اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کاملینا (*Camelina sativa* L. crantz) در شرایط دیم

ماندانا آژند [۱]، محسن سعیدی [۲*]، علی بهشتی آل‌آقا [۳] و دانیال کهریزی [۴]

۱) دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۲ و ۳) دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۴) استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

[*] نویسنده مسئول: msaeidi@razi.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵**

چکیده

کمبود رطوبت و آهکی بودن خاک‌های کشاورزی از عوامل اصلی کاهش کارایی جذب عناصر ریز مغذی نظیر آهن و روی از محلول خاک و کاهش عملکرد گیاهان زراعی در اکثر مناطق کشت دیم محسوب می‌شوند. بنابراین به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سولفات آهن و روی در شرایط دیم بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کاملینا به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در کرمانشاه این پژوهش اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در پنج سطح (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی سولفات آهن و روی هر کدام با غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار) و عامل زمان محلول‌پاشی در دو سطح در ابتدای رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اعمال تیمارهای محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شدند، بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه و روغن، مربوط به تیمار محلول‌پاشی عنصر روی در سطح ۸ در هزار و در زمان گل‌دهی بود که این صفت‌ها را به‌ترتیب از ۱۰۹۹ و ۳۹۹ در شرایط شاهد به ۱۵۸۰ و ۶۶۳ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. تیمارهای محلول‌پاشی و زمان اعمال آن‌ها سبب افزایش معنی‌دار سایر صفت‌های زراعی از جمله عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، درصد روغن و هم‌چنین صفت‌های فیزیولوژیک شامل غلظت کلروفیل a و b، قندهای محلول، پرولین و سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز برگ‌ها شد، اما بر محتوی کاروتنوییدها و فنل کل اثر معنی‌داری نداشتند. بیش‌ترین اثر افزایشی تیمارهای مورد بررسی در صفت‌های فیزیولوژیک، اعمال تیمار سولفات روی در سطح ۴ در هزار در ابتدای رشد زایشی بود که به‌طور متوسط سبب افزایش ۸۵ درصدی سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز شد. به‌نظر می‌رسد که کاربرد سولفات آهن و روی در منطقه مورد مطالعه، از طریق بهبود صفت‌های فیزیولوژیک و سازوکارهای تحمل به تنش خشکی در شرایط دیم، سبب افزایش عملکرد دانه و روغن نسبت به شرایط شاهد شده است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، درصد روغن، رنگیزه‌های فتوسنتزی و قندهای محلول.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

مقدمه

با وجود اهمیت بالای گیاهان روغنی در جیره غذایی مردم و صنعت، هر ساله بیش از ۹۰ درصد از روغن مورد نیاز کشور از واردات تامین می‌گردد (بی‌نام، ۱۳۹۵). کاملینا[1] گیاه روغنی ـ دارویی کم‌تر شناخته شده از خانواده کلم[2] می‌باشد. منشا این گیاه را جنوب شرقی اروپا و آسیای جنوب غربی عنوان نموده‌اند (Larsson, 2013). محتوی روغن بذرهای کاملینا ۴۰-۳۰ درصد بوده (Pavlista *et al.*, 2016) و ۹۰ درصد آن را اسیدهای چرب اشباع نشده شامل آلفا لینولنیک اسید (۴۰-۳۰ درصد)، لینولئیک اسید (۲۵-۱۵ درصد) و حدود ۱۵ درصد اولئیک اسید و سایر اسیدهای چرب تشکیل می‌دهد (Waraich *et al.*, 2013). وجود مقدار بالای آلفا لینولنیک اسید (امگا ۳)، توکوفرول‌ها و سایر آنتی‌اکسیدان‌ها در روغن کاملینا با توجه به نقش این ترکیب‌ها در سلامت انسان، روغن کاملینا را به‌عنوان یک منبع ارتقا دهنده سلامتی از نظر تغذیه‌ای مورد توجه قرار داده است (Ibrahim and El Habbasha, 2015). علاوه بر این مطالعه‌های متعددی سازگاری بالای کاملینا نسبت به شرایط نامساعد محیطی مانند تنش‌های دمایی، خشکی (Waraich *et al.*, 2020)، شوری (Morales *et al.*, 2017) و کمبود عنصرهای غذایی (Sintim *et al.*, 2016) را گزارش نموده‌اند. هم‌چنین نتایج بررسی‌ها طی سال‌های متوالی از شمال تا جنوب اروپا و تا غرب کانادا سازگاری قابل توجه این گیاه را به شرایط محیطی مختلف تایید می‌نمایند (Zanetti *et al.*, 2017). بر اساس نتایج به دست آمده توسط Waraich و همکاران (۲۰۲۰) که نشان دادند با افزایش شدت تنش کم‌آبی پارامترهای رشدی مانند ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، کمی مانند عملکرد روغن و اجزای آن و پارامترهای کیفی مانند درصد روغن و پروتئین دانه کاملینا و کلزا به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند، اما عملکرد، محتوای پروتئین دانه و کیفیت روغن بالاتر کاملینا نشان‌دهنده مقاومت بیش‌تر آن در مقایسه با کلزا در شرایط تنش کم‌آبی بود. هم‌چنین در اولین گزارش ارائه شده از مطالعه‌های کاملینا در ایران Kahrizi و همکاران (۲۰۱۵) عنوان نمودند که کاملینا می‌تواند گزینه مناسبی برای توسعه کشت آن در دیم‌زارهای کشور باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند بخش وسیعی از ایران به‌دلیل کم‌آبی و وضعیت نامناسب خاک، کمبود عناصر ریزمغذی از جمله آهن و روی در گیاهان زراعی از مشکلات عمده به‌شمار می‌رود. بر اساس یافته‌های پژوهشگران محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در چنین شرایطی باعث جذب موثرتر عنصرهای غذایی در برگ‌ها و انتقال به سایر اندام‌های گیاه می‌شود (Srivastava and Malhotra, 2017). علاوه بر این نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که کاربرد عنصرهای ریزمغذی می‌توانند اثرهای مضر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی مختلف مانند تنش خشکی (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Babaeian *et al.*, 2011)، شوری (Torabian *et al.*, 2016) و دمایی (موسویان و همکاران، ۱۳۹۹؛ Waraich *et al.*, 2013) را در

