۳۳/۰۶*	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۳۲۴۹۴۲/۳۷ ^{ns}	۰/۳۶۹ ^{ns}	۷/۲۵ ^{ns}
بلوک (سال)	۴	۲۰/۹۶	۲۸/۰۱	۰/۳۶	۳/۰۶	۱/۳۲	۰/۴۴	۰/۰۵	۱۸۴۸۶۶/۴۲	۱/۸۸	۳/٦٤
سیلیسیم	۱	۲۲۷۶/۹۲^{ns}	۴۱۶/۷۳ ^{ns}	۱۷/۵۲*	۱۸۳/۷۷ ^{ns}	۱۲/۷۹**	۴/۸۱ *	۰/۹۲ ^{ns}	۴۲۱۶۲۵/۰۳ ^{ns}	۱۱/۹۳ ^{ns}	۱۱/۹۷*
سال×سیلیسیم	۱	۷۱/۷*	۲۴۳/۱۵**	۰/۰۱ ^{ns}	۳/۵۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۱۴۷۱۱۲/۹۲ ^{ns}	۰/۰۸۸ ^{ns}	۰/۰۱۵۶ ^{ns}
خطای کرت‌های اصلی	۴	۴/۶	۵/۶	۰/۴۱	۱/۸۷	۱/۶۶	۰/۹۷	۰/۰۵	۲۲۴۸۶/۷	۰/۰۶۲	۳/۰۵۷
گوگرد	۲	۷۰/۰۹ ^{ns}	۴۹۹/۴۷*	۱/۱۸ ^{ns}	۷/۵۹*	۴۶/۶۹*	۱۱/۷۳**	۲/۱ ^{ns}	۹۷۷۲۱۴/۹۲**	۱۰۰/۰۶*	۱۰۰/۳۷**
سال× گوگرد	۲	۱۲/۲۸ ^{ns}	۱۹/۸۴ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۵۵ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۴۳*	۷۵۲۷/۷ ^{ns}	۲/۲۹ ^{ns}	۰/۷۳۱ ^{ns}
سیلیسیم× گوگرد	۲	۱۴/۰۱ ^{ns}	۴۴/۵۲ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	۱/۱۹ *	۰/۶۲ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۷۰۷۴۴/۰۳ ^{ns}	۱/۹۱*	۰/۳۲۷ ^{ns}
سال× سیلیسیم× گوگرد	۲	۴۱/۰۸*	۴۲/۶۲ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۴/۱*	۰/۷۸ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۱۰۲۲۶/۰۳ ^{ns}	۰/۰۹۱۱ ^{ns}	۰/۶۶۲ ^{ns}
خطای کرت‌های فرعی	۱۶	۹/۴۵	۲۰/۴۲	۰/۲۴	۱/۰۲	۰/۸	۰/۹۴	۰/۱۲	۱۳۷۰۱/۴۵	۰/۱۳۸	۰/۲۶۳
تکامین فلاور	۲	۳۹۱/۴۶**	۲۱۲/۳۱**	۱۵/۶۲**	۹۳/۲۱*	۱۴۱/۴۵**	۳۹/۵*	۵/۰۱**	۳۳۰۸۹۰۵/۲۸**	۱۵/۴۶**	۱۲/۹۵*
سال×تکامین	۲	۳/۸ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۱/۶۹*	۰/۱ ^{ns}	۰/۵۲ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۳۵۲۱^{ns}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۰/۱۸۵ ^{ns}
سیلیسیم×تکامین	۲	۱/۲۲ ^{ns}	۲/۸۳ ^{ns}	۰/۳۸*	۴/۵۲ ^{ns}	۱/۲۱ ^{ns}	۰/۷ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۶۶۵/۱۷ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۰/۰۴۷ ^{ns}
سال×سیلیسیم×تکامین	۲	۰/۶۱ ^{ns}	۰/۶۸ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۹۱ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۶۷۵/۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۷۹ ^{ns}	۰/۰۵۶ ^{ns}
گوگرد×تکامین	۴	۱/۸۱^{ns}	۹/۷۶ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۹۹ ^{ns}	۱/۲۵ ^{ns}	۰/۵۵*	۰/۱ ^{ns}	۱۶۸۲۰/۴۸ ^{ns}	۰/۱۵۹ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}
سال×گوگرد×تکامین	۴	۰/۷۲ ^{ns}	۱۳/۳۹ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۶۵۸۲/۵ ^{ns}	۰/۱۹۷۶ ^{ns}	۰/۲۱۹ ^{ns}
سیلیسیم × گوگرد × تکامین	۴	۵/۵۳^{ns}	۲/۸۱ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۱۷۲۹۵/۲۵ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۱۱۲ ^{ns}
سال×سیلیسیم×گوگرد×تکامین	۴	۵/۱۵^{ns}	۱۴/۰۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۴۸ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۱۴۴۲۲^{ns}	۰/۰۹۷۶ ^{ns}	۰/۵۲۷*
خطای کرت‌های فرعی- فرعی	۴۸	۲/۴۵	۱۱/۷۷	۰/۰۶	۰/۴۵	۰/۶۳	۰/۲۲	۰/۰۷	۱۴۴۹۸/۹۹	۰/۰۵۳۳	۰/۱۶۶۲
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۹	۳/۲۸	۳/۵۲	۳/۰۸	۲/۴	۲/۶۹	۳/۶۸	۲/۶۱	۰/۰۵۵	۱/۸۶

ns، * و **: به ترتیب: غیر معنی‌دار و معنی‌دار بودن تفاوت‌ها را در سطح پنج درصد و یک درصد نشان می‌دهند.

ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین

ارتفاع تشکیل اولین غلاف از سطح زمین تحت تاثیر اثر متقابل سال در سیلیسیم در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول۳). به طوری‌که حداکثر ارتفاع اولین غلاف در تیمار عدم کاربرد سیلیسیم و در سال دوم آزمایش حاصل گردید (۱۰۷/۴ سانتی‌متر) که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد (داده‌ها نشان داده نشده است). کاهش ارتفاع اولین غلاف تحت اثر سیلیسیم می‌تواند دال بر اثر مثبت این عنصر در تشکیل زودهنگام اولین غلاف‌ها باشد. به نظر می‌رسد تشکیل غلاف در ارتفاع نزدیک‌تر به سطح زمین، سبب تشکیل غلاف بیش‌تر در بوته و در نهایت منتج به افزایش عملکرد دانه گردد (اطلسی‌پاک و همکاران، ۱۳۸۵).

در این آزمایش حداکثر ارتفاع اولین غلاف در تیمار عدم مصرف گوگرد به‌دست آمد. به‌طوری‌که ارتفاع تشکیل اولین غلاف تحت اثر کاربرد گوگرد کاهش یافت. به نظر می‌رسد که گوگرد با کاهش اسیدیته خاک می‌تواند فراهمی و جذب عناصر غذایی موجود در خاک را جهت گیاهان افزایش دهد (Karimizarchi *et al*., 2014; Klikocka and Marks, 2018; Mondal, 2016). این امر می‌تواند سبب افزایش ارتفاع بوته و در عین حال تشکیل زودهنگام غلاف‌ها در ارتفاع پایین‌تر، تحت اثر گوگرد شده باشد.

محلول‌پاشی تکامین فلاور نیز سبب بروز اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بر روی این صفت گردید. از آنجایی که تکامین فلاور مصرفی در این آزمایش حاوی اسیدهای آمینه و عناصر نیتروژن، فسفر، بر و مولیبدن بود، افزایش رشد گیاه و تحریک به تولید غلاف در ارتفاع پایین‌تر مورد انتظار بود.

