اثر گوگرد و نیتروژن بر ویژگی ریشه و شاخساره کاملینا (*Camelina sativa* L.)

اردشیر طاهری‌نژاد[۱]، محمداقبال قبادی[۲*] و دانیال کهریزی[۳]

۱ و ۲) گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳) گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

نویسنده مسئول*: e.ghobadi@razi.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می باشد.

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۲/۰۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳**

چکیده

کاملینا (*Camelina sativa* L.) گیاهی با دانه‌های روغنی مناسب برای کشت دیم می‌باشد. در شرایط دیم، میزان مصرف مناسب کودهای نیتروژن و گوگرد، نقش مهمی در رشد ریشه و اندام هوایی دارند. بر این اساس، آزمایشی به منظور بررسی اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر رشد ریشه و اندام هوایی کاملینا رقم سهیل اجرا گردید. فاکتورها شامل سطوح گوگرد (۰ ، ۵۰ ،۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سطوح نیتروژن (۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. با افزایش گوگرد مقادیر صفات حجم و طول ریشه و تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین افزایش یافت اما بین ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد اختلاف معنی‌دار نبود. بیشترین مقدار صفات حجم ریشه، ارتفاع ریشه، وزن خشک ریشه (۲/۸ گرم در بوته)، ضریب آلومتری، ماده خشک اندام هوایی، عملکرد دانه (۲/۲۲ گرم در بوته)، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب (۱/۸۲ گرم بر کیلوگرم) در مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد. برهمکنش بین تیمارها بر صفات سطح برگ، سطح ریشه و ارتفاع بوته معنی‌دار بودند. بیشترین مقدار این صفات در تیمارهای گوگرد و نیتروژن به‌ترتیب ۱۵۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۶۶/۶ سانتی‌مترمربع در بوته، ۲۶/۵ سانتی‌مترمربع در بوته و ۷۴/۶ سانتی‌متر بودند. بطور کلی، نتایج نشان داد که در شرایط دیم با افزایش میزان کود نیتروژن رشد ریشه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در کاملینا افزایش، اماکود گوگرد اثر معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: وزن خشک ریشه، ضریب آلومتری، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

مقدمه

گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) از خانواده براسیکاسه و بومی مناطق مدیترانه‌ای آسیا و اروپا هست. این گیاه یکساله با تیپ رشدی زمستانه و بهاره و ارتفاع آن بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر و وزن هزاردانه آن از ۰/۸ تا ۲ گرم متغیر است. بذور این گیاه ۳۰ تا ۴۸ درصد روغن با امگا ۳ بالا و ۳۳ تا ۴۷ درصد پروتئین دارند. (Neupane *et al*., 2022; Ghidoli *et al*., 2023; Ali *et al*., 2022). کاملینا گیاهی با دورهٔ رشد ۹۰ تا ۲۵۰ روزه است (Angelini *et al*., 2020). به شرایط تنش خشکی به خوبی پاسخ می‌دهد و ممکن است نسبت به سایر گیاهان روغنی برای مناطق کم باران مناسب‌تر باشد. این گیاه در دمای کم جوانه می‌زند و گیاهچه‌ها در برابر سرما بسیار مقاوم هستند (Berti *et al*., 2016; Dai *et al*., 2018). در مناطق دیم مصرف مناسب کودهای نیتروژن و گوگرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کاملینا یک محصول کم نهاده در نظر گرفته می‌شود (Gesch *et al*., 2017). شواهد نشان می‌دهد که این گیاه به مصرف گوگرد و نیتروژن پاسخ می‌دهد و بازده در مطالعه‌های غیر کوددهی پایین بوده است (Ott *et al*., 2019). نیتروژن و گوگرد به ترتیب حدوداً ۱/۵ و ۰/۱ درصد ماده خشک گیاهان را تشکیل می‌دهند. نیتروژن جزء اصلی اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، کلروفیل، نوکلئوتیدها، کوآنزیم‌ها و ... بوده و کمبود آن در گیاه بسرعت از رشد گیاه جلوگیری می‌کند (Krapp, 2015; Etienne *et al*., 2018). گوگرد نیز جزء اصلی اسید آمینه‌های خاص مثل سیستئین، سیستین و متیونین و جزء اصلی اسید لیپوئیک، کوآنزیم A و ... است (Narayan *et al*., 2023). بیشترین جذب عناصر ضروری ماکرو مثل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و همچنین میکرو مثل آهن، منگنز، بُر، مس و روی در اسیدیته پایین‌تر از خنثی و در محدوده اسیدیته ۶-۵ صورت می‌گیرد. لذا، مصرف گوگرد با پایین آوردن اسیدیته خاک باعث افزایش جذب این عناصر نیز می‌گردد (Shah *et al*., 2022; Phogat *et al*., 2021). همچنین، کمبود گوگرد باعث کاهش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، کاهش رشد ریشه و اندام هوایی و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (Kopriva *et al*., 2019; Carciochi *et al*., 2020). کودهای حاوی گوگرد به شکل‌های مختلف مصرف و در مطالعه‌های انجام شده بر گیاهان مختلف، دارای نتایج متفاوتی بر عملکرد و ویژگی رشد بوده است اما در کل، تحقیقاتی اندکی بر روی اثر گوگرد بر کاملینا وجود دارد. در بررسی اثر مصرف گوگرد (شاهد، گوگرد شیمیایی، کود زیستی سولفور بارور حاوی تیوباسیلوس و کاربرد توأم آنها) بر کاملینا در منطقه ایلام، نتایج نشان داده است که کاربرد توأم کود گوگرد و بیوسولفور به میزان ۳۲/۸ درصد عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش داده است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین، اثر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن، فسفر و گوگرد در منطقه کازرون بر کاملینا، نشان داده است که مصرف تلفیقی کودهای زیستی با شیمیایی (نیتروژن+ فسفر+گوگرد) باعث افزایش عملکردهای ماده خشک کل و دانه بترتیب ۸۶/۸ و ۶۳/۵ درصد نسبت به شاهد شده است (حسنی و همکاران، ۱۴۰۰). اثرهای مقدار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