1- *Camelina sativa* L.crantz
2- *Brasicaceae*

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

گیاهان کاهش دهند. در رابطه با نحوه کاهش اثر تنش‌های محیطی توسط ریزمغذی‌ها، افزایش سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در سلول‌های گیاهی با کاربرد عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن و روی باعث کاهش سمیت گونه‌های فعال اکسیژن[1](ROS) و تعدیل شرایط تنش می‌گردند (Lipiec *et al.*, 2013). در همین زمینه نتایج Bybordi و Mamedov (۲۰۱۰) نشان داد، محلول‌پاشی عنصرهای روی و آهن علاوه بر افزایش غلظت این عناصر در برگ‌های کلزا، بر سرعت فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اثر معنی‌دار داشته است، به‌طوری که سرعت فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، این در حالی است که کاربرد خاکی این عناصر چنین اثری را نداشت. هم‌چنین نتایج به‌دست آمده از بررسی اثر محلول‌پاشی عنصر روی بر گیاه خردل هندی[2] در شرایط تنش خشکی نشان دهنده کاهش معنی‌دار اکثر صفت‌های مورد بررسی بود، اما محلول‌پاشی عنصر روی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، عملکرد زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته، محتوی کلروفیل، کاروتنوییدها و هم‌چنین محتوی نسبی آب برگ شد (Khan *et al.*, 2016). پاینده و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند در شرایط تنش خشکی به‌منظور تولید حداکثر عملکرد کمی و کیفی در کلزا، کاربرد کودهای ریز مغذی آهن و روی به‌صورت محلول‌پاشی توصیه می‌گردد. در همین ارتباط عباسی و همکاران (۱۳۹۸) افزایش عملکرد دانه به میزان ۴۴ درصد نسبت به تیمار شاهد در کلزا در شرایط کاربرد تیمار نانو کلات روی و نانو کلات آهن را گزارش نمودند. با وجود این که تاکنون پژوهش‌های متعددی در مورد استفاده از عنصرهای ریز مغذی در گیاهان زراعی صورت گرفته است، اما در شرایط دیم به خوبی مشخص نیست که استفاده از این عناصر بر کدام ویژگی یا ویژگی‌های فیزیولوژیک اثر بیش‌تری داشته و تا چه حدی می‌توانند اثرهای خسارت‌زای تنش را کاهش دهند. از طرف دیگر با توجه به بحران کم‌آبی و فقر غذایی خاک‌های کشور به‌ویژه از نظر عناصر ریز مغذی روی و آهن و قابلیت‌های منطقه در زمینه تولید گیاهان روغنی ـ دارویی و اهمیت معرفی گیاهان جدید با نیاز آبی کم‌تر، ضرورت این نوع پژوهش‌ها احساس می‌شود. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی واکنش‌های فیزیولوژیک کاملینا در شرایط دیم و امکان بهبود عملکرد این گیاه از طریق محلول‌پاشی کودهای سولفات روی و آهن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه اجرا شد. ویژگی‌های آب و هوایی و خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. فاکتورهای آزمایش شامل محلول‌پاشی

1- Reactive oxygen species
2- *Brassica junceae* L.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

عناصر ریزمغذی در پنج سطح شامل سولفات آهن و روی هرکدام با غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار و شاهد (عدم محلول‌پاشی)، زمان محلول‌پاشی در دو سطح شامل محلول‌پاشی در ابتدای مرحله رشد رویشی (کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH) و زمان گل‌دهی کاملینا (زمان گل‌دهی یعنی زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها در هر کرت به گل رفته بودند یا کد ۶۰۵ بر اساس سیستم کدبندی BBCH) بودند (Martinelli and Galasso, 2011). در این تحقیق از رقم سهیل (رقم اصلاحی دانشگاه رازی) که برای شرایط کشت دیم اصلاح شده است، استفاده شد. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و پیاده-سازی نقشه طرح، کرت‌ها آزمایش شامل ۵ ردیف کاشت با فواصل ۲۲/۵ سانتی‌متر و به طول ۶ متر ایجاد گردید و کشت در مزرعه با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع در اولین زمان مناسب در اوایل آذر ماه انجام گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی در هر کرت انجام شد. کاربرد کود نیتروژن، فسفر و پتاس بر اساس نیاز و با توجه به داده‌های جدول ۱ انجام شد. محلول‌پاشی با استفاده از سم‌پاش دستی و از ارتفاع پایین در زمان‌های مورد نظر صورت گرفت و به‌منظور جلوگیری از اثرگذاری تیمارهای محلول‌پاشی بر کرت‌های مجاور بین کرت‌های فرعی و بین بلوک‌ها به‌ترتیب ۰/۹ و ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. نمونه‌های برگی جهت اندازه‌گیری صفت‌های فیزیولوژیک ۷ روز پس از گل‌دهی تهیه شدند و برای اندازه‌گیری-های مورد نظر تهیه و تا زمان انجام آزمایش‌های مربوطه در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

جدول۱: ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش

بافت	رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم	ماده آلی	اسیدیته	منگنز	روی	آهن	مس	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
	(درصد)						(میلی گرم بر کیلوگرم)						(درصد)
رسی ـ سیلتی	۴۵/۴	۴۳/۹	۱۰/۷	۲۸	۰/۹۹	۷/۸	۱۴	۰/۴۸	۴/۵	۱/۸	۳۶۰	۱۸	۰/۰۹

اندازه‌گیری برخی صفت‌های فیزیولوژیک

غلظت کلروفیل و کاروتنوییدهای برگ بر اساس روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) و محتوی پرولین بر اساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شدند و بر این اساس پس از استخراج و خالص‌سازی، جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری غلظت قندهای محلول کل از روش فنل اسید سولفوریک استفاده شد (Sheligl, 1986). استخراج و اندازه‌گیری محتوی ترکیب‌های فنلی (فنل کل) با روش Pourmorad و همکاران (۲۰۰۶) صورت گرفت. سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز بر اساس کاهش جذب H_2O_2 بر اساس روش Sinha (۱۹۷۲)، پراکسیداز بر اساس روش Chance و Meahly (۱۹۹۵)، سوپراکسید دیسموتاز بر اساس روش Beauchamp و Fridovich (۱۹۷۱) و هم‌چنین غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها با روش Bradford (۱۹۷۶) تعیین گردیدند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

اندازه‌گیری برخی صفت‌های مورفولوژیک

در زمان رسیدگی تکنولوژیک و به‌منظور محاسبه عملکرد دانه و زیست‌توده، بعد از حذف اثر حاشیه‌ها، برداشت در سطح یک مترمربع صورت گرفت و عملکرد نهایی دانه و زیست‌توده محاسبه گردید. تاریخ برداشت ۴ تیر ماه بود. درصد رطوبت دانه بوته‌ها در در این مرحله به‌طور متوسط حدود ۱۰ درصد و کد ۸۰۹ از نظر سیستم کدبندی BBCH را داشت (Martinelli and Galasso, 2011). هم‌چنین به‌منظور اندازه‌گیری سایر صفت‌های زراعی از هر واحد آزمایشی تعداد ۲۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفت‌های تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه مورد بررسی قرار گرفتند. استخراج روغن توسط حلال پترولیوم اتر با استفاده از دستگاه سوکسله انجام شد و پس از تعیین درصد روغن، عملکرد روغن نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن محاسبه گردید (AOAC, 1990). پس از بررسی و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و با توجه به وجود عامل صفر (شاهد)، عامل دیگر یعنی زمان اعمال عناصر در این سطح متغیر نبودند (کرت‌های غیرواقعی یا موهومی)، بنابراین ارائه جدول تجزیه واریانس با اندکی تغییر خواهد بود (Jain and Srivastava, 2007).

جدول۲: میانگین بارش و درجه‌حرارت محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	۰	۱۲	۳۰/۸	۲۷/۲	۹۰/۳	۳۴/۶	۶۴/۱	۶۹	۵/۳	۰	۰	۰/۱۱
میانگین دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد)	۱۸/۱	۱۴/۳	۵/۴	۶/۱	۶/۱	۱۰	۱۳/۸	۱۵/۰۴	۲۲/۰۳	۲۸/۶	۲۹/۲	۲۵/۷

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف تیمارهای محلول‌پاشی کودهای سولفات روی و آهن و زمان اعمال تیمارهای محلول‌پاشی بر برخی از صفت‌های زراعی و فیزیولوژیک برگ‌های کاملینا در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است.

محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی

مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای محلول‌پاشی و زمان اعمال آن‌ها افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل a و b در هر دو زمان اعمال شده نسبت به تیمار شاهد را نشان دادند (شکل ۱)، این در حالی بود که تغییری در محتوی کاروتنوییدها با اعمال این تیمارها مشاهده نشد (جدول ۴). واکنش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی به تیمارهای محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد متفاوت بود، در این شرایط سطوح مختلف تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن در ابتدای مرحله رویشی و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.48.9.5]

محلول‌پاشی سولفات روی در ابتدای مرحله زایشی اثر بیش‌تری بر محتوی کلروفیل a داشتند. بیش‌ترین درصد افزایش محتوی کلروفیل a در تیمارهای محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۴ در هزار در مرحله رویشی و تیمار سولفات روی با غلظت ۸ در هزار در مرحله زایشی به ترتیب با ۸۳ و ۸۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد دیده شد. هر چند سایر تیمارهای محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد شدند، اما محلول‌پاشی در مرحله زایشی سبب افزایش بیش‌تر محتوی کلروفیل b شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوی کلروفیل b در تیمار محلول‌پاشی آهن با غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار به ترتیب با ۷۲ و ۶۹ درصد افزایش دیده شد. هم‌چنین تیمارهای محلول‌پاشی اثر بیش‌تری بر افزایش محتوی کلروفیل a نسبت به محتوی کلروفیل b داشتند. به‌طور کلی در شرایط بروز تنش خشکی دامنه وسیعی از اختلالات مولکولی که به آسیب‌های فیزیولوژیک و در نهایت کاهش عملکرد کمی و کیفی در گیاهان منجر به می‌شود، می‌تواند ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] (ROS) باشد، به‌طوری که ROSها سبب پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین‌های غشایی، مولکول DNA و هم‌چنین مولکول‌هایی نظیر کلروفیل و آنزیم‌های مختلف در سلول شده که در نهایت سبب بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌گردد (Carocho and Ferreira, 2013). در پژوهش حاضر نیز تیمارهای محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b در مقایسه با تیمار شاهد شدند. بنابراین با توجه به نقش آهن و روی در سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌توان نتیجه گرفت با افزایش دسترسی به این عناصر از طریق محلول‌پاشی برگ به ویژه در زمان رشد زایشی غلظت کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی بیش‌تر شده که در نهایت افزایش و بهبود عملکرد را نیز در پی‌داشته است. اثر افزایشی ناشی از محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی در سویا نیز توسط Zolfaghari Gheshlaghi و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شده است.

محتوی فنل کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

اعمال تیمارهای محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشدی کاملینا اثر معنی‌داری بر محتوی فنل کل برگ‌ها نداشت (جدول۴)، اما نتایج ارزیابی تیمارهای محلول‌پاشی و زمان اعمال این تیمارها بیان کننده افزایش سرعت فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز با محلول‌پاشی غلظت‌های سولفات روی در ابتدای مرحله رشد زایشی نسبت به تیمار سولفات آهن بود. بیش‌ترین سرعت فعالیت آنزیم‌های مذکور مربوط به اعمال تیمار روی با غلظت ۴ در هزار در مرحله رشد زایشی بود که اختلاف معنی‌داری با غلظت ۸ در هزار این تیمار در مرحله زایشی نداشت. محلول‌پاشی سولفات آهن بیش‌ترین اثر افزایشی بر سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در مرحله رشد رویشی داشت (شکل۲). یکی از مواردی که بیان کننده مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها می‌باشد، وجود سطح بالای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است. به

1- Reactive oxygen species

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

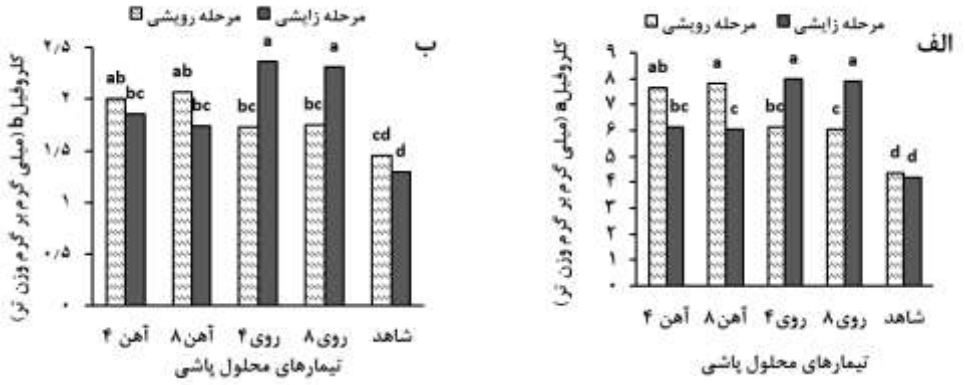
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

طوری که در پژوهشی بر روی کلزا در شرایط تنش خشکی افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز مشاهده شد که این افزایش فعالیت سبب تعدیل شرایط تنش و بهبود عملکرد نیز گردید (Abedi and Pakniyat, 2010). بر اساس نتایج با توجه به بررسی سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، احتمالاً افزایش سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در کاهش اثرهای مخرب ROS ناشی از تنش موثرتر بود. افزایش سرعت فعالیت این آنزیم‌ها در تیمارهای محلول‌پاشی قابل توجه بود. افزایش سرعت فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند به‌دلیل اعمال تیمار تنش رطوبتی در اثر کشت محصول در محیط دیم و نقش تنظیم کنندگی آهن و روی باشد. مشابه با نتایج ما بررسی Ma و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که کاربرد روی بیان ژن‌های مربوط به آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و در نتیجه افزایش فعالیت آن‌ها را در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داده است.

جدول۳: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفت‌های مورد بررسی در واکنش به سطوح مختلف تیمارهای محلول‌پاشی سولفات روی و آهن در ابتدای مراحل رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا در شرایط دیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	عملکرد روغن	کلروفیل a	کلروفیل b	قندهای محلول	پراکسیداز	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز
تکرار	۲	۱۵۸۶ ns	۴/۷۹ ns	۰/۴۸۶ ns	۲۷۶۲ ns	۰/۲۴ ns	۰/۱۲۷ ns	۱/۹۶*	۳۸/۶۶ ns	۶۳/۷ ns	۰/۰۰۰۳ ns
زمان اعمال	۱	۱۲۲۸۰۳**	۱۱/۷۱ ns	۰/۹۵۱**	۳۶۷۰۸**	۰/۰۳ ns	۰/۰۹۵ ns	۱/۲۸۵**	۱۱۶/۹۴ ns	۴۱۰۳**	۰/۰۰۰۱۵ ns
محلول‌پاشی	۴	۱۱۷۳۵۵**	۱۳۰/۱**	۱/۸۵۱**	۲۹۲۴۲**	۸/۷۵**	۰/۴۶۳**	۵/۳۹۳**	۵۳۸/۷**	۴۱۵۰**	۰/۰۰۰۵**
زمان × محلول	۳	۵۴۵۱۰**	۵۹/۳۷**	۰/۶۶۰**	۱۱۱۷۹**	۶/۱۵**	۰/۳۹۷*	۲/۶۴**	۱۹۳/۰۳**	۱۹۹۱**	۰/۰۰۰۱**
خطا	۱۹	۶۷۵۹	۱۰/۹۴	۰/۰۸	۱۴۸۶	۰/۸۲	۰/۰۶	۰/۴۵	۲۹/۵۴	۳۵۰/۲۱	۰/۰۰۰۰۵
ضریب تغییرات (٪)		۶/۰۹	۵/۳۷	۳/۷۹	۷/۴	۱۴/۰۲	۱۲/۹۰	۱۲/۶۷	۱۰/۷۹	۱۲/۱۳	۲۱/۸

