دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
دوره چهاردهم، شماره چهل و نهم، ۱۴۰۱

# واکنش عملکرد و کیفیت دانه دو رقم کلزا به کاربرد عناصر روی و آهن تحت شرایط کم‌آبی

**حمیدرضا ذاکرین[۱]، امیر حسین شیرانی راد[۲]، سعید سیف‌زاده[۳]، سید علیرضا ولدآبادی[۳]**

**دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸**

**چکیده**

به‌منظور ارزیابی عملکرد کمی و کیفی دانه دو رقم کلزا در واکنش به محلول‌پاشی عناصر روی و آهن تحت شرایط کم‌آبی، این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو منطقه شامل قزوین و کرج در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری از قبیل آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی و چهار سطح عناصر ریزمغذی شامل صفر (به‌عنوان شاهد)، کاربرد برگی روی (با غلظت ٤ در هزار)، آهن (با غلظت ٤ در هزار) و روی + آهن، به‌صورت فاکتوریل ٤ × ۳ در کرت‌های اصلی و دو رقم کلزا به‌نام‌های ساری‌گل و آرجی‌اس۳۰۰ در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل سه‌جانبه رژیم آبیاری × محلول‌پاشی برگی عناصر ریزمغذی × رقم کلزا بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی، طول خورجین اصلی، طول خورجین فرعی، تعداد دانه در خورجین اصلی، تعداد دانه در خورجین فرعی، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار بود. بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته (۷/۷۲ عدد)، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی (۱۲۵/۸ عدد)، وزن هزار دانه (٥/٤٩ گرم)، عملکرد زیست‌توده (۲۳۷٦۰ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (٥٦٦٨ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن کلزا (۲٥۱۹ کیلوگرم در هکتار) در رقم آرجی‌اس۳۰۰ تحت شرایط آبیاری کامل و کاربرد روی + آهن به‌دست آمد و در شرایط مشابه تفاوت معنی‌داری با رقم ساری‌گل نشان نداد. قطع آبیاری از هر دو مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی سبب کاهش عملکرد دانه کلزا در واحد سطح و دیگر صفات زراعی مورد مطالعه گردید. در این آزمایش، قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی بیشترین کاهش عملکرد دانه کلزا را نشان داد و تحت شرایط تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی برگی روی + آهن، عملکرد دانه ارقام آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب، معادل ۱۰۷ و ۱۳٦ افزایش داد. به‌طور کلی، کاربرد تلفیقی روی و آهن به‌صورت محلول‌پاشی برگی از طریق بهبود رشد رویشی و زایشی بوته‌های کلزا، عملکرد دانه را در سطوح مختلف رژیم آبیاری افزایش داد. بدین ترتیب، محلول‌پاشی ترکیبی عناصر ریزمغذی روی و آهن هر دو با غلظت ٤ در هزار می‌تواند برای افزایش عملکرد کمی و کیفی دانه کلزا تحت شرایط اقلیمی مشابه قابل توصیه باشد.

**واژه‌های کلیدی**: بهبود عملکرد، تنش خشکی، ریزمغذی، کلزا، محلول‌پاشی

**ذاکرین، ح.ر.، ا.م. شیرانی راد، س. سیف‌زاده، ع. ولدآبادی، ا. ۱٤۰۱. واکنش عملکرد کمی و کیفی دانه و برخی صفات زراعی دو رقم کلزا به کاربرد کودهای روی و آهن تحت شرایط کم‌آبی. ۱٤(٤۹): ۸۲-٦۹.**

۱- استادیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران. مسئول مکاتبات: drzakerin5@gmail.com

۲- استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- دانشیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.