گوگرد (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه باکتری تیوباسیلوس در مناطق مختلف کرمانشاه بر گندم آبی رقم پیشتاز نشان داده که در مصرف گوگرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه حاصل شده است (قادری و همکاران، ۱۳۹۶). برخلاف گوگرد، اثر کود نیتروژن بر رشد و عملکرد کاملنیا و سایر محصولات بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. در آزمایشی با بررسی اثرهای تاریخ کاشت پاییزه و زمستانه و مصرف نیتروژن خالص (۰، ۲۳، ۴۶ و ۶۹ کیلوگرم در هکتار) بر کاملینا، نتایج نشان داده است که مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه داشته و بیشترین عملکرد دانه (۲۶۵۳/۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص بوده است (زارعی و همکاران، ۱۴۰۰). در بررسی مزرعه ای در کانادا بمدت دو سال بر روی ۵ ژنوتیپ در ۵ محل و در سطوح مختلف نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) نیز، نتایج نشان داده است که نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه و پروتئین و کاهش درصد روغن شده است (Jiang *et al*., 2014). نتایج بررسی اثرهای نیتروژن (۰، ۲۸، ۵۶ و ۱۱۲ کیلوگرم در هکتار) و گوگرد (۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار) بر رشد، عملکرد، پروتئین دانه و محتوای روغن کاملینا نشان داده است که گوگرد هیچ اثر معنی‌داری بر پاسخ‌های اندازه‌گیری شده نداشته است و کاربرد نیتروژن باعث افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه، محتوای پروتئین و عملکرد پروتئین شده است. مصرف نیتروژن باعث افزایش ۳۱ درصدی عملکرد دانه شده اما میزان روغن را تا ۲/۷ درصد کاهش داده است (Sintim *et al*., 2015). پاسخ کاملینا به میزان نیتروژن (۰، ۴۵، ۹۰ کیلوگرم در هکتار) در یک سیستم کشاورزی دیم در مرکز مونتانا نشان داده است که مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار منجر به بالاترین عملکرد کاملینا در این منطقه شده است (Afshar *et al*., 2016). در آزمایشی گلدانی در یونان در مصارف مختلف نیتروژن (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ پی پی ام)، مشخص شده است که با افزایش مصرف نیتروژن، ویژگی ریشه (تراکم، طول و سطح) و اندام هوایی (وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته) کاملینا در بیشترین مقدار بوده است (Kakabouki *et al*., 2020). در آزمایشی در اتیوپی که کاملینا را به تازگی وارد چرخه کشت و کار خود کرده اند، نتایج نشان داده است که در کود نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و مقدار بذر برای کاشت (۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار)، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و مصرف بذر ۱۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین مقدار ماده خشک و دانه تولید شده است (Manore and Yohanns, 2019). در بررسی مصرف نیتروژن (شاهد، سرک (به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار در زمان ساقه رفتن)، پایه (۶۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت) و توأم پایه + سرک (هر کدام ۶۰ کیلوگرم در هکتار) بر کاملینا نتایج نشان داده است که بیشترین مقدار رنگیزه فتوسنتزی در مصرف سرک، بیشترین مقدار روغن در مصرف کود پایه و بیشترین میزان پروتئین دانه در مصرف توأم نیتروژن بدست آمده است (Clemente *et al*., 2023). اثرهای نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ ، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی بر گیاه کینوا رقم سانتاماریا،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

نتایج نشان داده که در شرایط بدون تنش خشکی، مصرف نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش شدید و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بترتیب بیشترین و کمترین عملکرد داشته است و نشان داده‌اند که اثر نیتروژن به میزان آب در دسترس بستگی داشته و با افزایش تنش خشکی اثر میزان نیتروژن کاهش یافته است (زنگنه و همکاران، ۱۴۰۱). اثر آبیاری تکمیلی و سطوح نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بر ارقام گندم دیم (سرداری و کراس البرز) نیز نشان داده است که با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه در رقم گندم بدست آمده است، که نشان می‌دهد مقدار نزولات جوی در میزان مصرف نیتروژن موثر بوده است(فعله‌کری و همکاران، ۱۳۹۳). با بررسی اثر کود اوره (۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) و گوگرد بنتونیت دار (۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر گندم آبی رقم سیروان به این نتیجه رسیده‌اند که مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار دارای بیشترین بازده زراعی و اقتصادی بوده است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۰). از آنجایی که رشد ریشه‌ها در خاک‌های فقیر در حداقل مقدار خود است و با افزایش دسترسی به عناصر غذایی در خاک، ریشه‌ها سریعتر تکثیر می‌شوند و در صورت کفایت عناصر غذایی بجای رشد خیلی زیاد ریشه، گیاه تخصیص منابع به رشد ریشه را کاهش و به اندام هوایی و رشد زایشی اختصاص می‌دهد، این تغییر تخصیص منبع باعث می‌شود که در مصرف عناصر غذایی دقت بیشتری صورت گیرد (Bouranis *et al*., 2020). بنابراین، بهینه‌سازی و مدیریت مصرف کودهای گوگرد و نیتروژن به منظور افزایش عملکرد محصول از اهمیت اولیه برخوردار است. متأسفانه، بررسی در مورد پاسخ کاملینا به مقادیر مختلف گوگرد و نیتروژن، بر رشد ریشه در شرایط دیم نیز کم بوده و به همین دلیل این آزمایش طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرهای کودهای گوگرد و نیتروژن بر روی صفات ریشه و اندام‌های هوایی کاملینا رقم سهیل آزمایشی در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ در شرایط آب و هوایی سنقر (در شمال شرقی استان کرمانشاه) به صورت دیم اجرا شد. آزمایش در حومه شهر سنقر با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی به ارتفاع ۱۶۸۱ متر از سطح دریا و از نظر اقلیمی، سرد اجرا شد. مشخصات بارندگی و دمایی در طول دوره رشد کاملینا در منطقه در سال اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ : مشخصات میزان بارندگی و دمایی در منطقه در طول دوره رشد کاملینا در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰

پارامترها	ماه											
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
	سال ۱۴۰۰						سال ۱۴۰۱					
بارندگی (میلی‌متر)	۰	۳۳/۹	۳۴/۴	۳۷/۷	۴۷/۱	۴۲/۸	۱۵/۲	۴۱/۴	۰	۰	۰	۰
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)	۶/۴	۱/۷	۰	-۳/۲	-۵/۱	۱	۳/۳	۵/۶	۹/۹	۱۴/۸	۱۶/۶	۱۲/۲
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۶/۷	۱۶/۱	۱۳/۴	۷/۸	۷/۳	۱۲/۴	۱۹/۶	۲۲/۵	۳۱/۵	۳۶/۱	۳۷/۴	۳۳/۲
متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۹/۵	۱۱/۹	۹/۷	۴/۴	۴/۳	۹/۵	۱۴/۲	۱۷/۳	۲۳/۷	۲۸/۴	۲۹/۹	۲۵/۷

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

تیمارها شامل کود گوگرد (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع گوگرد بنتونیتی ۹۰ درصد و کود نیتروژن (۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. پلات‌های آزمایشی از نوع لوله پلاستیکی (پلی اتیلن) به قطر ۱۶ سانتی‌متر و به ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر که در زمین به صورت ته‌باز کار گذاشته شدند. جنس خاک درون لوله‌ها از خاک سطحی مزرعه (عمق تا ۳۰ سانتی‌متر) بود. یک ماه قبل از کاشت، برای یکدست شدن سطح خاک درون لوله‌ها، پس از پرکردن، اقدام به آبیاری گردید و سطح خاک درون لوله‌ها، یکنواخت و تراز شدند. مشخصات خاک مورد استفاده در لوله‌ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ : نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری

بافت خاک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	اسیدیته
	(درصد)					(میلی گرم بر کیلوگرم)		
رسی- لومی	۳۴	۳۳	۳۳	۰/۹۴	۰/۰۹۴	۲۳۰	۱۰/۲	۷/۱

در تاریخ ۱۵ آبان ۱۴۰۰ کشت چند بوته در لوله‌ها صورت گرفت. در مرحله استقرار به یک بوته در هر لوله، تُنک و نگهداری شدند. تمام گوگرد و یک سوم نیتروژن در زمان کاشت و مابقی کود نیتروژن به صورت سرک (دوسوم در مرحله ساقه‌رفتن) مصرف شد. بذر کاملینا زراعی رقم سهیل مورد استفاده، از پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه تهیه شد. رقم سهیل تیپ بینابین پاییزه و بهاره بوده و در کشت پاییزه در بسیاری از مناطق ایران توصیه شده است (رستمی احمدوند و همکاران، ۲۰۲۱). در زمان رسیدن دانه کاملینا در تاریخ ۲۶ خرداد ۱۴۰۱، صفاتی از ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری صفات ریشه، استخراج ریشه ها از لوله‌ها به صورت تخریبی انجام گرفت. بدین صورت که با برش طولی لوله‌ها کل سیستم ریشه همراه خاک، خارج و با شستشوی ریشه با جریان ملایم آب، خاک کاملاً از ریشه‌ها جدا گردید. پس از اندازه‌گیری ارتفاع ریشه‌ها، اندازه‌گیری حجم ریشه از استوانه مدرج و سطح ریشه از رابطه ۱ بدست آمد (علیزاده، ۱۳۸۰).