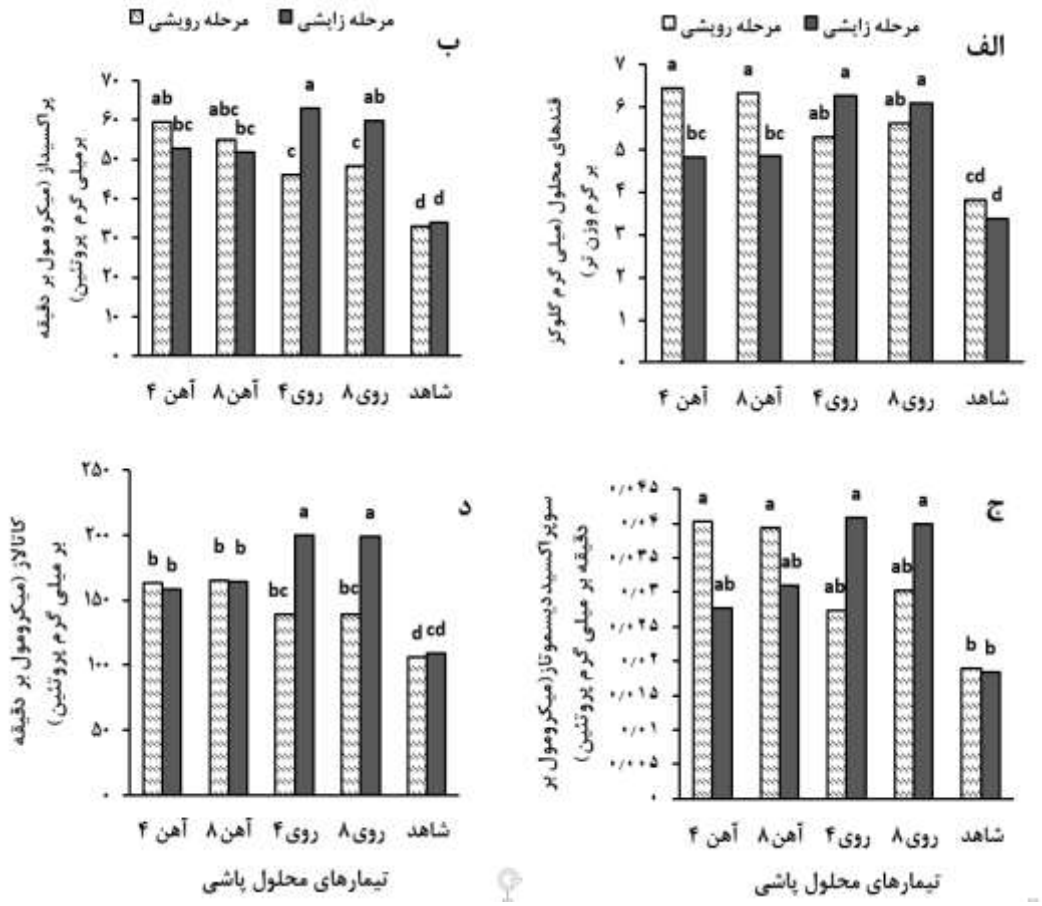
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.



شکل ۱: اثر برهم‌کنش تیمارهای محلول‌پاشی سولفات آهن و روی و زمان اعمال آن‌ها بر صفات الف) محتوی کلروفیل a ب) محتوی کلروفیل b

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ براساس سیستم کدبندی BBCH.
در سطوح مختلف محلول‌پاشی میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.48.9.5]



شکل ۲: اثر برهم‌کنش تیمارهای محلول‌پاشی سولفات آهن و روی و زمان اعمال آن‌ها بر صفات الف) محتوی قندهای محلول کل ب) آنزیم پراکسیداز (POD) ج)آنزیم سوپراکسید دیسموتاز(SOD) د)آنزیم کاتالاز (CAT)

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ براساس سیستم کدبندی BBCH.

در سطوح مختلف محلول‌پاشی میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول۴: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفت‌های مورد بررسی در واکنش به سطوح مختلف تیمارهای محلول‌پاشی سولفات روی و آهن در ابتدای مراحل رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا در شرایط دیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد زیست توده	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	درصد روغن	پرولین	پروتئین‌های محلول	فنل کل	کاروتنوییدها
تکرار	۲	۴۰۳۶۶۲	۹/۱۷	۰/۰۰۵	۸/۱۲	۹/۱۴	۱۳/۸۷	۶/۴۴	۰/۰۶۹
زمان اعمال	۱	۹۷۰۸۹۹۶**	۳۷/۱۴*	۰/۰۱۵	۱۲/۹۴*	۵۳/۲۷**	۴۹/۵۶*	۶۱/۵۹	۰/۷۳۳
محلول‌پاشی	۴	۱۴۹۰۰۴	۲۱/۴۷*	۰/۰۷۹**	۱۵/۲۵**	۵۳/۴۵**	۷۸/۴۱**	۳۴/۲۹	۰/۳۸۱
زمان × محلول	۳	۴۶۰۸۵۱	۲/۳۸	۰/۰۰۵	۰/۸۷	۴/۱۴	۹/۹۹	۱۳/۹۵	۰/۲
خطا	۱۹	۶۶۱۱۲۲	۶/۶۱	۰/۰۰۴	۲/۶۳	۴/۵۸	۸/۲۹	۱۷/۶۸	۰/۲۲
ضریب تغییرات (٪)		۷/۱۰	۱۱/۶۷	۶/۱۳	۴/۲۱	۱۲/۶	۱۸/۷۱	۱۷/۵۱	۲۶/۵

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

محتوی قندهای محلول کل برگ

افزایش تجمع قندهای محلول با محلول‌پاشی سولفات آهن و روی در هر دو مرحله رشدی مورد بررسی مشاهده گردید (شکل۲-الف)، اما روند این افزایش با توجه به زمان‌های اعمال تیمارها متفاوت بود به‌طوری‌که در زمان رشد رویشی محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار سولفات آهن به‌ترتیب سبب افزایش ۷۸ و ۷۵ درصدی محتوی قندهای محلول و محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار سولفات روی در مرحله زایشی به‌ترتیب سبب افزایش ۷۴ و ۶۹ درصدی محتوی قندهای محلول در شرایط دیم شدند. در شرایط تنش، تجمع قندهای محلول بیان برخی از ژن‌های مرتبط با تنش را در گیاهان افزایش می‌دهند که این امر می‌تواند منجر به بروز برخی از پاسخ های دفاعی در این شرایط گردد (Hessini *et al.*, 2009). علاوه بر این در این شرایط افزایش سنتز و تجمع قندهای محلول با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها می‌تواند در کاهش اثرهای تنش و در نهایت بهبود عملکرد دانه موثر واقع شود.