**مقدمه**

کلزا گیاهی از خانواده براسیکاسه و دانه آن حاوی ٤٠ الی ٤٦ درصد روغن می‌باشد. روغن کلزا به‌دلیل غنی بودن از اسیدهای چرب غیر اشباع از کیفیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است. تنش خشکی از عمده‌ترین مشکلات کشاورزی در جهان به‌شمار می‌رود و سطحی معادل ۷۸ درصد از زمین‌های زراعی دنیا با خشکی درگیر است (صادق‌زاده اهری، ١٣٩٦). تنش خشکی و از طرق مختلف نظیر کاهش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، کاهش متابولیسم گیاهان، و تبادل گازی موجب کاهش عملکرد می‌شود (موحدی دهنوی و همکاران، ١٣٩٦). محققانه، گزارش کردند که مراحل گل‌دهی و تشکیل خورجین‌ها در کلزا (مسعود سینکی و همکاران، ۲۰۰۷)، تشکیل غوزه‌ها در گلرنگ (محمدی و همکاران، ۲۰۱۸) و کتان (اسکندری و عالیزاده امرایی، ۱۳۹۵) حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی نشان دادند. ایوبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) نیز دریافتند که قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی سبب کاهش اجزای عملکرد، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و درصد روغن دانه کنجد گردید. همچنین، گزارش شده است که عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ (اشرفی و رزمجو، ۲۰۱۰) و کنجد (کیم و همکارا، ۲۰۰۷) تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد.

از بارزترین آثار سوء تنش خشکی می‌توان به برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای در گیاه و محدود شدن فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه عنصر روی برای گیاهان اشاره نمود (کاکمک، ۲۰۰۸). عنصر روی به‌عنوان فعال‌کننده آنزیم‌های مختلف در گیاه و پیش‌ماده رشد بعضی از هورمون‌ها نظیر ایندول استیک اسید عمل می‌کند و سبب افزایش مقاومت گیاهان زراعی در مقابل تنش‌های محیطی و بهبود عملکرد محصول می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین، گزارش شده است که کاربرد عنصر روی از طریق در اسقرار سریع گیاهان و تسریع در گل‌دهی سبب افزایش عملکرد آفتابگردان (کاکمک، ۲۰۰۸) و کلزا (مجیدیان و همکاران، ۱۳۹۵) گردید.

از طرفی کمبود عنصر آهن نیز می‌تواند سبب افت عملکرد گیاهان زراعی گردد. عنصر غذایی آهن در بسیاری از فرآیندهای رشد گیاهان از قبیل سنتز کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاهان نقش اساسی دارد. دانه روغنی کلزا به کمبود آهن حساس بوده و کاربرد آهن سبب بهبود فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه سبب افزایش رشد و تولید ماده خشک گیاه می‌شود (بیاتی و همکاران، ۱۳۹۵). محققان نشان دادند که محلول‌پاشی آهن تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی سبب افزایش عملکرد دانه و کیفیت دانه کنجد (حیدری و همکاران، ١٣٩٦ و ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) و گلرنگ (فتحی امیرخیزی و همکاران، ۱۳۹۳) گردید. به‌علاوه، در مطالعه مشابه‌ای گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی عناصر آهـن و روی سـبب افزایش رشد رویشی کلزا (امیدی و همکاران، ۲۰۱۰) و بهبود محتوای روغن کلزا (اشرفی و همکاران، ۲۰۲۰) و گلرنگ (پسندی و همکاران، ۲۰۱۸) گردید. این آزمایش، با هدف بررسی اثر متقابل تنش کم-آبی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن بر رشد و عملکرد دو رقم کلزا اجرا گردید.

**مواد و روش‌ها**

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در دو منطقه شامل ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسماعیل‌آباد قزوین و مزرعه آزمایشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر مشکین‌آباد کرج اجرا گردید. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی و سه سطح محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی شامل عدم مصرف کودهای ریزمغذی (تیمار شاهد)، محلول‌پاشی با روی (با غلظت ٤ در هزار)، آهن (با غلظت ٤ در هزار) و محلول‌پاشی ترکیبی روی + آهن و ارقام کلزا شامل آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل بودند. ساری-گل و آرجی‌اس۳۰۰ به‌ترتیب ارقامی با تیپ بهاره ایرانی و خارجی می‌باشند که به بیماری اسکلروتینیای ساقه و ورس نسبتا متحمل و دارای عملکرد بالا هستند. در این آزمایش، سطوح آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت فاکتوریل ٤ × ۳ در کرت اصلی و ارقام کلزا در کرت فرعی قرار گرفتند. قبل از اجرای آزمایش، از چندین نقطه خاک مزرعه و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید و به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال گردید و نتایج آزمون خاک در جدول ۱ ارایه شده است. عملیات آماده سازی زمین زراعی در اواخر بهمن ماه انجام شد. براساس نتایج آزمون خاک مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار سوپرفسفات تریپل به‌صورت یکنواخت با یک دیسک سبک با خاک مخلوط و اقدام به ایجاد جوی و پشته‌های ٦٠ سانتی‌متری گردید. همچنین، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه به فرم اوره مورد استفاده قرار گرفت. کاشت بذور کلزا به‌میزان ۸ کیلوگرم در هکتار در تاریخ ۱۵ اسفند ماه در هر دو منطقه انجام شد و قسط اول کود نیتروژنه در زمان کاشت به‌صورت دستی و نواری در زیر شیارهای کشت بذر، پخش