رابطه ۱: $\text{سطح ریشه‌ها} = 2(\text{حجم ریشه‌ها} \times \pi \times \text{طول ریشه‌ها})^{0/5}$

وزن خشک ریشه با قرار دادن آنها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ خشک شده روی بوته، با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (مدل WinDIAS) اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته از سطح خاک تا انتهای ساقه و برای اندازه‌گیری صفت ضریب آلومتری از رابطه ۲ استفاده شد.

رابطه ۲: ضریب آلومتری = وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) / وزن خشک ریشه (گرم در بوته)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

بررسی آب مورد نیاز[1] از رابطه ۳ و برای اندازه‌گیری میزان کارایی مصرف آب [2] از رابطه ۴ استفاده شد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۵).

رابطه ۳: ماده خشک / تبخیر و تعرق = آب مورد نیاز

رابطه ۴: تبخیر و تعرق / ماده خشک = کارایی مصرف آب

برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار SAS و میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

بررسی صفات ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر رشد ریشه و سطح برگ نشان داد که اثر گوگرد بر صفات حجم ریشه، طول ریشه، سطح ریشه و سطح برگ معنی‌دار بود. اثر نیتروژن نیز بر این صفات معنی‌دار بود امابرهمکنش این دو تیمار فقط بر سطح ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسات میانگین صفات سطح ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین مقدار این صفات در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد و مقادیر گوگرد از نظر آماری اثر معنی‌داری بر این صفات نداشت. کمترین مقدار این صفات نیز در تیمار شاهد (بدون مصرف گوگرد و نیتروژن) بدست آمد (جدول ۴). با بررسی اثر میزان گوگرد در نیتروژن ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برای سطح ریشه تا ۱۳/۰ درصد، سطح برگ تا ۱۱/۴ و ارتفاع بوته ۷/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول ۴). اثر میزان نیتروژن با افزایش سطوح گوگرد افزایش معنی‌داری داشت و این مقادیر برای سطح ریشه ۴۹/۵ درصد، سطح برگ ۱۱۰/۰ درصد و ارتفاع بوته ۳۰/۴ درصد بود که نشان دهنده اثر بیشتر اثر نیتروژن نسبت به گوگرد بود (جدول ۴).

در مطالعه‌های سایر محققین نیز نتایج متفاوت از اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات رشد کاملینا مشهود است. در آزمایشی، با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت دار نسبت به تیمار شاهد، شاخص سطح برگ کاملینا ۱۴/۴ درصد افزایش داشته اما بر ارتفاع بوته اثر معنی‌داری نداشته است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین در تحقیقی دیگر، مشخص شده است که با افزایش مصرف نیتروژن تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار ارتفاع بوته بر کاملینا افزایش معنی‌داری داشته است (Solis *et al*., 2013). نتایج کار سایر محققین و همچنین این آزمایش نشان می‌دهد که اثر این کودها به نوع خاک، شرایط آب و هوایی، نوع کود بخصوص نوع گوگردی و نحوه مصرف آن بستگی دارد که به نحوی با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

[1] . Water requirement
[2] . Water use efficiency

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

جدول۳: تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات ریشه کاملینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		حجم ریشه	طول ریشه	سطح ریشه	وزن خشک ریشه	ضریب آلومتری	ارتفاع بوته	سطح برگ
گوگردی (S)	۳	۲/۲۲**	۲/۰۹**	۳/۲۰ **	۰/۰۰۱ ns	۸۱۴/۰۲ ns	۱/۹۰ ns	۵۴/۲۴**
نیتروژنه (N)	۳	۱۰۲/۰۵**	۵۰/۷۸**	۸۴/۰۷ **	۲/۰۲ **	۸۸۵۹۱/۰۲ **	۲۲۲/۴۶**	۱۶۸۵/۱۵**
اثرهای متقابل S×N	۹	۰/۲۰ ns	۰/۴۵ns	۰/۲۴۷ **	۰/۰۰۲ ns	۳۸۲/۶۷ ns	۳/۲۴**	۲۵/۷۱*
خطا	۳۰	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۰۱۶	۰/۰۷۴	۱۳۰۳/۵۳	۰/۹۷	۱۱/۹۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۹۱	۴/۲۴	۸/۵۸	۷/۷۷	۳/۸۰	۱/۴۵	۷/۲۰

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر گوگرد و نیتروژن بر ویژگی سطح ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته کاملینا