تعداد ساقه جانبی

بر اساس نتایج تعداد ساقه جانبی تحت اثر سیلیسیم در سطح پنج درصد، تکامین فلاور در سطح یک درصد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول۳). به طوری‌که حداکثر تعداد ساقه جانبی در تیمار دو کیلوگرم سیلیسیم و دو لیتر تکامین حاصل گردید. همچنین بر اساس نتایج اثر متقابل سیلیسیم × تکامین، حداکثر تعداد ساقه جانبی (۸/۱۷) در تیمار دو کیلوگرم سیلیسیم و دو لیتر تکامین حاصل گردید. احتمال می‌رود اثرات هم‌افزایی تکامین به همراه سیلیسیم از طریق تامین عناصر غذایی ضروری و افزایش میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز دلیل این امر باشد (امینی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۹؛ Haddad *et al*., 2018; Klikocka and Marks, 2018). در آزمایشی مشابه محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت شش در هزار، ارتفاع بوته را به میزان ۳۶ درصد افزایش داد و در عین حال از طریق بهبود استحکام ساقه، درصد خوابیدگی کلزا را از ۳۲ به دو درصد کاهش داد و با افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، عملکرد دانه را افزایش داد (نصری و همکاران، ۱۳۸۷). اثر مثبت محرک‌های رشد حاوی اسیدهای آمینه بر افزایش صفات رویشی توسط

امینی‌فرد و همکاران (۱۳۹۹) ثابت شده است. این محققین افزایش ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک بوته و عملکرد دانه را تحت اثر ۱۰ کیلوگرم اسید فالویک گزارش نمودند. آذرمهر و همکاران (۱۳۹۶) نیز طی تحقیقی دیگر حداکثر تعداد شاخه‌های فرعی کلزا را تحت اثر اثر متقابل سه لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی به همراه ۲/۵ لیتر در هکتار تری‌اکسیدگوگرد گزارش نمودند.

جدول۴: مقایسه میانگین خصوصیات رویشی، عملکرد و کیفیت دانه تحت اثرکاربرد سیلیسیم، گوگرد و تکامین فلاور

تیمار		ارتفاع بوته (سانتیمتر)	ارتفاع اولین غلاف (سانتیمتر)	تعداد ساقه جانبی	وزن ساقه (گرم در بوته)	وزن غلاف (گرم در بوته)	وزن دانه (گرم در بوته)	طول غلاف (سانتیمتر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	درصد روغن	درصد پروتئین
سال آزمایشی	اول	۱۷۴a	۱۰۵/۰۲ a	۷ a	۲۱/۳۴b	۳۳/۲۱a	۱۷/۵۸a	۷/۳۸a	۴۵۴۴/۲۸ a	۴۱/۸۶ a	۲۱/۵۸ a
	دوم	۱۷۳/۲۲ a	۱۰۳/۹۴ a	۷ a	۲۲/۴۵a	۳۳/۲۶a	۱۷/۴۹ a	۷/۴۱ a	۴۶۵۳/۹۸ a	۴۱/۹۷ a	۲۲/۱ a
سیلیسیم (کیلوگرم در هکتار)	۰	۱۶۹/۰۱ a	۱۰۶/۴۴a	۶ b	۲۰/۵۹ a	۳۲/۸۹ b	۱۷/۳۲ a	۷/۳ a	۴۵۳۶/۶۵ a	۴۱/۵۸ a	۲۱/۵۱ b
	۲	۱۷۸/۲a	۱۰۲/۵۲ a	۷ a	۲۳/۲ a	۳۳/۵۸a	۱۷/۷۴ a	۷/۴۹ a	۴۶۶۱/۶۱a	۴۲/۲۵ a	۲۲/۱۷ a
گوگرد (لیتر در هکتار)	۰	۱۷۲/۰۶ a	۱۰۸/۵۲ a	۶ a	۲۱/۳۹ b	۳۲/۲۶c	۱۷/۰۱c	۷/۱۴ a	۴۴۳۷/۰۶ c	۴۰/۱۸ c	۲۰/۲۲ c
	۱	۱۷۴ a	۱۰۳/۷۴ b	۶ a	۲۲/۰۱a	۳۲/۹۷ b	۱۷/۴۵ b	۷/۴۳ a	۴۵۹۳/۸۹ b	۴۲/۰۵ b	۲۱/۷۴ b
	۲	۱۷۴/۷۷ a	۱۰۱/۱۸ c	۷ a	۲۲/۲۸a	۳۴/۴۸a	۱۸/۱۴ a	۷/۶۲ a	۴۷۶۶/۴۴ a	۴۳/۱۵ a	۲۳/۵۶ a
تکامین فلاور (لیتر در هکتار)	۰	۱۷۰/۳۸c	۱۰۶/۸a	۶ c	۲۰/۵۳c	۳۱/۵۲c	۱۶/۵۹c	۷/۱c	۴۲۸۸/۱۷c	۴۱/۲۷ c	۲۱/۲۵ c
	۱	۱۷۳/۴۶b	۱۰۴/۶۹b	۷ b	۲۱/۴۸b	۳۲/۷۸b	۱۷/۳۵b	۷/۲۶b	۴۶۱۵/۳۶b	۴۱/۹ b	۲۱/۸۲ b
	۲	۱۷۶/۹۷a	۱۰۱/۹۵c	۸ a	۲۳/۶۷a	۳۵/۴a	۱۸/۶۶a	۷/۸۱a	۴۸۹۳/۸۶a	۴۲/۵۸ a	۲۲/۴۵ a

توجه: ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

وزن خشک ساقه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر افزایش معنی‌دار وزن ساقه در سال دوم آزمایش بود. بر اساس نتایج جدول هواشناسی پارامترهایی مانند میزان بارندگی، رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی در سال دوم آزمایش بیش‌تر و در عین حال میزان تبخیر و درجه حرارت کم‌تر بود، این امر ممکن است سبب بروز شرایط مطلوب و افزایش وزن خشک ساقه در سال دوم در مقایسه با سال اول شده باشد. در این آزمایش محلول‌پاشی گوگرد و اثر متقابل سیلیسیم × گوگرد نیز اثر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه نشان داد. به‌طوری‌که حداکثر وزن خشک ساقه (۲۳/۴۴ گرم) در تیمار کاربرد دو کیلو سیلیسیم و دو لیتر گوگرد حاصل گردید. با توجه به معنی‌دار شدن ارتفاع بوته تحت اثر این تیمار، بروز چنین نتیجه‌ای منطقی به نظر می‌رسد. همچنین وزن خشک ساقه تحت اثر تکامین و اثر متقابل سال × تکامین در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید به طوری که حداکثر وزن ساقه (۲۴/۳۸ گرم) در سال دوم و کاربرد دو لیتر تکامین حاصل گردید. همان‌طور که در جدول ۴

آمده است محلول‌پاشی دو لیتر تکامین فلاور، حداکثر ارتفاع بوته و تعداد ساقه جانبی را ایجاد نموده بود، لذا در اینجا افزایش وزن خشک ساقه دور از انتظار نیست.