محتوی پروتئین‌های محلول برگ

بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای محلول‌پاشی و زمان اعمال آن‌ها بر محتوی پروتئین‌های محلول برگ نشان داد، تیمارهای محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف آهن و روی باعث افزایش محتوی پروتئین‌های محلول نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۵). بیش‌ترین محتوی پروتئین‌های محلول برگ‌ها در تیمار محلول‌پاشی آهن و روی با علظت ۸ در هزار به‌دست آمد. این مقادیر به‌ترتیب ۷۴ و ۷۹ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان دادند. در واقع تغییر محتوی پروتئین‌های محلول برگ در شرایطی هم‌چون تنش بسیار حایز اهمیت است، به‌طوری‌که افزایش سنتز پروتئین‌هایی از جمله دی‌هیدرین‌ها در واکنش به تنش‌ها با افزایش فرایند تنظیم اسمزی، سلول‌های در معرض تنش را از پسابیدگی محافظت می‌کنند (Ramezani *et al.*, 2012). مطالعه‌های مختلف نیز بر نقش کلیدی روی و آهن در سنتز پروتئین‌های مرتبط با شرایط تنش به‌عنوان جزیی از سیستم آنتی اکسیدانی گیاهان تاکید دارند (Rout and Sahoo, 2015). در پژوهش حاضر نیز با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی عناصر روی و آهن از طریق افزایش فتوسنتز، سنتز ترکیب‌های مختلف و تحریک رشد، به افزایش محتوای پروتئین‌های محلول برگ منجر شده باشد.

محتوی پرولین

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول‌پاشی و زمان اعمال آن‌ها بر محتوی پرولین برگ‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده سایر تیمارهای محلول‌پاشی در مراحل رویشی و زایشی سبب افزایش معنی‌دار محتوی پرولین برگ‌ها شدند. افزایش محتوی پرولین با اعمال تیمارها در ابتدای رشد زایشی بیش‌تر از رشد رویشی بود. بیش‌ترین افزایش محتوی پرولین در تیمارهای محلول‌پاشی آهن با غلظت ۸ و روی با غلظت ۴ در هزار به ترتیب با ۵۸ و ۶۰ درصد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

افزایش نسبت به تیمار شاهد دیده شد. بررسی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن در آفتابگردان نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی افزایش سنتز و تجمع اسمولیت‌های سازگار قندهای محلول و پرولین در برگ‌ها را موجب شد (Babaeian *et al.*, 2011). نتایج این آزمایش نشان داد محلول‌پاشی در ابتدای رشد رویشی و زایشی با افزایش غلظت قندهای محلول و پرولین برگ نسبت به تیمار شاهد و با توجه به اثر این ترکیب‌ها در افزایش محتوی نسبی آب برگ و در نتیجه تنظیم پتانسیل اسمزی گیاه در جهت تعدیل شرایط تنش موثر واقع شد.

جدول۵: مقایسه میانگین اثرهای ساده محلول‌پاشی و زمان اعمال در ابتدای رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا بر صفت‌های مورد بررسی در شرایط دیم

تیمارها / محلول‌پاشی	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	وزن هزار دانه (گرم)	محتوی روغن (درصد)	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر)	پروتئین‌های محلول (میلی‌گرم برگرم‌وزن تر)
آهن ۴	۶۲۱۰ a*	۲۳/۴ a	۱/۰۸۸ a	۳۷/۷۲ bc	۱۷/۹۰ a	۱۳/۱۷ bc
آهن ۸	۶۳۹۴ a	۲۲/۳ a	۱/۰۷۰ a	۳۸/۸ ab	۱۸/۵۶ a	۱۸/۷۱ a
روی ۴	۶۱۵۴ a	۲۳/۰ a	۱/۱۰۷ a	۳۸/۹۷ ab	۱۸/۷۲ a	۱۵/۱۲ b
روی ۸	۶۲۹۶ a	۲۲/۷ a	۱/۰۴۸ a	۴۰/۶ a	۱۸/۱۰ a	۱۹/۲۱ a
شاهد	۵۹۷۵ a	۱۸/۷ b	۰/۸۲۷ b	۳۶/۳ c	۱۱/۶۹ b	۱۰/۷۳ c
زمان اعمال						
مرحله رویشی	۵۶۳۷/۰۴ b	۲۳/۱۵ a	۱/۰۵ a	۳۷/۸۲ b	۲/۰۱ b	۱۴/۱۰ a
مرحله زایشی	۶۷۷۴/۸۱ a	۲۰/۹۲ b	۱/۰۱ a	۳۹/۱۳ a	۲/۲۶ a	۱۶/۶۰ b

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ براساس سیستم کدبندی BBCH.

اعداد با حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت

اثر تیمار محلول‌پاشی بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار نبوده، به‌طوری‌که بین تیمارهای محلول‌پاشی و شاهد تفاوتی مشاهده نشد، اما زمان محلول‌پاشی بر افزایش عملکرد زیست‌توده اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). تیمار محلول‌پاشی در زمان رشد زایشی سبب افزایش عملکرد زیست‌توده از ۵۶۳۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط شاهد به ۶۷۷۴ کیلوگرم در هکتار شد. از طرفی اثر زمان اعمال محلول‌پاشی بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود، اما سایر غلظت‌های محلول‌پاشی آهن و روی موجب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شدند. البته بین میزان افزایش شاخص برداشت در تیمارهای مذکور تفاوت معنی‌دار دیده نشد، میزان افزایش شاخص برداشت در این شرایط از ۱۸/۹ درصد در شرایط شاهد به‌طور متوسط به ۲۳ درصد در تیمارهای محلول‌پاشی رسید (جدول ۵). در این باره Cakmak (۲۰۰۸) نشان داد که عنصر روی نقش مهمی در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

تولید عملکرد زیست‌توده ایفا می‌نماید و مصرف روی و آهن به‌صورت مجزا از ترکیب آن‌ها اثرهای بهتری بر عملکرد زیست‌توده دارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد در پژوهش حاضر محلول‌پاشی این عناصر عملکرد دانه را نسبت به عملکرد زیست-توده بیش‌تر افزایش داده که این امر باعث افزایش شاخص برداشت شده است.