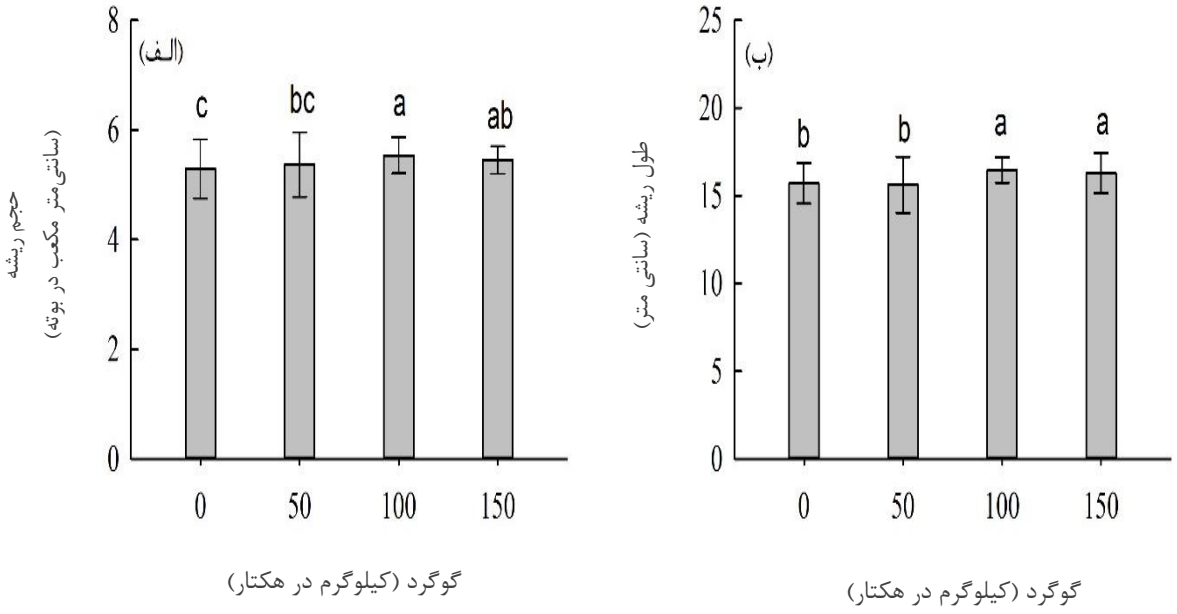
تیمارها		سطح ریشه		سطح برگ		ارتفاع بوته	
گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	سانتی‌مترمربع در بوته	درصد نسبت به شاهد	سانتی‌مترمربع در بوته	درصد نسبت به شاهد	سانتی‌متر	درصد نسبت به شاهد
۰	۰	۱۷/۷۶d ± ۰/۱۹	۱۰۰	۳۱/۷۳d ±۰/۱۷	۱۰۰	۵۷/۲۳c ± ۰/۶۶	۱۰۰
	۴۰	۲۰/۶۳d ± ۰/۰۹	۱۱۶/۱	۳۹/۲۷cd ۰±/۲۵	۱۲۳/۷	۶۵/۶۷bc ± ۰/۶۶	۱۱۴/۷
	۸۰	۲۲/۷۲c ± ۰/۱۴	۱۲۷/۹	۴۷/۲۳c ± ۱/۱۴	۱۴۸/۶	۶۸/۶۷b ± ۰/۳۳	۱۱۹/۹
	۱۲۰	۲۵/۱۰a ± ۰/۰۷	۱۴۱/۳	۵۸/۷۷ab ± ۰/۶۱	۱۸۵/۲	۷۲/۰۰a ± ۰/۵۷	۱۲۵/۸
۵۰	۰	۱۹/۹۱d ± ۰/۱۹	۱۲۱/۱	۳۵/۰۱d ± ۰/۱۱	۱۱۰/۳	۶۴/۰۰bc ± ۰/۵۷	۱۱۱/۸
	۴۰	۲۱/۰۲cd ± ۰/۰۹	۱۸۳/۳	۴۷/۱۰c ± ۶/۹۵	۱۴۸/۴	۶۶/۰۰bc ± ۰/۵۷	۱۱۵/۳
	۸۰	۲۳/۳۴bc ± ۰/۱۴	۱۳۱/۴	۵۱/۷۸b ± ۱/۵۹	۱۶۳/۱	۶۸/۶۷b ± ۰/۳۳	۱۱۹/۹
	۱۲۰	۲۵/۷۸a ± ۰/۱۱	۱۴۵/۱	۶۰/۴۴a ±۰/۳۶	۱۹۰/۴	۷۳/۳۳a ± ۰/۳۳	۱۲۸/۱
۱۰۰	۰	۱۹/۹۶d ± ۰/۲۰	۱۱۲/۳	۳۵/۳۶d ± ۰/۱۲	۱۱۱/۴	۶۴/۶۷bc ± ۰/۳۳	۱۱۳/۰
	۴۰	۲۱/۴۰c ± ۰/۱۵	۱۲۰/۴	۴۱/۰۱cd ± ۰/۱۳	۱۲۹/۲	۶۶/۳۳bc ± ۰/۳۳	۱۱۵/۹
	۸۰	۲۴/۰۲b ± ۰/۱۴	۱۳۵/۲	۵۴/۸۵b ± ۰/۶۹	۱۷۲/۸	۶۸/۳۳b ± ۰/۳۳	۱۱۹/۳
	۱۲۰	۲۶/۱۴a ± ۰/۱۲	۱۴۷/۱	۶۱/۹۸a ± ۰/۱۴	۱۹۵/۳	۷۲/۶۷a ± ۰/۸۸	۱۲۶/۹
۱۵۰	۰	۲۰/۰۷d ± ۰/۱۷	۱۱۳/۰	۳۵/۳۶d ± ۰/۰۷	۱۱۱/۴	۶۱/۳۳c ± ۰/۳۳	۱۰۷/۱
	۴۰	۲۱/۸۴c ± ۰/۱۷	۱۲۲/۹	۴۰/۴۶d ± ۲/۳۰	۱۲۷/۵	۶۵/۵۳bc ± ۰/۳۳	۱۱۴/۱
	۸۰	۲۴/۵۶b ± ۰/۱۲	۱۳۸/۲	۵۷/۶۵ab ± ۰/۱۲	۱۸۱/۶	۶۹/۰۰b ± ۱/۱۵	۱۲۰/۵
	۱۲۰	۲۶/۵۶a ± ۰/۱۲	۱۴۹/۵	۶۶/۶۶a ± ۲/۴۹	۲۱۰/۰	۷۴/۶۷a ± ۰/۳۳	۱۳۰/۴

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد ندارند؛ ± : خطای استاندارد

مقایسه میانگین اثر کود گوگرد بر حجم ریشه نشان داد که بیشترین مقدار حجم ریشه در مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد با ۵/۵۴ سانتی‌مترمکعب در بوته و کمترین مقدار در تیمار شاهد با ۵/۲۹ سانتی‌مترمکعب در بوته بدست آمد (شکل ۱ الف). از نظر طول ریشه نیز بیشترین مقدار در مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بترتیب با ۱۶/۴۷ و ۱۶/۲۸ سانتی‌متر در بوته و کمترین در تیمار شاهد و مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با ۱۵/۷۱ و ۱۵/۶۳ سانتی‌متر دیده شد (شکل ۱ب). افزایش مقادیر سطح ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته با افزایش میزان گوگرد نسبت به شاهد شاید بعلت در دسترس بودن این عنصر ضروری در خاک و شرایط مناسب برای رشد ریشه از نظر اسیدیته باشد که همین باعث جذب بیشتر سایر عناصر و افزایش سطح برگ و ارتفاع بوته شده است.

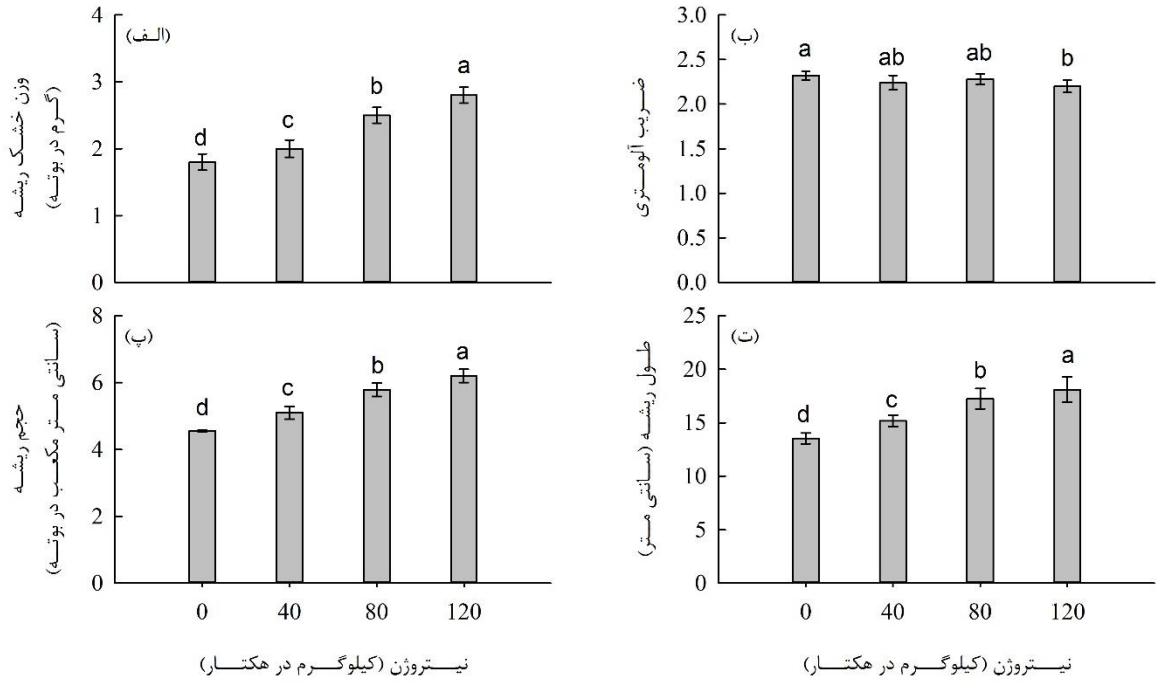
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