طی تحقیقات صورت گرفته افزایش صفات رویشی و بالاخص وزن خشک ساقه تحت اثر محرک‌های رشد حاوی عصاره جلبک دریایی و اسید آمینه گزارش گردیده است (Marhoon and Abbas, 2015). Trifan و همکاران (۲۰۱۹) نیز با کاربرد محرک رشد حاوی اسیدهای آمینه و عناصر میکرو و ماکرو، مشاهده نمودند که با افزایش غلظت محرک رشد، درصد جذب عناصر و در نتیجه عملکرد در گیاهان گندم، جو، کلزا، ذرت، آفتابگردان و سویا افزایش یافت.

وزن خشک غلاف

بر اساس نتایج این آزمایش وزن خشک غلاف، تحت اثر سیلیسیم، گوگرد، تکامین و اثر متقابل سال× سیلیسیم× گوگرد معنی‌دار گردید. با توجه به اثرات مثبت تیمارهای آزمایشی بر صفات قبلی مورد بررسی وقوع چنین نتیجه‌ای قابل پیش‌بینی بود. احتمال می‌رود کاربرد سیلیسیم سبب افزایش میزان نیتروژن برگ، کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی برگ گردیده و از طریق کاهش نشانگرهای تنش اکسیداتیو مانند پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید سبب تأخیر در پیری و افزایش بیوماس گیاه کلزا گردد (Haddad *et al*., 2018). طی تحقیقی مشابه کاربرد سیلیسیم در کلزا سبب افزایش جذب نیترات، نیتروژن، فسفر و کلسیم به‌ترتیب به میزان: ۹۷، ۴۰، ۲۵ و ۳۰ درصد گردید (Olle, 2017).

بر اساس نتایج اثرات متقابل حداکثر وزن غلاف در سال اول آزمایش و کاربرد دو کیلو سیلیسیم و دو لیتر گوگرد (۳۵/۲ گرم) حاصل گردید. این در حالی است که وزن ساقه در قسمت‌های قبل و وزن غلاف در اینجا در سال دوم افزایش یافته بود. به نظر می‌رسد اثرات متقابل و مثبت کاربرد سیلیسیم و گوگرد در سال اول توانسته است از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی ضروری و انتقال آن‌ها به سمت غلاف‌ها، سبب افزایش وزن غلاف شده باشد.

در این آزمایش وزن غلاف تحت اثر محلول‌پاشی تکامین فلاور در سطح یک درصد معنی‌دار و حداکثر مقدار در تیمار دو لیتر به‌دست آمد. از آنجایی که تکامین فلاور مصرفی در این آزمایش حاوی اسیدهای آمینه، نیتروژن، فسفر، بر و مولیبدن بود، افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه قابل پیش‌بینی بود.

وزن خشک دانه

کاربرد سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک دانه در سطح پنج درصد گردید. بر اساس نتایج حاصله در قسمت‌های قبل کاربرد سیلیسیم از طریق افزایش ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی و وزن خشک اجزای بوته سبب افزایش وزن دانه گردیده است. به نظر می‌رسد که سیلیسیم باعث بهبود تبادلات گازی و هدایت روزنه‌ای گردیده و از طریق افزایش

فتوسنتز خالص و افزایش جذب عناصر میکرو و ماکرو سبب افزایش وزن خشک بوته، قطر ساقه و تعداد گل‌ها می‌گردد (Kleiber *et al.*, 2020). سادات‌اسیلان (۱۳۹۸) نیز حداکثر وزن خشک و عملکرد کلزا را تحت اثر کاربرد هشت کیلوگرم سیلیکات‌کلسیم گزارش نمود. به نظر می‌رسد افزایش عملکرد دانه تحت اثر سیلیسیم به‌دلیل اثر این عنصر در افزایش جذب نور توسط کانوپی از طریق عمودی ساختن زاویه برگ‌ها باشد (Ding *et al.*, 2007). همچنین افزایش عملکرد کلزا تحت اثر سیلیسیم به افزایش سطح برگ، وزن تر برگ، کلروفیل و سرعت فتوسنتز و در عین حال کاهش سرعت تعرق نسبت داده شده است (Bybordi, 2012). Laîné و همکاران (۲۰۱۹) اظهار نمودند که کاربرد ۱۲ کیلوگرم اسید سیلیسیک سبب افزایش جذب نیتروژن، عناصر میکرو، افزایش درصد برگ‌های سبز، کاهش درصد برگ‌های پیر و در نهایت افزایش عملکرد دانه و بیوماس کلزا گردید.

در این آزمایش محلول‌پاشی گوگرد نیز سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک دانه گردید به طوری‌که حداکثر وزن دانه در غلظت دو لیتر در هکتار حاصل گردید. با توجه به افزایش صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن ساقه و غلاف تحت اثر کاربرد گوگرد در این آزمایش، چنین نتیجه‌ای قابل پیش‌بینی بود. افزایش شاخص سطح برگ، وزن غلاف، دانه و وزن خشک بوته در گیاه کنجد به اثر گوگرد در جلوگیری از پیری برگ‌ها نسبت داده شده است (Raza *et al.*, 2018). Gajghane و همکاران (۲۰۱۵) اعلام نمودند که گوگرد سبب افزایش دسترسی به عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد می‌گردد. طی آزمایشی مشابه کاربرد گوگرد در گیاه ذرت سبب افزایش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک بوته گردید (Thirupathi *et al.*, 2016). کاربرد گوگرد در گیاه خردل نیز سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد ساقه اولیه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص گردیده است (Piri *et al.*, 2019). مشاهده گردیده است که کاربرد مقادیر مختلف گوگرد در گیاه کنجد سبب افزایش جذب عناصر فسفر، پتاسیم و گوگرد گردیده و با افزایش میزان کلروفیل برگ، وزن خشک گیاه و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Mondal, 2016). کاربرد گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس از طریق کاهش اسیدیته خاک، سبب افزایش جذب عناصر کم مصرف به‌ویژه آهن و روی گردیده و بدین صورت وزن خشک بوته و عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (رحیمیان، ۱۳۹۰).

در این آزمایش محلول‌پاشی تکامین و اثر متقابل گوگرد × تکامین بر وزن خشک دانه نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. به طوری که حداکثر وزن دانه تحت اثر کاربرد دو لیتر گوگرد و تکامین (۱۹/۵۱ گرم) حاصل گردید (داده‌ها نشان داده نشده است). از آنجایی که تکامین فلاور مصرفی در این آزمایش حاوی اسیدهای آمینه، نیتروژن، فسفر، بر و مولیبدن بود، افزایش وزن خشک دانه کلزا مورد انتظار بود. افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم، منگنز، کلسیم، روی، مس، منگنز و آهن تحت اثر کاربرد اسید آمینه توسط سایر محققان نیزگزارش گردیده است (Salama *et al.*, 2019). این

امر سبب افزایش وزن خشک گیاه تحت اثر اسیدهای آمینه به میزان ۱۲/۳-۱۰/۷ درصد شده است (Radkowski 2018 *et al.*,). کاربرد محرک‌های رشد حاوی هورمون‌های رشد اکسین و سیتوکنین سبب افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن گردیده و از آنجایی که این عنصر نقش اساسی در تشکیل کلروفیل دارد، افزایش وزن دانه و عملکرد دانه قابل تصور است (Hussein *et al.*, 2019). طی آزمایشی دیگر وزن خشک بوته کلزا تحت اثر محرک رشد جلبک دریایی و گوگرد به ترتیب ۲۸ و ۱۰ درصد افزایش یافت (آذرمهر و همکاران، ۱۳۹۶). امینی‌فرد و همکاران (۱۳۹۹) اعلام نمودند که حداکثر وزن خشک بوته، تعداد برگ و عملکرد گیاه تحت اثر محرک رشد اسید فولویک و اسید آمینه در سطح ۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. ثابت شده است که کاربرد عناصر فسفر، بر و ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه از طریق بهبود صفات رویشی مانند ارتفاع بوته، تعداد و طول برگ‌ها و وزن خشک بوته نهایتاً وزن دانه و عملکرد را افزایش می‌دهند (Chowdhury *et al.*, 2015; Salama *et al.*, 2019).