گردید و قسط‌های دوم و سوم کود اوره در تاریخ ۱۷ اردیبهشت و ۵ خرداد قبل از ساقه‌دهی و قبل از شروع گل‌دهی به‌صورت سرک اعمال گردید. محلول‌پاشی عناصر روی و آهن با غلظت ٤ در هزار یک‌بار در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و سپس دو بار با فاصله ۱۵ روز تکرار گردید (یوسف‌پور و فرج‌زاده معماری تبریزی، ۱۳۹۷ و آژند و همکاران، ۱٤۰۲).

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مزرعه آزمایشی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)**

| منطقه قزوین | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روی فسفر قابل جذب (ppm) | آهن فسفر قابل جذب (ppm) | پتاسیم فسفر قابل جذب (ppm) | فسفر فسفر قابل جذب (ppm) | بافت خاک | نیتروژن (%) | کربن آلی (%) | آهک (%) | هدایت الکتریکی (dS/m) | اسیدیته خاک |
| ۰/٦۲ | ۱/۲۲ | ۲۱۵ | ٦/۷ | لومی | ۰/۰۵ | ۰/۵۰ | ۷/٤٤ | ۱/۱ | ۷/۸ |
| منطقه کرج | | | | | | | | | |
| روی فسفر قابل جذب (ppm) | آهن فسفر قابل جذب (ppm) | پتاسیم فسفر قابل جذب (ppm) | فسفر فسفر قابل جذب (ppm) | بافت خاک | نیتروژن (%) | کربن آلی (%) | آهک (%) | هدایت الکتریکی (dS/m) | اسیدیته خاک |
| ۰/۵۹ | ۱/۱۸ | ۳۲۸ | ۱٤/۸ | لومی | ۰/۰۹ | ۰/٤۱ | ٦/۹۸ | ۱/٦ | ۷/۱ |

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت برداشت و میانگین صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین‌های اصلی و فرعی در بوته ثبت گردید و تعداد ۵۰ عدد از خورجین‌های اصلی و ۵۰ عدد از خورجین‌های فرعی هر بوته به‌طور تصادفی نمونه‌برداری و میانگین تعداد دانه در خورجین‌های اصلی و فرعی شمارش و همچنین میانگین طول خورجین‌های اصلی و فرعی با کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری و یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توزین گردید. به‌منظور تعیین عملکرد دانه با حذف حاشیه، سطحی معادل ۳/٦ متر مربع از چهار خط وسطی برداشت و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار برآورد شد. استخراج درصد روغن دانه در آزمایشگاه بخش فیزیولوژی موسسه بیوتکنولوژی کشاورزی و به روش سوکسله (مدل SOX406 ساخت کشور چین) انجام گردید (لطیف و انور، ۲۰۱۸) و عملکرد روغن از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه به‌دست آمد. پس از انجام آزمون بارتلت و غیر معنی‌دار بودن و اطمینان از یکنواختی اشتباه آزمایشی، برای تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### ارتفاع بوته