وزن خشک ریشه، حجم ریشه و طول ریشه با افزایش مصرف نیتروژن افزایش معنی‌دار داشت و بیشترین مقدار این صفات بترتیب ۲/۸۰ گرم در بوته، ۶/۲۰ سانتی مترمکعب در بوته و ۱۸/۱۱ سانتی‌متر و کمترین مقدار در تیمار شاهد با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد (شکل ۲ الف، پ و ت). ضریب آلومتری که با تقسیم وزن خشک اندام هوایی بر وزن خشک ریشه به‌دست آمد. بر عکس سایر صفات، با افزایش میزان نیتروژن مقدار آن کمتر شد اما بین تیمارهای شاهد و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ملاحظه نگردید (شکل ۲ب). افزایش نیتروژن اگرچه وزن خشک ریشه، حجم ریشه و طول ریشه را افزایش داد اما، وزن خشک ریشه نسبت به وزن خشک ساقه کمتر افزایش داشت. این احتمالاً بدلیل این باشد که بیشترین اثر را وزن خشک اندام هوایی داشته است. در کل، کاملینا دارای سیستم ریشه ضعیف بوده و ۸۲ درصد از تراکم ریشه آن در ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک مشاهده شده است (Gesch and Johnson, 2015). با افزایش حاصلخیزی خاک رشد ریشه گیاه افزایش یافته و بعد از رسیدن به حد معینی، رشد اندام هوایی به رشد ریشه پیشی گرفته و گیاه منابع خود را صرف رشد زایشی می‌کند (Bouranis *et al*., 2020). این نشان می‌دهد که کاملینا به خاک حاصلخیز و مواد غذایی کافی و رطوبت خاک واکنش نشان می‌دهد به همین دلیل در چند بررسی مشخص شده است که کمبود گوگرد، رشد ریشه را کاهش داده است (Kopriva *et al*., 2019; Carciochi *et al*., 2020). اما، تعداد مطالعه‌های انجام شده در بررسی اثرهای کود گوگرد بر رشد ریشه کاملینا اندک می‌باشد و بیشتر به اثرهای آن بر رشد اندام هوایی و عملکرد پرداخته‌اند.



شکل ۱: مقایسه میانگین اثر کود گوگرد بر حجم ریشه (الف) و طول ریشه (ب) کاملینا

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]



شکل ۲: مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر وزن خشک ریشه (الف)، ضریب آلومتری (ب)، حجم ریشه (پ) و طول ریشه (ث) کاملینا

بررسی صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاملینا نشان داد که اثر گوگرد فقط بر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین معنی‌دار شد اما، اثر کود نیتروژن بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار گردید. برهمکنش این دو تیمار هم بر تمامی صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه معنی‌دار نشد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر گوگرد بر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نشان داد که با افزایش میزان گوگرد مقادیر این دو صفت افزایش معنی‌داری یافت اما این افزایش چندان چشمگیر نبود و بین ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مصرفی اختلاف معنی‌داری بدست نیامد (شکل ۳ الف و ب). با افزایش میزان نیتروژن مقادیر صفات وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه افزایش معنی‌داری داشت (شکل‌های ۴ الف، ب، پ، ت، ث و ج). مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن باعث افزایش ۴۷/۶، ۴۳/۲، ۴/۵۸، ۱۱۴/۱، ۴۴/۳ و ۹/۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد. معمولاً، ریشه‌های گیاهان رقبای ضعیفی با میکروب‌های خاک برای جدب مواد مغذی آلی در خاک در نظر گرفته می‌شوند (Moran-Zuloaga *et al*., 2015; Jacoby et al., 2017). آنها فقط می‌توانند گوگرد را به شکل غیرآلی (سولفات) آن بدست آورند (Prasad and Shivay, 2018). اگرچه، شواهد رو به رشدی وجود دارد که گیاهان همچنین می‌توانند طیف وسیعی از مواد مغذی (N، P و Fe) را

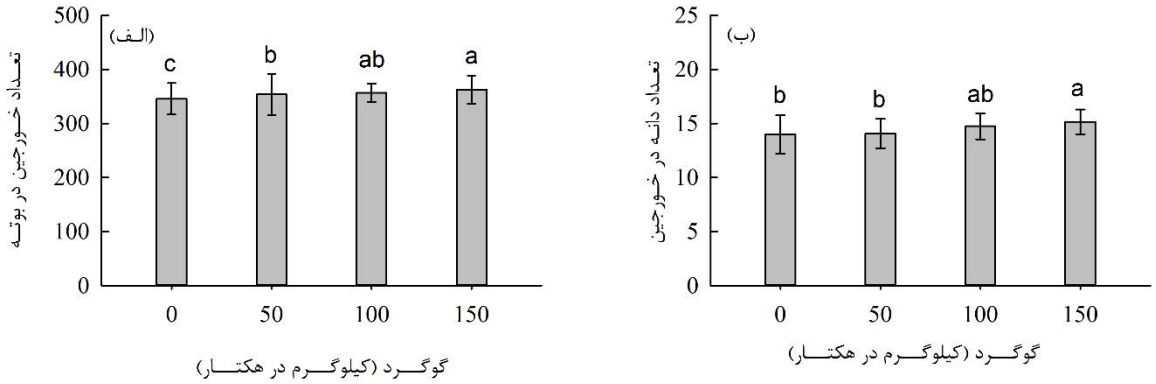
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

که در اشکال آلی با وزن مولکاماکم نگهداری می‌شوند، جذب کنند (Chatzistathis *et al*., 2017; Yao *et al*., 2020; Gatiboni *et al*., 2021). در بررسی رقابت دو اسید آمینه حاوی گوگرد (سیستئین و متیونین) توسط میکروب‌های خاک و ریشه ذرت در ریزوسفر نتیجه گرفته‌اند که میکروب‌های خاک بطور عمده رقیبی برای مصرف گوگرد موجود در مواد آلی خاک می‌باشند و لازم است این اسیدهای آمینه با غلظت بالا در اختیار ریشه قرار گیرد تا جذب بیشتر صورت گیرد (Wang *et al*., 2023). این شاید دلیلی بر این باشد که با مقادیر بالاتر از مقادیر مصرف شده در این تحقیقات اثر گوگرد بر عملکرد کاملینا و یا سایر محصولات، بهتر دیده شده است. در مورد اهمیت کودهای نیتروژنه بر کاملینا در سایر بررسی‌ها نیز مشخص شده است که بر خلاف گیاهان خانواده غلات (گندم و جو)، مصرف نیتروژن در شرایط دیم باعث افزایش عملکرد و اجزای آن شده است. هرچند که میزان مناسب آن، به لحاظ اقتصادی و هم مشکلات زیست-محیطی ضروری است (Jiang *et al*., 2014; Sintim *et al*., 2015; Manore and Yohanns, 2019; Kakabouki *et al*., 2020; Clemente *et al*., 2023).