طول غلاف

در این آزمایش اثر متقابل سال × گوگرد بر طول غلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار و حداکثر طول غلاف (۷/۷۶ سانتیمتر) در سال دوم و کاربرد دو لیتر گوگرد حاصل گردید. با توجه به این که در قسمت‌های قبلی تحت اثر گوگرد وزن دانه و غلاف افزایش یافته بود، بروز چنین نتیجه‌ای منطقی به نظر می‌رسد.

همچنین با بررسی جدول تجزیه واریانس مشاهده گردید که طول غلاف تحت اثر محلول‌پاشی تکامین فلاور اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشته و حداکثر مقدار آن تحت اثر کاربرد دو لیتر حاصل گردید. به نظر می‌رسد اثر مثبت تکامین فلاور بر افزایش وزن غلاف و دانه در این آزمایش منجر به افزایش طول غلاف نیز شده است.

عملکرد دانه

در این آزمایش تاثیر کاربرد گوگرد بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد آن به میزان یک و دو لیتر در هکتار، عملکرد دانه را به‌ترتیب: ۳/۵۳ و ۷/۴۲ درصد افزایش داد. با توجه به نتایج صفات رویشی و وزن غلاف و دانه که تحت اثر این تیمار افزایش یافته بودند، بروز چنین نتیجه‌ای منطقی و قابل انتظار بود. در تحقیق حاضر محلول‌پاشی دو لیتر گوگرد صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن ساقه، وزن غلاف، وزن دانه، طول غلاف و در نهایت عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱/۵۷، ۴/۹۹، ۴/۱۶، ۶/۸۸، ۶/۶۴، ۶/۷۲ و ۷/۴۲ درصد افزایش داد. طی تحقیقی مشابه افزایش عملکرد ذرت تحت اثر کاربرد گوگرد به افزایش رشد رویشی و اجزای عملکرد و وزن دانه نسبت داده شد (Thirupathi *et al.*, 2016). آذرمهر و همکاران (۱۳۹۶) دریافتند که گوگرد سولفاتی (تری‌اکسید گوگرد) موجب افزایش

۱۶ درصدی تعداد شاخه‌های فرعی در بوته‌های کلزا و در نهایت افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه گردید. طی تحقیقات صورت گرفته در صورت عدم کاربرد گوگرد، عملکرد دانه کلزا تا ۶۶/۴ درصد کاهش می‌یابد (Varenyiova *et al*., 2017).

گوگرد می‌تواند از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b کلروفیل کل و کاروتنوئید، عملکرد کلزا را (قاسم‌بیکی و همکاران، ۱۳۹۹) و از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی عملکرد کنجد را افزایش دهد (Raza *et al*., 2018). افزایش عملکرد گیاهان طی تیمار با گوگرد به بهبود فراهمی عناصر منگنز و روی در ذرت (Karimizarchi *et al*., 2014) و به افزایش جذب عناصر غذایی فسفر، گوگرد، آهن و روی در گندم نسبت داده شده است (قادری و همکاران، ۱۳۹۶). در آزمایشی دیگر همبستگی مثبتی بین افزایش عملکرد گندم با فراهمی عناصر میکرو طی کاربرد گوگرد مشاهده گردید (Klikocka and Marks, 2018). احتمالا با افزایش کاربرد گوگرد و اثر این عنصر بر کاهش اسیدیته خاک، فراهمی و دسترسی به عناصر غذایی مورد نیاز گیاه افزایش یابد (رحیمیان، ۱۳۹۰؛ Mondal, 2016; Karimizarchi *et al*., 2014; Gajghane *et al*., 2015).

در این آزمایش محلول‌پاشی تکامین فلاور، عملکرد دانه کلزا را در سطح یک درصد افزایش داد به طوری که با کاربرد یک و دو لیتر در هکتار، عملکرد دانه به‌ترتیب: ۷/۶۳ و ۱۴/۱۲ درصد افزایش یافت. در اینجا نیز به نظر می‌رسد اثر مثبت تکامین فلاور بر روی صفات رویشی و وزن دانه گیاه، منجر به افزایش عملکرد دانه گردیده است. از آنجایی که تکامین فلاور مصرفی در این آزمایش حاوی اسیدهای آمینه، نیتروژن، فسفر، بر و مولیبدن بود، افزایش عملکرد دانه کلزا مورد انتظار بود. نتایج مشابهی در خصوص کاربرد اسیدهای آمینه بر افزایش عملکرد کلزا گزارش گردیده است (Trifan *et al*., 2019).

همبستگی مثبت بین افزایش عملکرد دانه با صفات رویشی ارتفاع، وزن خشک بوته، تعداد برگ و وزن خشک برگ تحت اثر کاربرد اسیدهای آمینه و اسید فالویک گزارش گردیده است (امینی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۹). طی تحقیقی با کاربرد دو ترکیب محرک رشد حاوی اسیدهای آمینه و عناصر میکرو و ماکرو، افزایش تعداد پنجه به میزان ۷۵-۵۰ درصد و عملکرد دانه به میزان ۱۱-۵/۴ درصد گزارش گردید (Popko *et al*., 2018). پاینده و همکاران (۱۳۹۷) نیز کاربرد کود میکرو حاوی عناصر آهن، روی و منگنز را بر افزایش عملکرد کلزا مثبت ارزیابی کردند. این محققین اعلام نمودند که کاربرد این ریزمغذی‌ها به‌ویژه آهن و روی، سبب افزایش فعالیت‌های حیاتی گیاه و همچنین افزایش جذب نیتروژن گردیده و در نهایت از طریق بهبود اجزای عملکرد، عملکرد دانه گیاه را افزایش می‌دهند. Chowdhury و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه‌گیری نمودند که کاربرد فسفر و بر سبب افزایش صفات رویشی مانند ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول برگ، ماده