اثر متقابل سه جانبه آبیاری × محلول‌پاشی × رقم بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده در کلزا معنی‌دار بود (جدول ۲). قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی سبب کاهش ارتفاع بوته کلزا گردید و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با میانگین ۱۱٤/۸ سانتی‌متر، کوتاه‌ترین ارتفاع بوته تولید گردید. رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی در مقایسه با رقم ساری‌گل ارتفاع کانوپی بیشتری داشت (جدول ۳). اعمال تنش کم‌آبی سبب کاهش رشد رویشی گیاه و ارتفاع بوته کلزا گردید. علت این امر می‌تواند کمبود آب و مواد غذایی و به تبع آن کاهش طول دوره رشد گیاه باشد که منجر به کاهش ارتفاع بوته می‌شود و با نتایج فرخی‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) مشابهت داشت که نشان دادند که کمبود آب آبیاری و وقوع تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته گلرنگ گردید. به‌علاوه، کاربرد عناصر ریزمغذی روی و آهن سبب بهبود رشد کلزا در سطوح مختلف آبیاری گردید (جدول ۳). محلول‌پاشی عنصر روی و آهن به‌ترتیب از طریق افزایش سنتز هورمون اکسین (ایندول استیک اسید) (صالحین و رحمان، ۲۰۱۲) و افزایش سنتز کلروفیل و بهبود فتوسنتز سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (بیاتی و همکاران، ۱۳۹۳) می‌شود. نتایج مشابه‌ای نیز در مطالعه بر روی آفتابگردان (عرب و همکاران، ۱۳۹۸) و کلزا (امیدی و همکاران، ۲۰۱۰) گزارش شده است. کاربرد برگی آهن + روی سبب بهبود رشد بوته کلزا گردید و

قطع آبیاری از مرحله گلدهی تاثیر منفی بیشتری بر رشد رویشی کلزا در مقایسه با قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی داشت (جدول ۳). در مرحله گل‌دهی کلزا رشد رویشی همچنان ادامه دارد. در حالی که در مرحله تشکیل خورجین‌ها رشد رویشی کلزا تقریبا پایان یافته است. به همین دلیل قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی سبب کاهش بیشتر رشد رویشی می‌شود. کم‌آبی در ابتدای مرحله گل‌دهی سبب کاهش ارتفاع بوته گردید و کاربرد عناصر روی و آهن در شرایط کم‌آبی احتمالا از طریق افزایش سنتز اکسین و بهبود فتوسنتز گیاه سبب افزایش رشد رویشی و ارتفاع بوته شد (بیاتی و همکاران، ۱۳۹۳ و صالحین و رحمان، ۲۰۱۲).

**جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در دو رقم کلزا تحت تاثیر کاربرد برگی روی و آهن در شرایط تنش کم‌آبی**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | ارتفاع بوته | تعداد شاخه‌های فرعی در بوته | تعداد خورجین در ساقه اصلی بوته | تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی بوته | طول خورجین اصلی در بوته | طول خورجین فرعی در بوته |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| منطقه | ۱ | ۱۵/۵۳۷$^{ns}$ | ۳/۰۶۲$^{ns}$ | ٦٦٦/۹۳۱$^{ns}$ | ۳۳۳/٤٥٤$^{ns}$ | ۲/۷۲۲$^{ns}$ | ۰/٦٦۷$^{ns}$ |
| تکرار (منطقه) | ٤ | ٤۰٤/۷۳ | ۰/٥۲٤ | ۳۱۳/۰٥ | ۳۹۹/۳٦۳ | ۱/٦۰٦ | ۱/۷٥٥ |
| آبیاری | ۲ | ۲٤۱۹۸/٦٦٦$^{**}$ | ۹۷/۷٤٤$^{**}$ | ۳۹۲٦۱/۲$^{**}$ | ٥۳۱۰۷/٥۲٥$^{**}$ | ۲۰۸/۷۳۹$^{**}$ | ۱٤۳/۱۳٤$^{**}$ |
| منطقه× آبیاری | ۲ | ۱۹۹/۹۲٦$^{*}$ | ۰/۷۰۱$^{ns}$ | ۱٤۷/۰۸۷$^{ns}$ | ۲۲۸/۸٥۲$^{ns}$ | ۱/۷٤۱$^{ns}$ | ۲/٥٤٥$^{*}$ |
| محلول‌پاشی | ۳ | ۲۷۱٤/۸٤٤$^{**}$ | ۱۱/٥۹۷$^{**}$ | ۳۱۰۸/٦٦$^{**}$ | ٤۲۸۰/٤٦۸$^{*}$ | ۱۷/٤۲$^{**}$ | ۱۰/۷۰٦$^{**}$ |
| منطقه × محلول‌پاشی | ۳ | ۷/۳۷۹$^{ns}$ | ۰/۸٥۷$^{ns}$ | ۹٤/٥۸$^{ns}$ | ۷۲/۰۹۱$^{ns}$ | ۰/۷۲۲$^{ns}$ | ۰/۱۱$^{ns}$ |
| آبیاری × محلول‌پاشی | ٦ | ۱۳۷/٦۱٦$^{*}$ | ۰/٤۱۲$^{ns}$ | ۹۹/٤۱۲$^{ns}$ | ۲۳۳/۸۸۷$^{ns}$ | ۰/۷۸۲$^{ns}$ | ۱/۱۷۷$^{ns}$ |
| منطقه × آبیاری × محلول‌پاشی | ٦ | ۱۳/٦۹٥$^{ns}$ | ۰/٦٤٦$^{ns}$ | ۹۱/٦۹٥$^{ns}$ | ۱٤٥/٤٤۸$^{ns}$ | ۱/۰۳٤$^{ns}$ | ۰/٥۰٥$^{ns}$ |
| اشتباه اصلی | ٤٤ | ٥۸/٤٤۷ | ۰/٤۹٥ | ۱۷٥/۹۷ | ۲۳٤/۱٦۳ | ۱/۱۱۳ | ۰/۷۸۷ |
| رقم | ۱ | ۱۰۳/٥۳۱$^{**}$ | ۱/۱۳٤$^{*}$ | ۳۰۷/۱۲٦$^{*}$ | ۱۲۹/٥۸$^{ns}$ | ۱/٦۰٤$^{ns}$ | ۰/٥۸۸$^{ns}$ |
| منطقه × رقم | ۱ | ۹/۷٦٦$^{ns}$ | ۰/۰۱۸$^{ns}$ | ۱۰/۷۲٦$^{ns}$ | ٤۷/۸٤$^{ns}$ | ۰/۰۱۸$^{ns}$ | ۰/٤٤٤$^{ns}$ |
| آبیاری × رقم | ۲ | ۲۰۰/٦۲٥$^{**}$ | ۱/٤٥٤$^{**}$ | ۱۳۷/۷۷۱$^{ns}$ | ۱٤۱/۰۸٦$^{ns}$ | ۰/۳۲٥$^{ns}$ | ۰/۱۸۱$^{ns}$ |
| منطقه × آبیاری × رقم | ۲ | ۲۲/۸۱۷$^{**}$ | ۰/۰۰٥$^{ns}$ | ۲٦/۰٤۱$^{ns}$ | ۷۱/۲۲۸$^{ns}$ | ۰/۰۰۱$^{ns}$ | ۰/٥۷٥$^{ns}$ |
| محلول‌پاشی × رقم | ۳ | ٥/۲۱٥$^{*}$ | ۰/۲۸۸$^{ns}$ | ٤۲/٤٦٦$^{ns}$ | ۳۲/۹۹۳$^{ns}$ | ۰/۲۷۲$^{ns}$ | ۰/۳۹۱$^{ns}$ |
| منطقه × محلول‌پاشی × رقم | ۳ | ۰/٤٤۹$^{ns}$ | ۰/۳٥۷$^{ns}$ | ۹٦/۷۳$^{ns}$ | ۹٥/۲۱٥$^{ns}$ | ۰/۸٤۲$^{ns}$ | ۰/۳٦$^{ns}$ |
| آبیاری × محلول‌پاشی × رقم | ٦ | ٦/۱۲۲$^{*}$ | ۱/۱۳٥$^{*}$ | ۱٤۲/٦٥۷$^{*}$ | ۱٥۹/۹۰۱$^{*}$ | ۲/٥٥۳$^{*}$ | ۱/۲۷۷$^{*}$ |
| منطقه × آبیاری × | ٦ | ۰/٤۳۲$^{ns}$ | ۰/٤۲۳$^{ns}$ | ۳۲/۱۹٦$^{ns}$ | ٤۳/٦٦٤$^{ns}$ | ۰/٦۲۲$^{ns}$ | ۰/۲۷۹$^{ns}$ |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| محلول‌پاشی × رقم | | | | | | | |