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در کاملینا

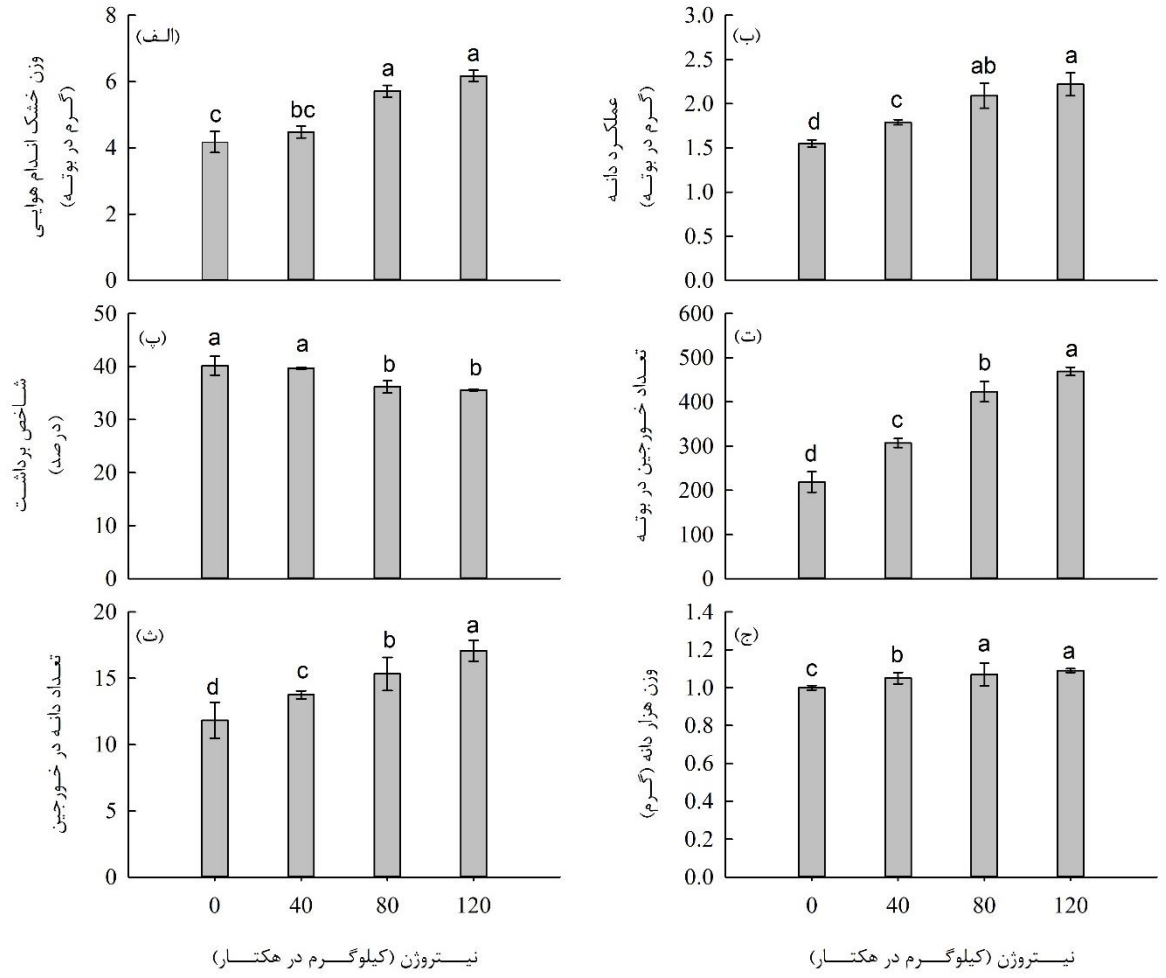
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ماده خشک اندام هوایی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه
کود گوگردی (S)	۳	۰/۱۰^{ns}	۰/۰۰۰۷^{ns}	۲/۸۵^{ns}	۶۴۵/۶۹*	۳/۷۲*	۰/۰۰۱۹^{ns}
کود نیتروژنه (N)	۳	۱۰/۹۲**	۱/۰۹**	۶۶/۵۲**	۱۵۴۲۱۸/۷۵**	۶۰/۱۶**	۰/۰۱۷**
اثرهای متقابل S×N	۹	۰/۱۵^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۷/۹۶^{ns}	۲۰/۸۰^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}
خطا	۳۰	۰/۳۷	۰/۰۰۰۱	۹/۶۰	۵۷/۲۷	۰/۹۳	۰/۰۰۰۸۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۱/۹۱	۰/۶۶	۸/۱۷	۲/۱۳	۶/۶۷	۲/۷۸

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر کود گوگرد بر تعداد خورجین در بوته (الف) و تعداد دانه در خورجین (ب) کاملینا

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]



شکل ۴: مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر وزن خشک اندام هوایی (الف)، عملکرد دانه (ب)، شاخص برداشت (پ)، تعداد خورجین در بوته (ت)، تعداد دانه در خورجین (ث) و وزن هزار دانه (ج) کاملینا

بررسی میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب

نتایج بررسی تجزیه واریانس اثر گوگرد و نیتروژن بر میزان آب مصرف و کارایی مصرف آب کاملینا نشان داد که اثر گوگرد بر این صفات غیرمعنی‌دار اما، اثر نیتروژن بسیار معنی‌دار شد و برهمکنش این دو تیمار هم بر این دو صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۸). با افزایش میزان نیتروژن، میزان آب مصرفی برای تولید یک واحد ماده خشک تا ۳۴/۱ درصد کاهش، و کارایی مصرف آب تا ۴۷/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۹). احتمالاً، با مصرف نیتروژن و تسریع در رشد و نمو و افزایش عملکرد اندام هوایی باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد. بعبارت دیگر، از یک واحد آب مصرفی بهره برداری بیشتری برای تولید ماده خشک شده است. راندمان مصرف آب در کشاورزی بطور کلی، بعنوان تولید محصول در واحد آب مصرفی (تبخیر و تعرق) توصیف می‌شود (Riaz *et al*., 2020). یکی از صفات مهم گیاهی در بالابردن کارایی مصرف آب

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

در مناطق کم باران، استفاده از ارقام متحمل به خشکی بخصوص داشتن سازگاری در کشت در فصول سرد، گلدهی زودتر و تشکیل بذر قبل از شروع خشکی است. در این شرایط، توسعه سریعتر سطح برگ همراه با پوشش اولیه زمین و تولید ماده خشک باعث استفاده بیشتر از دوره پس از گلدهی می‌شود که کاملینا کاملاً از این شرایط بهره می‌برد (Singh *et al.*, 2017). در آزمایشی مزرعه‌ای در استرالیا با بارندگی متفاوت بر چهار رقم کلزا و دو رقم خردل با مقادیر نیتروژن ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نتایج نشان داده‌اند که با افزایش نیتروژن کارایی مصرف آب در ارقام کلزا و خردل افزایش داشته است (Riar *et al.*, 2020). همچنین، در بررسی دیگری مشخص شده است که در کلزای زمستانه با افزایش مقدار نیتروژن تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف آب افزایش داشته است (Gu *et al.*, 2018.). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند که توسعه رشد ریشه در خاک‌های حاصلخیز، زودرسی و مصرف مناسب کود بخصوص نیتروژن برای کاملینا نه تنها باعث کاهش کارایی مصرف آب نمی‌شوند بلکه باعث افزایش نیز می‌گردند.