عملکرد دانه و اجزا آن

عملکرد دانه در تیمار شاهد عدم محلول‌پاشی به میزان ۱۰۹۹ کیلوگرم در هکتار بود، محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف آهن و روی در ابتدای مرحله رشد رویشی و زایشی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شدند (شکل۲ الف). اثرپذیری عملکرد دانه از سولفات روی و آهن با توجه به زمان اعمال آن‌ها متفاوت بود. در مرحله رشد رویشی محلول‌پاشی آهن بر افزایش عملکرد دانه موثرتر واقع شد و این در حالی بود که محلول‌پاشی روی در ابتدای مرحله زایشی اثر بیش‌تری بر افزایش عملکرد دانه داشت. به‌طورکلی بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۸ در هزار در ابتدای مرحله زایشی با ۱۵۸۰ کیلوگرم در هکتار (۴۴ درصد بیش‌تر از شاهد) به‌دست آمد که البته تفاوت معنی‌داری با غلظت ۴ در هزار آن در همین مرحله نداشت. علاوه بر این درصد افزایش عملکرد دانه با محلول‌پاشی سولفات روی در مرحله زایشی نسبت به سولفات آهن در مرحله رویشی به‌طور میانگین در حدود ۱۲ درصد بالاتر بود. در همین رابطه ضیائی و همکاران (۱۳۹۹) عنوان نمودند که در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی با سولفات روی و منگنز می‌تواند سبب تعدیل و کاهش اثرهای ناشی از تنش خشکی در گیاه کینوا نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی شود، به‌طوری‌که محلول-پاشی با سولفات روی سبب افزایش ۲۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی گردید که البته این افزایش ۱۳ درصد بالاتر از اعمال تیمار محلول‌پاشی سولفات منگنز بود. تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته در واکنش به غلظت‌های آهن و روی به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند. بیش‌ترین افزایش تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته مربوط به تیمار محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۸ در هزار بود که به‌ترتیب سبب افزایش ۲۷ و ۲۸ درصدی این صفت‌ها نسبت به شاهد شدند. بررسی مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای محلول‌پاشی بر صفت وزن هزار دانه نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی در ابتدای رشد رویشی و زایشی کاملینا موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شدند که البته بین زمان های اعمال آن‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد مربوط به تیمار محلول‌پاشی روی با غلظت ۴ در هزار با ۳۴ درصد افزایش بود که البته تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای محلول‌پاشی نداشت (جدول ۵). به‌طورکلی با توجه به این‌که تغییرات اجزا عملکرد دانه تا حد زیادی به میزان فتوسنتز طی مراحل گل‌دهی و غلاف‌دهی بستگی دارد، بنابراین وجود هر عامل محدود کننده فتوسنتز در این دوره باعث کاهش اجزا عملکرد می‌شود. در این پژوهش نیز هم‌زمانی مرحله زایشی کاملینا با تنش خشکی انتهای فصل در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

منطقه موجب کاهش اجزای عملکرد دانه شامل تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه در خورجین شد. اثر مثبت آهن و روی در واکنش به شرایط تنش خشکی بر اجزای عملکرد در مطالعه‌های مختلفی گزارش شده است Ebrahimian و Bybordi (۲۰۱۱) و در رابطه با اثر محلول‌پاشی Rahmani و همکاران (۲۰۱۹) عنوان نمودند که بهبود صفت‌های فیزیولوژیک گلرنگ در اثر تیمارهای محلول‌پاشی روی منجر به افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد دانه و در نهایت عملکرد گردید. علاوه بر این بهبود اجزای عملکرد می‌تواند به‌دلیل اثر قابل توجه عنصر روی بر اندام‌های گل از جمله پرچم و دانه‌های گرده باشد که در گیاهان خودگشن افزایش فعالیت پرچم‌ها می‌تواند موجب افزایش تعداد گل‌های بارور و در نهایت تعداد غلاف در بوته شود (Nadergoli *et al.*, 2011) که این نتایج در تایید مشاهده‌های ما نیز می‌باشد، بنابراین در پژوهش حاضر تعداد خورجین در بوته را می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد دانه محسوب کرد به‌طوری که بیش‌ترین تعداد خورجین با محلول‌پاشی سولفات روی در ابتدای رشد زایشی به‌دست آمد که بالاترین مقدار عملکرد دانه نیز مربوط به همین تیمار محلول‌پاشی بود، به عبارت دیگر اثر مثبت محلول‌پاشی آهن و روی بر اجزای عملکرد باعث افزایش میزان عملکرد دانه گردید، به‌طوری‌که افزایش تعداد خورجین در بوته بر تعداد دانه در بوته نیز افزوده شده که در نهایت بر عملکرد کل دانه اثر مثبتی داشت.