| اشتباه فرعی | ٤٨ | ٢/٨٤٢ | ٠/٢٦٢ | ٥١/٠١٧ | ٨٦/١٦٧ | ٠/٤٦١ | ٠/٣٤٣ |
| ضریب تغییرات (درصد) | – | ١١/١٣ | ١٨/٦٦ | ١١/٣٧ | ١٠/٧٥ | ١٢/١٩ | ١١/٨٩ |
| منبع تغییرات | ١ | ٥٦$^{ns}$ | ٥٤/٧٦$^{ns}$ | ١/٤٤٤$^{ns}$ | ١٩٥٥٢٦١٠/٠٢٨$^{ns}$ | ١٦٠١٩١٢/١١١$^{ns}$ | ٣٥٠٩٥٧/٠٧٣$^{ns}$ |
| منطقه | ٤ | ٥٣/٩٤ | ٤١/٦٨٦ | ١/٢٢٩ | ١٢٣٦٦٢١٢/١١١ | ١٥٢٤٣٧٣/٦٣٢ | ٣١٤١٩٤/٠٦ |
| تکرار (منطقه) | ٢ | ٤٠٧٨/٣٤٣$^{**}$ | ٣٥٦٦/٤٧$^{**}$ | ١٠٦/٤٨٦$^{**}$ | ١٤٩٦٤٤٥٦٢١/٠٩$^{**}$ | ١٥٧٦٧٥٦٤٩/٥$^{**}$ | ٣٣١٩٤٤٧٥/٤٩١$^{**}$ |
| آبیاری | ٢ | ١٧/٢٤٣$^{ns}$ | ٩/٠٧٨$^{ns}$ | ٠/٢٦٥$^{ns}$ | ٦٩٦١٣٤٦/٩٢٤$^{ns}$ | ٤١٦٥١٨/٧٥٧$^{ns}$ | ٧١٥٦٥/٨٤٩$^{ns}$ |
| منطقه× آبیاری | ٣ | ٣٦١/٦٥٤$^{**}$ | ٢٩٦/٤٨٢$^{**}$ | ١٠/١٣٨$^{**}$ | ١٢٠٦١٥٦٣١/٨٢٤$^{**}$ | ١١٢٦٧٨١٤/٨$^{**}$ | ٢٣٨٥٥٣٥/٣٥٨$^{**}$ |
| محلول‌پاشی | ٣ | ٥/٢٩٣$^{ns}$ | ٥/٨٨٤$^{ns}$ | ٠/٠٧١$^{ns}$ | ٢١٢٦٢٩٦/١٢$^{ns}$ | ٦٠٨٢٧٤$^{ns}$ | ١١٦٥٨٢/١٩١$^{ns}$ |
| منطقه × محلول‌پاشی | ٦ | ١٣/٤٧١$^{ns}$ | ٢١/٩٢٢$^{ns}$ | ٠/١٤٤$^{ns}$ | ٧٨٧٥٣٧٤/٦٥$^{ns}$ | ٩١٣٠٢٧/٦$^{ns}$ | ١٨٦٧٩٢/٢٣٩$^{ns}$ |
| آبیاری × محلول‌پاشی | ٦ | ١١/٢٨٣$^{ns}$ | ١٨/٢٣$^{ns}$ | ٠/١٢٦$^{ns}$ | ٣٣٣٨٣١٦/٦$^{ns}$ | ٣٨١٢٩١/٥٦٣$^{ns}$ | ٧٨٠٠٨/٥٢٤$^{ns}$ |
| منطقه × آبیاری × محلول‌پاشی | ٤٤ | ٢٠/٢٦٣ | ١٨/٨٧٩ | ٠/٥٦١ | ٥٧٦٧٧٢٠/٤٩٧ | ٥٧٢٠٥٠/٨٦٧ | ١٢٩٤٧٦/٩٩٨ |
| اشتباه اصلی | ١ | ٦١/٨٨٤$^{*}$ | ١٥/٧٣٤$^{ns}$ | ١/٣٩٦$^{*}$ | ٨٣١١٦٨٩$^{ns}$ | ٣٤٣٠٠٥/٤٤٤$^{ns}$ | ١٠٨٢٩٦/٠٨١$^{ns}$ |
| رقم | ١ | ٢/٧٧٨$^{ns}$ | ٣/٨٦٨$^{**}$ | ٠/١٩٥$^{ns}$ | ٢٧٨٦٦٧٣/٧٧٨$^{ns}$ | ٢١٧٠٠٠/٦٩٤$^{ns}$ | ٤٢٤٠١/٨٢٤$^{ns}$ |
| منطقه × رقم | ٢ | ٨/٠٥$^{ns}$ | ١١/٣١٤$^{ns}$ | ٠/٣٨$^{ns}$ | ٦٢٠٣٤٠١/٨٩٦$^{ns}$ | ٤٢٦٩٠٤/٩٢٤$^{ns}$ | ٩١٥٣١/١٥$^{ns}$ |
| آبیاری × رقم | ٢ | ٦/٣٤$^{ns}$ | ٩/٨٧$^{ns}$ | ٠/١٥٤$^{ns}$ | ١٧٢٢٠٤٩/٠٤٩$^{ns}$ | ١٣٣٣٤٤/٤٢٤$^{ns}$ | ٣٢٠٠٩/٨٥٩$^{ns}$ |
| منطقه × آبیاری × رقم | ٣ | ٣/٦٩٥$^{ns}$ | ٣/٩٢٦$^{ns}$ | ٠/٢٦٢$^{ns}$ | ١٤٦٦١٥٣/٦١١$^{ns}$ | ٩٨٣٤٦/٥٩٣$^{ns}$ | ٢٧٣٣٩/٧٨٢$^{ns}$ |
| محلول‌پاشی × رقم | ٣ | ٤/١٦٢$^{ns}$ | ٨/٨٨٨$^{ns}$ | ٠/٢٤٦$^{ns}$ | ٢٠٠٤٨٦٦/٠٩٣$^{ns}$ | ٢٧٧١٢٦/٥٤٦$^{ns}$ | ٤٩٣٤٩/٠٩$^{ns}$ |
| منطقه × محلول‌پاشی × رقم | ٦ | ١٧/١٣$^{**}$ | ١٧/٠٦٣$^{*}$ | ١/١١٣$^{*}$ | ٣٧٧٢٩٩٧/٢٠١$^{*}$ | ٣٥٦٤٩٩/٤٣٣$^{*}$ | ١٣٣٥٦٠/٤١٨$^{**}$ |
| آبیاری × محلول‌پاشی × رقم | ٦ | ٦/٩٠٦$^{ns}$ | ١/٧٦٣$^{ns}$ | ٠/١٦٢$^{ns}$ | ١٨٧٨٥٦٠/١٦٩$^{ns}$ | ١٨٣٤٢٧/٤٧$^{ns}$ | ٣٩٣١٨/٩٧٦$^{ns}$ |
| منطقه × آبیاری × محلول‌پاشی × رقم | ٤٨ | ٩/٨٩٦ | ٦/٧٨٧ | ٠/٢١٦ | ٢٥٦٢٥١١/٠٢١ | ٢٢٨٣٥٤/٦١١ | ٥١٨٠٤/٠٣ |
| اشتباه فرعی | – | ١٦/٠٧ | ١٤/٦٩ | ١٣/٧٩ | ١٩/٦٥ | ١٣/٥٦ | ١٤/٩٦ |