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر آب مصرفی و کارایی مصرف آب در کاملینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		میزان آب مصرفی	کارایی مصرف آب
کود گوگردی (S)	۳	۱۲۴۹/۲۲^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}
کود نیتروژنه (N)	۳	۲۰۷۷۹۱/۶**	۰/۹۴۴**
اثرهای متقابل S×N	۹	۱۶۱۷/۷۸^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}
خطا	۳۰	۵۱۴۹/۹۱	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۵۸	۸/۶۳

ns، * و ** بترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب در کاملینا

کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	میزان آب مصرفی		کارایی مصرف آب	
	(کیلوگرم آب به ازای یک کیلوگرم ماده خشک)	درصد نسبت به شاهد	(گرم ماده خشک به ازای یک کیلوگرم آب مصرفی)	درصد نسبت به شاهد
۰	۸۲۹/۳^{a} ±۱۲۳/۷۰	۱۰۰	۱/۲۳^{cd} ± ۰/۲۲	۱۰۰
۴۰	۷۴۳/۸^{b} ±۱۵/۹۵	۸۹/۶۹	۱/۳۴^{c} ±۰/۰۲	۱۰۸/۹
۸۰	۵۹۲/۱^{c} ±۱۵/۵۷	۷۱/۳۹	۱/۶۸^{b} ±۰/۰۲	۱۳۶/۵
۱۲۰	۵۴۶/۳^{cd} ±۴/۸۶	۶۵/۸۷	۱/۸۲^{a} ±۰/۰۱	۱۴۷/۹

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد ندارند؛ ± : خطای استاندارد

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط دیم، اکثر صفات ریشه (بجز حجم و طول) و اندام هوایی (بجز تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین) به مصرف گوگرد عکس‌العمل نشان ندادند. برعکس، با افزایش مصرف نیتروژن اکثر صفات ریشه (وزن خشک، حجم و طول) و اندام هوایی (وزن خشک، دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه) و کارایی مصرف آب افزایش یافت. در کاملینا مصرف نیتروژن در شرایط دیم بدلیل نداشتن

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

پنجه، رشد رویشی بیش از حد اتفاق نمی‌افتد (برخلاف آنچه در گندم و جو دیده می‌شود) و این شاید دلیلی باشد بر اینکه مصرف نیتروژن برای کاملینا تا مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار قابل توصیه باشد.

منابع

حسنی، م.، تدین، م. و فدایی تهرانی، ع. ۱۴۰۰. اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر شاخص‌های برگی، کارایی جذب و مصرف نیتروژن، فسفر، گوگرد و عملکرد گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.). فرآیند و کارکرد گیاهی. ۱۰(۴۵): ۱۲۳-۱۴۰.

رستمی، ف. و قبادی، م. ا. ۱۴۰۰. بررسی اثر گوگرد بنتونیت‌دار و سطوح نیتروژن بر رشد ریشه و ویژگی های فیزیولوژیکی و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.). مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳(۵۰): ۲۲-۵.

رستمی، ه.، عباسی، ن.، و حاجی‌نیا، س. ۱۴۰۱. بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت روغن دانه کاملینا تحت کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی گوگرد. علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۳(۴): ۲۴۵-۲۶۰.

رستمی‌احمدوندی، ح.، کهریزی، د.، قبادی، ر. و اکبرآبادی، ع. ۱۳۹۹. کاملینا، دانه روغنی منحصر به فرد با تحمل بالا به خشکی و سرما. گیاهان دانه روغنی. ۲(۲): ۶۳-۷۳.

زارعی، ش.، حسیبی، پ.، کهریزی، د.، و اردبیلی، س. ۱۴۰۰. مطالعه پاسخ های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa* L.) به کاربرد نیتروژن در زمان های متفاوت کاشت. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳(۵۱): ۸۱-۹۵.

زنگنه، م. م.، قبادی، م. ا. و خرمی‌وفا م. ۱۴۰۱. اثر تنش خشکی و نیتروژن بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۴ (۵۳): ۴۹-۶۴.

فعله‌کری، ح.، قبادی، م. ا.، محمدی، غ.، جلالی‌هنرمند، س.، قبادی، م. و سعیدی، م. ۱۳۹۳. اثر آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی دو رقم گندم دیم در شرایط کرمانشاه. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۲):۱۰۱-۱۱۳.

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.). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹ (۳۳): ۶۹-۸۴.

علیزاده، ا. ۱۳۸۰. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۵۳ ص.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

Afshar, R.K., Mohammed, Y.A. and Chen, C. 2016. Enhanced efficiency nitrogen fertilizer effect on camelina production under conventional and conservation tillage practices. Industrial Crops and Products 94: 783-789.

Ali, G., Hannachi, A., Benidir, M., Fellahi, Z.E.A. and Frih, B. 2022. Agro-biochemical characterisation of camelina sativa: A review. Agricultural Reviews 43: 278-287.

Angelini, L.G., Abou Chehade, L., Foschi, L. and Tavarini, S. 2020. Performance and potentiality of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) genotypes in response to sowing date under Mediterranean Environment. Agronomy 10, 1929.

Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J. and Cermak, S. 2016. Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. Industrial Crops Production 94: 690–710.

Bouranis, D.L., Malagoli, M., Avice, J. C. and Bloem, E. 2020. Advances in plant sulfur research. Plants 9(2), 256.

Carciochi, W.D., Salvagiotti, F., Pagani, A., Calvo, N.I.R., Eyherabide, M., Rozas, H.R.S. and Ciampitti, I.A. 2020. Nitrogen and sulfur interaction on nutrient use efficiencies and diagnostic tools in maize. European Journal of Agronomy 116:126045.

Chatzistathis, T., Papaioannou, A., Gasparatos, D. and Molassiotis, A. 2017. From which soil metal fractions Fe, Mn, Zn and Cu are taken up by olive trees (*Olea europaea* L., cv. 'Chondrolia Chalkidikis') in organic groves? Journal of Environmental Management 203:489–499.

Clemente, C., Ercolini, L., Rossi, A., Foschi, L., Grossi, N., Angelini, L. G., Tavarini, S. and Silvestri, N. 2023. Spectral response of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) to different nitrogen fertilization regimes under Mediterranean conditions. Agronomy 13(6), 1539.

Dai, A., Zhao, T. and Chen, J. 2018. Climate change and drought: A Precipitation and evaporation perspective. Current Climate Change Reports 4: 301–312.

Etienne, P., Sorin, E., Maillard, A., Gallardo, K., Arkoun, M., Guerrand, J., Cruz, F., Yvin, J.C. and Ourry, A. 2018. Assessment of sulfur deficiency under field conditions by single measurements of sulfur, chloride and phosphorus in mature leaves. Plants 7(2),37.

Gatiboni, L. C., Schmitt, D. E., Tiecher, T., Veloso, M. G., Dos Santos, D. R., Kaminski, J. and Brunetto, G. 2021. Plant uptake of legacy phosphorus from soils without P fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems 119: 139–151.

Gesch, R.W. and Johnson, J.M.F. 2015. Water use in camelina–soybean dual cropping systems. Agronomy Journal 107: 1098-1104.

Gesch, R. W., Dose, H. L. and Forcella, F. 2017. Camelina growth and yield response to sowing depth and rate in the northern Corn Belt USA. Industrial Crops Production 95: 416–421.