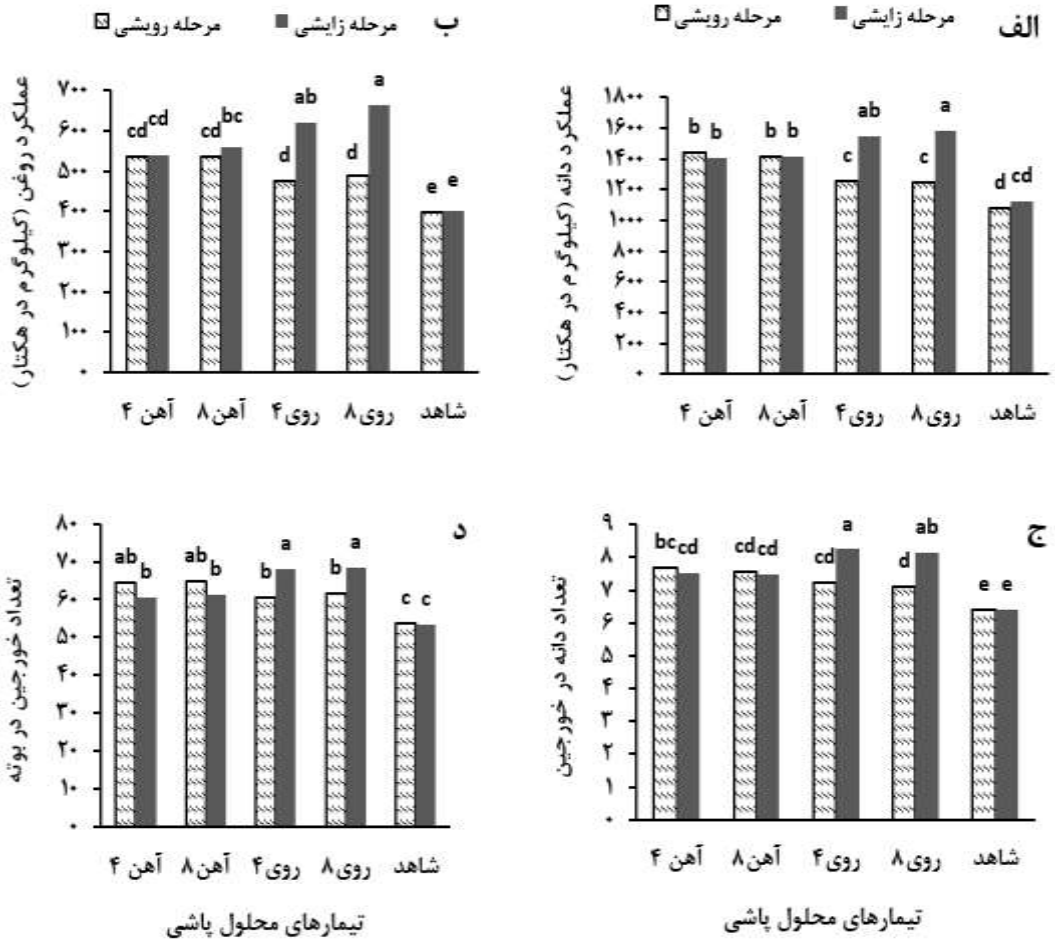
درصد و عملکرد روغن

نتایج بررسی مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف آهن و روی نشان داد که سایر تیمارها سبب افزایش درصد روغن دانه نسبت به تیمار شاهد شدند. بیش‌ترین افزایش معنی‌دار درصد روغن نسبت به تیمار شاهد (۳۶/۳ درصد) مربوط به تیمار سولفات روی با غلظت ۸ در هزار (۴۰/۶ درصد) با ۱۱/۸ درصد افزایش بود. هم‌چنین سایر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد (با ۳۹۹ کیلوگرم روغن در هکتار) شدند. بیش‌ترین افزایش عملکرد روغن دانه در واکنش به تیمارهای محلول‌پاشی روی با غلظت ۴ و ۸ در هزار در ابتدای مرحله رشد زایشی به ترتیب با ۶۱۹ و ۶۶۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵۵ و ۶۶ درصد افزایش نشان دادند. Singh و Sinha (۲۰۰۵) کاهش درصد روغن گیاهان روغنی در شرایط تنش را به افزایش اکسیداسیون برخی از اسیدهای چرب غیراشباع نسبت داده‌اند. احتمالاً کمبود عناصر ریز مغذی به‌ویژه روی در چنین شرایطی باعث کاهش سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده که منجر به خسارت به غشای لیپیدی می‌شود. از این‌رو کمبود روی می‌تواند باعث کاهش میزان روغن دانه شود. در این پژوهش نیز درصد روغن در تیمار شاهد نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی کم‌تر بود. در تأیید نتایج این پژوهش مبنی بر اثر مثبت ریزمغذی‌ها بر افزایش درصد روغن دانه Malakooti و همکاران (۲۰۱۷) افزایش کمیت و کیفیت روغن، و سایر صفت‌های فیزیولوژیک در شرایط محلول‌پاشی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

عناصر روی و آهن را در سویا گزارش نمودند. عملکرد روغن گیاهان روغنی از مهم‌ترین مولفه‌ها بوده، و خود تابعی است از عملکرد و درصد روغن دانه، که بر اساس نتایج ما عملکرد دانه نسبت به درصد روغن بر افزایش عملکرد روغن در واکنش به تیمارهای محلول‌پاشی اثر بیش‌تری داشت. با توجه به این‌که رشد و عملکرد نهایی گیاه بستگی به ساختار اندام‌های زایشی و بهبود تسهیم مواد پرورده دارد، و عناصر روی و آهن نقش قابل توجهی را در این مورد ایفا می‌نمایند، به‌طوری‌که افزایش و بهبود عملکرد و روغن دانه در شرایط این پژوهش با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌تواند به افزایش فرایند فتوسنتز و انتقال مواد پرورده به دانه‌ها در نتیجه افزایش فعالیت‌های آنزیمی و سایر فعالیت‌های فیزیولوژیک مرتبط با این عناصر نسبت داده شود.



شکل ۳: اثر برهم‌کنش تیمارهای محلول‌پاشی سولفات آهن و روی و زمان اعمال آن‌ها بر صفات الف) عملکرد دانه ب) عملکرد روغن ج) تعداد دانه در خورجین د) تعداد خورجین در بوته.

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ بر اساس سیستم کدبندی BBCH.

در هر سطح محلول‌پاشی میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

نتیجه‌گیری

اگرچه بررسی‌های بیش‌تری در زمینه کاربرد عناصر روی و آهن به‌ویژه در شرایط دیم باید انجام شود، اما نتایج به‌دست آمده در شرایط این پژوهش نشان داد، بهبود جذب آهن و روی از طریق محلول‌پاشی با در نظر گرفتن زمان اعمال تیمارهای محلول‌پاشی موثر واقع شد، به طوری‌که با افزایش محتوای اسید آمینه پرولین، پروتئین‌های محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول و هم‌چنین بهبود سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و با توجه به تاریخ برداشت (۴ تیر ماه) و عدم بارندگی در خرداد ماه، احتمالاً این عناصر توانستند نقش مهمی در مقابله با اثر منفی تنش خشکی ایجاد شده در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد ایفا نمایند و این موارد بیان‌گر نقش احتمالی این عناصر در تعدیل اثر تنش خشکی در هر یک از مراحل نموی رشد کاملینا می‌باشد. بنابراین در چنین شرایطی محلول‌پاشی در زمان مناسب به‌ویژه در ابتدای رشد رویشی و زایشی می‌تواند به‌عنوان راهکار زراعی مناسبی به‌منظور تعدیل اثرهای تنش در گیاهان محسوب شود. علاوه بر این با توجه به مزایای گیاه کاملینا در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی رایج و امکان کشت دیم در زراعت آن، توسعه کشت این گیاه می‌تواند موجب افزایش سطح زیرکشت دانه‌های روغنی و استفاده کارآمدتر از دیم‌زارهای کشور، حفظ آب و در نتیجه کاهش وابستگی به واردات دانه‌های روغنی شود.

منابع

بی‌نام، ۱۳۹۵. تولید و تجارت محصولات اساسی بخش کشاورزی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ – ۱۳۹۵. گزارش معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مجلس شواری اسلامی. ۹۹ صفحه.

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

رحمتی ف.، سیف‌زاده س.، جباری ح.، ولدآبادی ع.ر. و حدیدی‌ماسوله ا. ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام گلرنگ. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۷) :۴۳-۲۷.

ضیائی، س.م.، سلیمی، خ. و امیری، س.ر. ۱۳۹۹. بررسی کشت کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت فواصل مختلف آبیاری و محلول‌پاشی در منطقه سراوان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲(۴۵): ۱۲۵-۱۱۳.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

عباسی ن.، چراغی ج. و حاجی‌نیا س. ۱۳۹۸. تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۳) :۱۰۴-۸۵.

موسویان س.ن.، اکبری ن.، عیسوند ح.ر.، اسماعیلی ا. و مشتطی ع. ۱۳۹۹. اثر سطوح مختلف نیتروژن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم رقم چمران (*Triticum aestivum* L.) در شرایط تنش گرمای آخر فصل در اهواز. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲(۴۶):۴۴-۲۵.

Abedi, T. and Pakniyat, H. 2010. Antioxidant enzymes changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 46(1): 27-34.

AOAC. 1990. Official methods of analysis association of official analytical chemists: ^{15}th, Arlington, Virginia, USA.

Babaeian, M., Tavassoli, A., Ghanbari, A., Esmaeilian, Y. and Fahimifard, M. 2011. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (Alstar cultivar) under water stress at three stages. African Journal of Agricultural Research. 6(5): 1204-1208.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry. 44(1): 276-287.

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72(1-2): 248-254.

Bybordi, A. and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae. 2(1): 94-103.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil. 302(1-2): 1-17.

Carocho, M. and Ferreira, I.C. 2013. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. Food and Chemical Toxicology. 51: 15-25.

Chance, B. and Meahly, A. 1995. Assay of catalase and peroxidase pp: 764-775. Methods in Enzymology. Academic press. Inc. New York.

Ebrahimian, E. and Bybordi, A. 2011. Effect of iron foliar fertilization on growth, seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes. Middle East Journal of Scientific Research. 9(5): 621-627.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

Hessini, K., Martínez, J.P., Gandour, M., Albouchi, A., Soltani, A. and Abdelly, C. 2009. Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in Spartina alterniflora. Environmental and Experimental Botany. 67(2): 312-319.