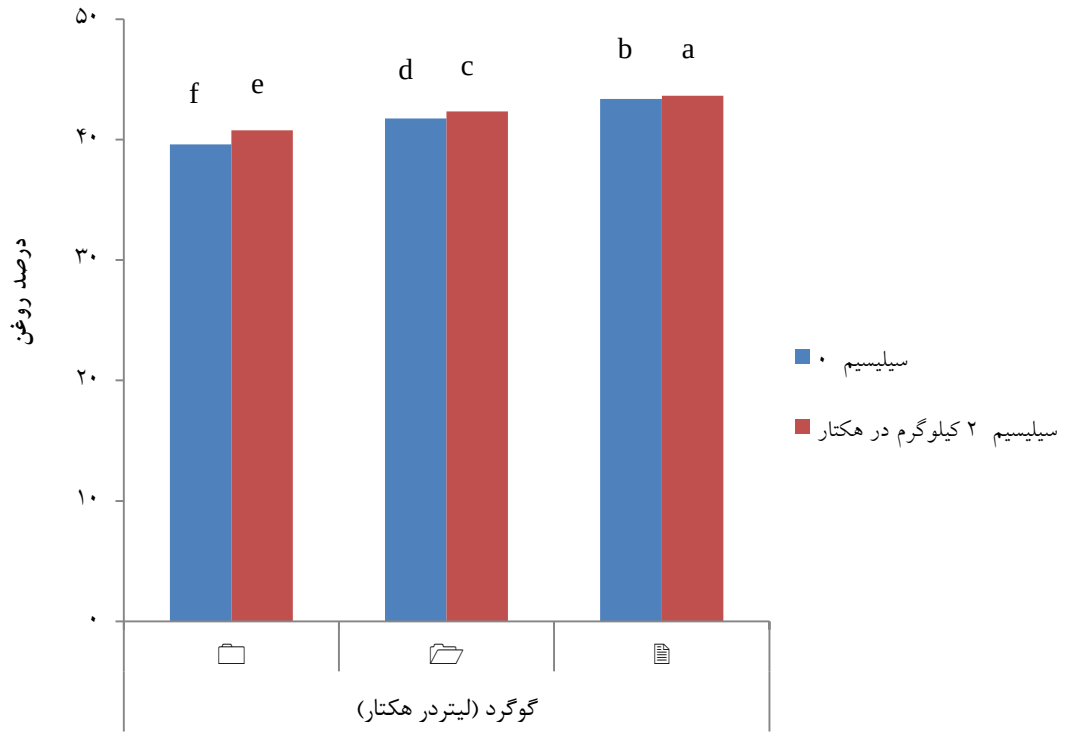
خشک، وزن دانه و عملکرد دانه گردید. در مطالعه‌ای دیگر کاربرد همزمان عصاره جلبک دریایی و اسیدآمینه سبب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ و شاخه، وزن دانه و عملکرد گیاه گردید (Salama *et al.*, 2019).

درصد روغن دانه

درصد روغن و پروتئین دانه مهم‌ترین صفات کیفی دانه کلزا به شمار می‌روند. در این آزمایش محلول‌پاشی گوگرد اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر میزان روغن نشان داد به طوری‌که کاربرد یک و دو لیتر گوگرد، درصد روغن را به میزان ۸۷/۳۳-۱/۳درصد افزایش داد. گوگرد به عنوان یک عنصر کلیدی در افزایش عملکرد دانه و روغن گیاهان دانه روغنی به ویژه کلزا شناخته شده است (Ojha *et al.*, 2018; Varenyiova *et al.*, 2017). این عنصر ضمن کاهش هدایت الکتریکی خاک، فراهمی و قابلیت جذب سایر عناصر از قبیل: نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد را افزایش می‌دهد (Gajghane *et al.*, 2015). افزایش قابلیت دسترسی به فسفر تحت اثر کاربرد گوگرد به‌وسیله سایر محققان ثابت شده است (Wiedenfeld, 2011). کاربرد گوگرد در گیاه ذرت سبب بهبود جذب عناصر غذایی در اندام‌های مختلف شامل: برگ، ساقه، بلال و دانه گردیده است (Wang *et al.*, 2014). تحقیقات نشان داده است که کاربرد گوگرد با افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه کنجد، سبب تسریع تبدیل نیتروژن به پروتئین خام و در نهایت روغن گردیده است (Mondal, 2016). همچنین ثابت گردیده است که آنزیم استیک‌تیولیناز که گوگرد جزء سازنده آن می‌باشد، در حضور عنصر گوگرد به سرعت استیل-کوآ را به مالونیل-کوآ تبدیل نموده و در نتیجه آن درصد روغن در دانه افزایش می‌یابد (Krishnamurthy and Mathan, 1996). Rathore و همکاران (۲۰۱۵) افزایش درصد روغن دانه خردل را به بهبود فعالیت استیل- کوآ کربوکسیلاز به‌عنوان پیش‌ساز روغن نسبت دادند. در عین حال بهبود کیفیت روغن در بذر کلزا به افزایش میزان اسید اولئیک تحت اثر کاربرد گوگرد نسبت داده شده است (Liu *et al.*, 2017).

در این آزمایش اثر متقابل سیلیسیم × گوگرد بر درصد روغن در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول۳). بر اساس نتایج حداکثر درصد روغن تحت اثر کاربرد سیلیسیم و دو لیتر گوگرد حاصل گردید که در مقایسه با شاهد ۴/۰۳ درصد افزایش نشان داد (شکل۱). با توجه به اثرات مطلوب سیلیسیم و گوگرد بر افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و سایر شاخص‌های فیزیولوژیکی در تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققان و همچنین بهبود شاخص‌های رویشی و وزن خشک اجزای گیاه در این آزمایش وقوع چنین امری منطقی به نظر می‌رسد. طی تحقیقی مشابه کاربرد گوگرد، درصد جذب عناصر آهن، روی و مس در بذور گندم را به ترتیب: ۶/۵، ۴/۸ و ۵/۳ درصد افزایش داده است (Klikocka and Marks, 2018). این محققین اثرات هم‌افزایی کاربرد هم‌زمان گوگرد با نیتروژن را بر این صفات مشاهده نمودند. در تحقیقی دیگر کاربرد همزمان گوگرد و فسفر سبب افزایش فراهمی و جذب این عناصر در اندام‌های

هوایی و دانه سویا گردید (Dhage *et al.*, 2014). در این آزمایش محلول‌پاشی تکامین نیز اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر درصد روغن نشان داد به طوری‌که کاربرد یک و دو لیتر در هکتار میزان روغن را به میزان ۱/۳۱-۰/۶۳ درصد افزایش داد. همچنان که قبلا اشاره گردید تکامین فلاور مصرفی حاوی اسیدهای آمینه، نیتروژن، فسفر، بر و مولیبدن بوده و افزایش دسترسی و فراهمی این عناصر جهت گیاه می‌تواند سبب افزایش درصد روغن دانه گردد. در تحقیقی مشابه افزایش درصد روغن در کلزا و آفتابگردان و همچنین افزایش درصد پروتئین در گندم، جو، ذرت و سویا تحت اثر محرک‌های رشد گزارش گردیده است (Trifan *et al.*, 2019). افزایش درصد روغن سویا تحت اثر محرک رشد به بهبود متابولیسم عناصر نیتروژن و آهن در گیاه نسبت داده شده است (Kocira, 2019).