Ghidoli, M., Ponzoni, E., Araniti, F., Miglio, D. and Pilu, R. 2023. Genetic Improvement of *Camelina sativa* (L.) Crantz: opportunities and challenges. Plants 12(3), 570.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

Gu, X., Li, Y., Huang, P., Fang, H. and Chen, P. 2018. Effects of planting patterns and nitrogen application rates on yield, water and nitrogen use efficiencies of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 34(10): 113-123.

Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A. and Kopriva, S. 2017. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions. Frontiers in Plant Science 8: 1–19.

Jiang, Y., Caldwell, C.D. and Falk, K.C. 2014. Camelina seed quality in response to applied nitrogen, genotype and environment. Canadian Journal of Plant Science 94: 971-980.

Kakabouki, I., Folina, A., Karydogianni, S., Zisi, C. and Efthimiadou, A. 2020. The effect of nitrogen fertilization on root characteristics of *Camelina sativa* L. in greenhouse pots. Agronomy Research 18(3): 2060-2068.

Kopriva, S., Malagoli, M. and Takahashi, H. 2019. Sulfur nutrition: impacts on plant development, metabolism, and stress responses. Journal of Experimental Botany 70: 4069–4073.

Krapp, A. 2015. Plant nitrogen assimilation and its regulation: a complex puzzle with missing pieces. Current Opinion in Plant Biology 25: 115-122.

Manore, D. and Yohanns, A. 2019. Evaluating growth, seed yield and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L) in response to seeding rate and nitrogen fertilizer levels under irrigation condition, southern Ethiopia. Agriculture, Forestry and Fisheries 8: 31-35.

Moran-Zuloaga, D., Dippold, M., Glaser, B. and Kuzyakov, Y. 2015. Organic nitrogen uptake by plants: reevaluation by position-specifc labeling of amino acids: Reevaluation of organic N uptake by plants by position-specifc labeling. Biogeochemistry 125: 359–374.

Narayan, O.P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M. and Johri, A. K. 2023. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. Plant Signaling and Behavior 18(1), 2030082.

Neupane, D., Lohaus, R.H., Solomon, J.K. and Cushman, J.C. 2022. Realizing the potential of Camelina sativa as a bioenergy crop for a changing global climate. Plants 11(6), 772.

Ott, M.A., Eberle, C.A., Thom, M.D., Archer, D.W., Forcella, F., Gesch, R.W. and Wyse, D.L. 2019. Economics and agronomics of relay- cropping pennycress and Camelina with Soybean in Minnesota. Agronomy Journal 111: 1281–1292.

Phogat, M., Rai, A.P., Kumar, S. and Angmo, P. 2021. Effect of phosphorus and sulphur application on their dynamics and nodulation in soil under black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper] crop. Legume Research an International Journal 44:315–321.

Prasad, R. and Shivay, Y. S. 2018. Sulphur in soil, plant and human nutrition. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B- Biological Sciences 88: 429–434.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

Riar, A., Gill, G. and McDonald, G. 2020. Different post-sowing nitrogen management approaches required to improve nitrogen and water use efficiency of canola and mustard. Frontiers in Plant Science 11,550735.

Riaz, F., Riaz, M., Arif, M. S., Yasmeen, T., Ashraf, M. A., Adil, M., Ali, S., Mahmood, R., Rizwan, M., Hussain, Q., Zia, A., Ali, M. A., Arif, M. and Fahad, S. 2020. Alternative and non-conventional soil and crop management strategies for increasing water use efficiency. Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth, 323-338.

Ropelewska, E. and Jankowski, K.J. 2020. Effect of sulfur fertilization on the physical and chemical properties of crambe (Crambe abyssinica Hochst ex RE Fries) seeds. Oilseeds and Fats, Crops and Lipids 27, 18: 1-6.

Shah, S.H., Islam, S. and Mohammad, F. 2022. Sulphur as a dynamic mineral element for plants: A review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 22(2): 2118-2143.

Singh, A., Aggarwal, N., Aulakh, G.S. and Hundal, R.K. 2017. Ways to maximize the water use efficiency in field crops–a review. Greener Journal of Agricultural Sciences 2: 108–129.

Sintim, H.Y., Zheljazkov, V.D., Obour, A.K., y Garcia, A.G. and Foulke, T.K. 2015. Influence of nitrogen and sulfur application on camelina performance under dryland conditions. Industrial Crops and Products 70: 253-259.

Solis, A., Vidal, I., Paulino, L., Johnson, B.L. and Berti, M.T. 2013. Camelina seed yield response to nitrogen, sulfur, and phosphorus fertilizer in South Central Chile. Industrial Crops and Products 44: 132-138.

Wang, D., Wang, J., Chadwick, D.R., Ge, T. and Jones. D.L. 2023. Competition for two sulphur containing amino acids (cysteine and methionine) by soil microbes and maize roots in the rhizosphere. Biology and Fertility of Soils 59: 697-704.

Wysocki, D.J., Chastain, T.G., Schillinger, W.F., Guy, S.O. and Karow, R.S. 2013. Camelina: seed yield response to applied nitrogen and sulfur. Field Crops Research 145: 60-66.

Yao, X., Nie J, Bai, R. and Sui, X. 2020. Amino acid transporters in plants: Identification and function. Plants 9:1–17.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]

The effect of sulfur and nitrogen on the characteristics of the roots and shoots of camelina (*Camelina sativa* L.)

A. Taherinezhad[1], M. Ghobadi[2*] and D. Kahrizi[3]

1 & 2) Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
3) Department of Biotechnology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[*]Corresponding author: e.ghobadi@razi.ac.ir

This article is taken from a doctoral dissertation.

Received date: 2023.04.26 **Accepted date: 2023.08.14**

Abstract

Camelina (*Camelina sativa* L.) is a plant with oil seeds suitable for rain fed cultivation. In dry farming conditions, the appropriate amount of nitrogen and sulfur fertilizers play an important role in root and shoot growth. Based on this, an experiment was conducted to investigate the effect of sulfur and nitrogen fertilizers on the growth of the roots and shoot of Camelina (var. Sohail). The factors included sulfur fertilizer (0, 50, 100 and 150 kg ha^{-1}) and nitrogen fertilizer (0, 40, 80 and 120 kg ha^{-1}). The values of root volume and length traits, no. silique plant^{-1} and no. seeds silique^{-1} increased with the use of sulfur, but there was no significant difference between 100 and 150 kg ha^{-1} of sulfur. The highest values of root volume, root height, root dry weight (2.8 g plant^{-1}), allometric coefficient, shoot dry matter, seed yield (2.22 g plant^{-1}), no. silique plant^{-1}, no. seeds silique^{-1}, 1000- seeds weight and the water use efficiency (1.82 g kg^{-1}) were obtained using 120 kg ha^{-1} of nitrogen. The interaction effects between the treatments on leaf area, root surface and plant height traits were significant. The highest amount of these traits were 66.6 cm^2 plant^{-1}, 26.5 cm^2 plant^{-1} and 74.6 cm in sulfur and nitrogen treatments, respectively 150 and 120 kg ha^{-1}. In general, the results showed that in rain fed conditions, increasing the amount of nitrogen fertilizer increased root growth, seed yield and water use efficiency in Camelina, but sulfur fertilizer had no significant effect.

Key words: Root dry weight, Allometric coefficient, Grain yield and Water use efficiency.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-08-21]