Ibrahim, F.M. and El Habbasha, S. 2015. Chemical composition, medicinal impacts and cultivation of camelina (*Camelina sativa*). International Journal of PharmTech Research. 8: 114-122.

Jain, R. and Srivastava, R. 2007. Factorial experiments–some variations. IASAI Library Avenue, New Delhi-110012.389-392.

Kahrizi, D., Rostami, A. H. and Akbarabadi, A. 2015. Feasibility Cultivation of Camelina (*Camelina sativa*) as Medicinal-Oil Plant in Rainfed Conditions in Kermanshah-Iran's First Report. Journal of Medicinal Plants and By-products. 2: 215-217.

Khan, R., Gul, S., Hamayun, M., Shah, M., Sayyed, A., Ismail, H. and Gul, H. 2016. Effect of foliar application of zinc and manganese on growth and some biochemical constituents of *Brassica junceae* grown under water stress. Americ-Eura. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 16: 984-997.

Larsson, M. 2013. Cultivation and processing of Linum usitatissimum and *Camelina sativa* in southern Scandinavia during the Roman Iron Age. Vegetation History and Archaeobotany. 22(6): 509-520.

Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. In: Portland Press Ltd.

Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. International Agrophysics. 27: 463-477.

Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y. and Guo, T. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. Frontiers in Plant Science. 8: 860-866.

Malakooti, S. H., Majidian, M., Ehteshami, S.M. and Rabiee, M. 2017. Evaluation of iron and zinc foliar and soil application on quantitative and qualitative characteristics of two soybean cultivars. The IIOAB Journal. 8(3): 1-7.

Morales, D., Potlakayala, S., Soliman, M., Daramola, J., Weeden, H., Jones, A., Kovak, E., Lowry, E., Patel, P. and Puthiyaparambil, J. 2017. Effect of Biochemical and Physiological Response to Salt Stress in *Camelina sativa*. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 48(7): 716-729.

Martinelli, T. and Galasso, I. 2011. Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale. Annals of Applied Biology. 158(1):87-94.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

Nadergoli, M., Yarnia, M. and Khoei, F. R. 2011. Effect of zinc and manganese and their application method on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. CV. Khomein). Middle East Journal of Scientific Research. 8(5): 859-865.

Pavlista, A., Hergert, G., Margheim, J. and Isbell, T. 2016. Growth of spring camelina (*Camelina sativa*) under deficit irrigation in Western Nebraska. Industrial Crops and Products. 83: 118-123.

Pourmorad, F., Hosseinimehr, S. and Shahabimajd, N. 2006. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African Journal of Biotechnology. 5(11): 1142-1145.

Rahmani, F., Sayfzadeh, S., Jabbari, H., Valadabadi, S. A. and Masouleh, E. H. 2019. Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. International Journal of Plant Production. 13(4): 297-308.

Ramezani, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G. and Sayyari-Zahan, M. 2012. Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of Ajowan (*Carum copticum*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS). 4(7): 421-426.

Rout, G. R. and Sahoo, S. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. Reviews in Agricultural Science. 31-24.

Sheligl, H. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal. 4751.

Singh, S. and Sinha, S. 2005. Accumulation of metals and its effects in *Brassica juncea* (L.) Czern.(cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. Ecotoxicology and Environmental Safety. 62(1): 118-127.

Sinha, A. K. 1972. Colorimetric assay of catalase. Analytical biochemistry. 47(2): 389-394.

Sintim, H. Y., Zheljazkov, V. D., Obour, A. K., Garcia y Garcia, A. and Foulke, T. K. 2016. Evaluating agronomic responses of camelina to seeding date under rain-fed conditions. Agronomy Journal. 108(1): 349-357.

Srivastava, A. and Malhotra, S. 2017. Nutrient use efficiency in perennial fruit crops—A review. Journal of Plant Nutrition. 40(13): 1928-1953.

Torabian, S., Zahedi, M. and Khoshgoftar, A. H. 2016. Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. Journal of Plant Nutrition. 39(2): 172-180.

Waraich, E. A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Naeem, M. S. and Rengel, Z. 2013. 'Camelina sativa', a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: A review. Australian Journal of Crop Science. 7(10): 1551-1559.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

Waraich, E. A., Ahmad, R., Ahmad, Z., Barutcular, C., Erman, M., Cig, F., Saneoka, H. and Ozturk, F. 2020. Comparative study of growth, physiology and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L.) and canola (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. Pakistan Journal of Botany. 52(5): 1537-1544.

Zanetti, F., Eynck, C., Christou, M., Krzyżaniak, M., Righini, D., Alexopoulou, E., Stolarski, M. J., Van Loo, E. N., Puttick, D. and Monti, A. 2017. Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. Industrial Crops and Products. 107: 602-608.

Zolfaghari Gheshlaghi, M., Pasari, B., Shams, K., Rokhzadi, A. and Mohammadi, K. 2019. The effect of micronutrient foliar application on yield, seed quality and some biochemical traits of soybean cultivars under drought stress. Journal of Plant Nutrition. 42(20): 2715-2730.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]

Effect of Foliar Application of Iron and Zinc Sulphate on Yield and some Physiological Characteristics of Camelina *(Camelina sativa* L. *crantz*) in Rainfed Conditions

M. Azhand[1], M. Saeidi[*2], A. Beheshti Al Agha[3] and D. Kahrizi[4]

1) PhD Student of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.
2 & 3) Associate Professor of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.
4) Professor of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.
***Corresponding author: msaeidi@razi.ac.ir**

This article is extracted from Ph.D. thesis.

Received date: 21.06.2020 **Accepted date: 26.09.202**

Abstract

Lack of moisture and calcareous of agricultural soils are the main factors reducing the efficiency of absorption of micronutrients such as iron and zinc from soil solution and reducing the yield of crops in most rainfed areas. Therefore, in order to evaluate the effect of foliar application of different concentrations of ferrous and zinc sulphate in rainfed conditions on grain yield and some physiological characteristics of Camelina, the present research was conducted as a factorial experiment in a randomized complete blocks design with three replications in Kermanshah during the cropping year 2017-2018. Experimental treatments include foliar application of micronutrients at five levels (no foliar application and foliar application of iron sulphate and zinc at concentrations of 4 and 8 per thousand) and the factor of foliar application time at two levels at the beginning of vegetative growth and the time of Camelina flowering. Based on the obtained results, using foliar application treatments significantly increased the grain yield compared to the control treatment. The highest increase in grain and oil yield was related to the foliar application treatment of zinc at 8 per thousand level and at flowering time, which increased these traits from 1099 and 399 in control conditions to 1580 and 663 kilogram per hectare, respectively. Foliar application treatments and their application time caused a significant increase in other agronomic traits such as biomass yield, harvest index, number of pods per plant, number of seeds per pod, one thousand-seed weight, oil percentage and also physiological traits include concentrations of chlorophyll a and b, soluble sugars, proline and activity rate of superoxide dismutase antioxidant enzymes, peroxidase and catalase of leaves. But they had no significant effect on the content of carotenoids and total phenol. The highest additive effect on the investigated physiological treatment was related to the application of zinc sulphate at 4 per thousand levels at the beginning of generative growth, which increased the activity of antioxidant enzymes and catalase and superoxide dismutase by 85 percent on average.

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Photosynthetic pigments and soluble sugars.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.9.5]