شکل۱: میانگین درصد روغن دانه کلزا تحت تاثیر اثر متقابل محلول‌پاشی سیلیسیم و گوگرد

درصد پروتئین دانه

در این آزمایش کاربرد سیلیسیم اختلاف معنی‌داری را در سطح پنج درصد بر روی این صفت نشان داد. به طوری‌که درصد پروتئین به میزان ۰/۶۶ درصد افزایش یافت. به نظر می‌رسد افزایش جذب عناصر غذایی ضروری گیاه تحت اثر کاربرد سیلیسیم سبب افزایش پروتئین دانه گردیده است. طی تحقیقی مشابه Greger و همکاران (۲۰۱۱) افزایش جذب و تجمع عناصر منگنز و بور و در نتیجه افزایش پروتئین را در همه اندام‌های گیاهان ذرت، کاهو و گندم تحت اثر کاربرد

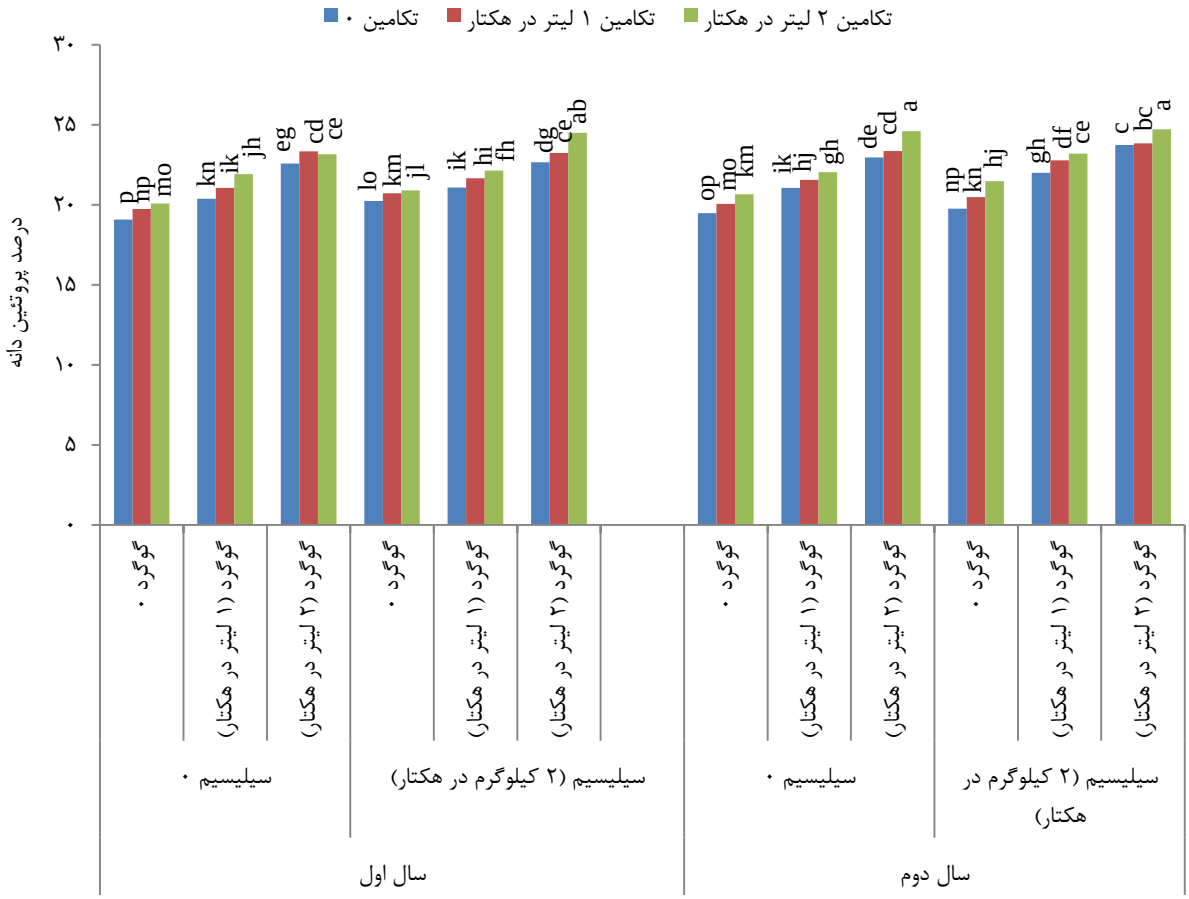
سیلیسیم گزارش نمودند. Shanan و El Sadek (۲۰۱۷) در تحقیقی دو ساله پی بردند که سیلیسیم میزان قند، پروتئین و کلسیم را در گیاهان افزایش می‌دهد.

در این آزمایش محلول‌پاشی گوگرد نیز اثر معنی‌داری بر درصد پروتئین نشان داد به طوری‌که کاربرد یک و دو لیتر گوگرد، درصد پروتئین را به میزان ۳/۳۴-۱/۵۲ درصد افزایش داد. Järvan و همکاران (۲۰۰۸) در یک تحقیق سه ساله مشاهده نمودند که گوگرد سبب افزایش شاخص گلوتن و بهبود کیفیت پروتئین گندم به دلیل افزایش اسیدهای آمینه سیستئین، متیونین، ترئونین و لیزین گردید. افزایش میزان پروتئین ذرت نیز تحت اثر گوگرد مشاهده گردیده است (Thirupathi *et al.*, 2016). افزایش میزان پروتئین در گیاه لوبیا به بهبود ارزش بیولوژیکی پروتئین آن در نتیجه افزایش برخی از اسیدهای آمینه مانند متیونین، سیستئین و همچنین افزایش جذب عناصر غذایی مرتبط دانسته شده است (Głowacka *et al.*, 2019).

محلول‌پاشی تکامین نیز اثر معنی‌داری در سطح یک بر درصد پروتئین نشان داد به طوری که کاربرد یک و دو لیتر در هکتار میزان پروتئین را ۱/۲-۰/۵۷ درصد افزایش داد. با توجه به ترکیبات موجود در تکامین فلاور مصرفی، افزایش درصد پروتئین دانه در این آزمایش کاملا منطقی به نظر می‌رسد. ثابت شده است که کاربرد محرک‌های رشد حاوی اسیدهای آمینه، جذب عناصر فسفر، پتاسیم، منگنز، کلسیم، روی، مس، منگنز و آهن را در بذور افزایش و به تبع آن درصد پروتئین دانه افزایش می‌یابد (Radkowski *et al.*, 2018; Salama *et al.*, 2019). در عین حال افزایش میزان اسیدهای آمینه و میزان فنولیک در برگ‌ها و همچنین افزایش میزان نیتروژن و پروتئین دانه لوبیا تحت اثر کاربرد اسیدهای آمینه مشاهده گردیده است (El-Awadi *et al.*, 2011).

همچنین بر اساس نتایج این آزمایش اثر متقابل سال × سیلیسیم × گوگرد × تکامین بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار گردید (جدول۴). همچنان که در شکل۲ مشاهده می‌گردد حداکثر میزان پروتئین در سال دوم آزمایش و با محلول‌پاشی دو لیتر گوگرد و تکامین و همچنین کاربرد و عدم کاربرد سیلیسیم به‌دست آمد. به نظر می‌رسد اثرات هم‌افزایی گوگرد و تکامین به همراه شرایط اقلیمی مناسب در سال دوم، قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی به‌ویژه گوگرد و نیتروژن را افزایش داده است. طی تحقیقی چهار ساله اثر مثبت ولی متفاوت کاربرد گوگرد بر افزایش درصد پروتئین و اسیدهای آمینه گیاه خردل در طی سال‌های مختلف به دلیل تفاوت در شرایط آب و هوایی مشاهده گردیده است (Barczak and Klikocka, 2018). همچنین طی تحقیقی دیگر کاربرد گوگرد غلظت عناصر آهن، روی و مس را در بذور گندم به‌ترتیب ۶/۵، ۴/۸ و ۵/۳ درصد افزایش داد (Klikocka and Marks, 2018). این محققین اثرات هم‌افزایی گوگرد را در صورت

کاربرد هم‌زمان با نیتروژن بر تجمع این عناصر در بذر گندم گزارش نمودند. Dhage و همکاران (۲۰۱۴) اعلام نمودند که کاربرد گوگرد، میزان تجمع گوگرد را به میزان ۱۳/۱۴-۱۹/۰۹ درصد و کاربرد فسفر نیز میزان فسفر را به میزان ۲۰/۲۶-۱۴/۴۹ درصد در دانه سویا افزایش می‌دهد. این محققین افزایش کمیت و کیفیت دانه سویا را در صورت کاربرد هم‌زمان این دو عنصر گزارش نمودند.



شکل۲: میانگین درصد پروتئین دانه کلزا تحت تاثیر اثر متقابل سال، سیلیسیم، گوگرد و تکامین

نتیجه‌گیری

کلزا از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی به‌شمار می‌رود لذا هر گونه افزایش عملکرد کمی و کیفی این گیاه از نظر کاهش نیاز به واردات روغن و کنجاله آن بسیار حائز اهمیت است. بر اساس یافته‌های این آزمایش محلول‌پاشی گوگرد و تکامین فلاور عملکرد دانه را به‌عنوان مهم‌ترین صفت مورد بررسی به ترتیب: ۷/۴۲ و ۱۴/۱۲ درصد افزایش دادند. همچنین صفات کیفی دانه کلزا یعنی درصد روغن و پروتئین تحت اثر محلول‌پاشی دو لیتر گوگرد (۳/۳۴-۳/۳۳ درصد) و دو لیتر تکامین فلاور (۱/۳۱-۱/۲ درصد) افزایش نشان دادند. سیلیسیم نیز درصد پروتئین دانه را به‌میزان ۰/۶۶ درصد افزایش داد. بر

اساس نتایج اثرات متقابل معنی‌دار کاربرد سیلیسیم به همراه دو لیتر در هکتار گوگرد، درصد روغن را به میزان ۴/۰۳ درصد افزایش داد. همچنین درصد پروتئین تحت اثر متقابل کاربرد سیلیسیم و محلول‌پاشی دو لیتر گوگرد و تکامین فلاور در سال دوم آزمایش به میزان ۵/۲۳ درصد افزایش یافت. از آنجایی که مقادیر مصرف این تیمارها (۲-۱ لیتر در هکتار) در این آزمایش محدود و با کم‌ترین هزینه صورت گرفت، لذا کاربرد این تیمارها در زراعت کلزا از نظر اقتصادی قابل توجیه و در شرایط مشابه توصیه می‌گردد.

منابع

آذرمهر، ع. ر. ،باقی، م. ،ضیایی نسب، م. ۱۳۹۶. بررسی کاربرد عصاره جلبک دریایی و کود گوگرد سولفاته بر عملکرد و برخی اجزای عملکرد کلزا پائیزه (*Brassica napus L*) رقم ناتالی. پژوهشهای زراعی در حاشیه کویر. جلد ۱۴ شماره ۳، ص ۱۶۵-۱۵۵.

امینی‌فرد ،م. ح. ،غلامی ،م ،.بیات ،ح. و مرادی‌نژاد ،ف. ۱۳۹۹. تأثیر کاربرد کودهای اسید فولویک و اسید آمینه بر ویژگیهای فیزیولوژیکی، رشدی و عملکرد گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی. جلد ۱۲ شماره ۳، ص ۳۸۸-۳۷۳.

اطلسی‌پاک، و.، مسگرباشی، م.، مامقانی، ر. و نبی‌پور، م. ۱۳۸۵. تاثیر آرایش کاشت بر صفات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد در کانوپی سه رقم کلزای بهاره در منطقه اهواز. خلاصه مقالات نهمین گنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، ۷-۵ شهریور ۱۳۸۵، صفحه ۱۷.

پاینده، خ.، مجدم، م. و دروگر، ن. ۱۳۹۷. کاربرد عناصر ریزمغذی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۱۰ شماره ۳۸، ص ۳۷-۲۳.

رحیمیان، ز. ۱۳۹۰. اثر گوگرد و تیوباسیلوس به همراه ماده آلی بر صفات کمی و کیفی کلزا. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی ،دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۳ شماره ۱۲، ص ۲۷-۱۹.

سادات اسیلان، ک. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم بر مقاومت به تنش شوری در دو رقم کلزا. به زراعی کشاورزی. جلد ۲۱ شماره ۴، ص ۳۶۶-۳۵۳.

فانی، ا. ،حسیبی، پ. ،مسکرباشی، م. ،مهدی خانلو، خ. و سید احمدی، س. ع. ر. ۱۳۹۸. ارزیابی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، جلد ۱۱ شماره ۴۲، ص ۱۵-۵.

قادری، ج.، ملکوتی، م. ج.، خاوازی، ک. و داوودی، م. ح. ۱۳۹۶. بررسی اثر کاربرد گوگرد عنصری بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های کیفی گندم آبی (*Triticum astivum* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز جلد ۹ شماره ۳۳، ص ۸۴-۶۹.

قاسم‌بیکی، ث.، مجیدیان، پ.، رامئه، و. ا.، گرامی، م. و مسعودی، ب. ۱۳۹۹. اثر کاربرد گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی لاین امیدبخش L17 کلزا (*Brassica napus* L) تحت شرایط دیم مازندران. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، جلد ۱۲ شماره ۴۸، ص ۱۳۱-۱۱۵.

مصطفوی راد ،م.، نوبهار، ا.، و محبوب خمامی، ع. ۱۳۹۷. مدیریت تغذیه در زراعت کلزا. نشریه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان. ۲۴ صفحه.

نصری، م. ،خلعتبری، م.، پاک نژاد، ف. ،حسن پور، ج. و کسرایی، پ. ۱۳۸۷. تاثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی عنصر سیلیسیم و تراکم کاشت بر خصوصیات کمی کلزا (Hyola 42) در شرایط آب و هوایی ورامین. فصلنامه دانش کشاورزی ایران. جلد ۵ شماره ۳، ص ۳۲۵-۳۱۵.

Barczak, B. and Klikocka, H. 2018. Effect of sulfur fertilization on amino acid and fraction composition of protein of white mustard seeds. Journal of Agricultural Science and Technology. 20: 1443-1453.

Bukhari, M. A., Sharif, M. S., Ahmad, Z., Barutçular, C., Afzal, M., Hossain, A. and EL Sabagh, A. 2020. Silicon mitigates the adverse effect of drought in canola (*Brassica napus* L) through promoting the physiological and antioxidants activity. Nature. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00685-x

Bybordi, A. 2012. Effect of ascorbic acid and silicium on photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. Journal of Integrative Agriculture. 11(10): 1610-1620.

Chen, D., Wang, S., Yin, L. and Deng, X. 2018. How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? Front Plant Sci. 9:281. doi: 10.3389/fpls.2018.00281.

Chowdhury, S. Z., Sobahan, M. A., Shamim, A. H. M., Akter, N. and Hossain, M. M. 2015. Interaction effect of phosphorus and boron on yield and quality of lettuce. Azarian Journal of Agriculture. 2(6): 147-154.

Dhage, S. J., Patil, V. D. and Patange, M. J. 2014. Effect of various levels of phosphorus and sulfur on yield, plant nutrient content, uptake and availability of nutrients at harvest stages of soybean (*Glycine max* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 3(12): 833-844.

Ding, Y. F., Liang, Y. C. and Zhu, J. 2007. Effects of silicon on plant growth, photosynthetic parameters and soluble sugar content in leaves of wheat under drought stress. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer. 13(3): 471-478.

El-Awadi, M. E., El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z. F. and El-Nemr, M. A. 2011. Response of snap bean *(Phaseolus vulgaris* L) plants to nitrogen fertilizer and foliar application with methionine and tryptophan. Nature and Science. 9(5): 87-94.

Gajghane, P. G., Toncher, S. S. and Raut, M. M. 2015. Effect of potassium and sulfur levels on soil fertility status after harvest of mustard. Plant Archives. 15(1): 347-351.

Głowacka, A., Gruszecki, T., Szostak, B. and Michałek, S. 2019. The response of common bean to sulfur and molybdenum fertilization. International Journal of Agronomy. 2019: 1-8.

Greger, M., Landberg, T., Vaculik, M. and Lux, A. 2011. Silicon influences nutrient status in plants. Proceedings of The 5th International Conference on Silicon in Agriculture. September 13-18, 2011. Beijing, China.

Haddad, C., Arkoun, M., Jamois, F., Schwarzenberg, A., Yvin, J. C., Etienne, P. and Laîné, P. 2018. silicon promotes growth of *Brassica napus* L. and delays leaf senescence induced by nitrogen starvation. Frontiers in Plant Science. 9:516. doi: 10.3389/fpls.2018.00516

Hussein, H. A., Mhaibes, M. MH. and Atallah, H. Sh. 2019. Study the foliar times numbers and Atoink stimulator on the growth and yield of cucumber (Saif cultivar) cultivated in unheated plastic houses. Plant Archives. 19 (1): 1254-1259.

Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A., Lukme, L. and Akk, A. 2008. The effect of sulfur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. Agronomy Research. 6(2): 459-469.

Karimizarchi, M., Aminuddin, H., Khanif, M. Y. and Radziah, O. 2014. Elemental sulfur application effects on nutrient availability and sweet maize (*Zea mays* L.) response in a high pH soil of Malaysia. Malaysian Journal of Soil Science. 18: 75-86.

Kleiber, T., Borowiak, K., Kosiada, T., Breś, W. and Ławniczak, B. 2020. Application of selenium and silicon to alleviate short-term drought stress in French marigold (*Tagetes patula* L.) as a model plant species. Open Chemistry. 18: 1468-1480.

Klikocka, H. and Marks, M. 2018. Sulfur and nitrogen fertilization as a potential means of agronomic biofortification to improve the content and uptake of microelements in spring wheat grain DM. Journal of Chemistry. 2018: 1-12.

Kocira, S. 2019. Effect of amino acid biostimulant on the yield and nutraceutical potential of soybean. Chilean Journal of Agricultural Research. 79(1): 17-25.

Krishnamurthy, V. V., and Mathan, K. K. 1996. Effect of sulfur on yield of groundnut. Madras Agricultural Journal. 83: 640-642.

Laîné, P., Haddad, C., Arkoun, M., Yvin, J. C. and Etienne, P. 2019. Silicon promotes agronomic performance in *Brassica napus* cultivated under field conditions with two nitrogen fertilizer inputs. Plants. 8(137): 1-12.

Liu, X., Yang, Y., Deng, X., Li, M., Zhang, W. and Zhao, Z. 2017. Effects of sulfur and sulfate on selenium uptake and quality of seeds in rapeseed (*Brassica napus* L.) treated with selenite and selenate. Environmental and Experimental Botany. 135: 13-20.

Ma, J. F. and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends Plant Sci. 11: 392-397.

Marhoon, I. A. and Abbas, M. K. 2015. Effect of foliar application of seaweed extract and amino acids on some vegetative and anatomical characters of two sweet pepper (*Capsicum Annuum* L.) cultivars. International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences. 1(1): 35-44.

Mcgrath, S. P. and Zhao, F. J. 1996. Sulfur uptake, yield response and the interactions between nitrogen and sulfur in winter oilseed rape (*Brassica napus*). Journal of Agricultural Science, 126(1): 53-62.

Mondal, S. 2016. Efficiency of sulfur source on sesame (*Sesamum indicum* L.) in red and lateritic soil of west Bengal. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. 6(2): 65-70.

Ojha, R. B., Basyal, B., Khanal, B. and Pande, K. R. 2018. Nitrogen-sulfur use economics in rapeseed productivity at Rampur, Chitwan, Nepal. Advances in Plants and Agriculture Research. 8(4): 312-316.

Olle, M. 2017. The effect of silicon on the organically grown iceberg lettuce growth and quality. Journal of Agricultural Science. 2: 82-86.

Piri, I., Moussavi Nik, M., Tavassoli, A. and Rastegaripour, F. 2019. Effect of irrigation intervals and sulfur fertilizer on growth analyses and yield of *Brassica juncea.* Advanced Journal of Microbiology Research. 13(5): 1-7.

Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K. and Górecki, H. 2018. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. Molecules. 23: 1-13.

Radkowski, A., Radkowska, I. and Godyń, D. 2018. Effects of fertilization with an amino acid preparation on the dry matter yield and chemical composition of meadow plants. Journal of Elementology. 23(3): 947-958.

Rathore, S. S., Shekhawat, K., Kandpal, B. K., Premi, O. P., Singh, S. P., Singh, G. C. and Singh, D. 2015. Sulfur management for increased productivity of Indian mustard: a review. Annals of Plant and Soil Research. 17(1): 1-12.

Raza, M. A., Feng, L. Y., Iqbal, N., Manaf, A., Bin Khalid, M. H., Rehman S. U., Wasaya, A., Ansar, M., Billah, M., Yang, F. and Yang, W. 2018. Effect of sulfur application on photosynthesis and biomass accumulation of sesame varieties under rainfed conditions. Agronomy. 8(149): 1-16.

Salama, A. M., Azoz, S. N. and El-Taher, A. M. 2019. Influence of foliar spray by algae extract and amino acid on botanical characters and seed chemical composition of common bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.). International Journal of Advanced Research. 7(4): 264-271.

Sonah, H., Deshmukh, R. K., Labbé, C. and Bénlanger, R. R. 2017. Analysis of aquaporins in Brassicaceae species reveals high-level of conservation and dynamic role against biotic and abiotic stress in canola. Sci. Rep. 7, 2771. http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-02877-9

Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, A. E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K. and Inanaga, S. 2011. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. Journal of Plant Nutrition. 34: 71-82.

Shanan, N. T. and El Sadek, Z. H. 2017. Influence of silicon on tuberose plants under drought conditions. Middle East Journal of Agriculture Research. 6(2): 348-360.

Thirupathi, I., Vidya Sagar, G. E. Ch., Suneetha Devi, K. B. and Kumar Sharma, S. H. 2016. Effect of nitrogen and sulfur levels on growth, yield, quality and economics of single cross hybrid maize (*Zea mays.* L). International Journal of Science, Environment and Technology. 5(5): 2989-2998.

Trifan, D., Bularda, M., Lungu, E. and Ghiorghe, I. A. 2019. Comparative analysis of the influence of different doses of vegetal bio stimulator on agricultural productions. Ziraat Fakültesi Dergisi. 14(1): 89-96.

Varenyiova, M., Ducsay, L. and Ryant, P. 2017. Sulfur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 65(2): 555-562.

Wang, X., Wang, X., Zhang, H. and Jiang, W. 2014. Effects of sulfur application times on the sulfur accumulation and distribution for summer maize in Fluvo-aquic soil. Advance Journal of Food Science and Technology. 6(6): 797-801.

Wiedenfeld, B. 2011. Sulfur application effects on soil properties in a calcareous soil and on sugarcane growth and yield. Journal of Plant Nutrition. 34:1003-1013.