$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$: به‌ترتیب عدم وجود معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

**جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در دو رقم کلزا تحت تاثیر کاربرد برگی روی و آهن در شرایط تنش کم‌آبی**

| آبیاری | محلول پاشی | رقم | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | تعداد شاخه فرعی در بوته | تعداد خورجین در ساقه اصلی | تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی | طول خورجین اصلی (سانتی‌متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کامل | آب خالص | آر جی اس ۳۰۰ | ۱٦۰/۹f | ٦/۷۷bc | ۸۲/۳cdef | ۱۰۸/۵cd | ٦/٦۷defg |
| | | ساری گل | ۱٦٤e | ٦/۸۲bc | ۸۳/۵cdef | ۱۰۸/٦cd | ۷/۱۳bcde |
| | روی | آر جی اس ۳۰۰ | ۱٦٦e | ٦/۹bc | ۸۵/۳cde | ۱۱٤/۷abc | ۵/۵۷abcd |
| | | ساری گل | ۱۷۰d | ۷/۲۷ab | ۸۸/۲bcde | ۱۱۷/٦abc | ۷/۲bcde |
| | آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۷۰/٤d | ۷/٤۲ab | ۸۹/۸۸abcd | ۱۲۲/۱a | ۷/۱۵bcde |
| | | ساری گل | ۱۷٤/۱c | ۷/۱۳ab | ۹۱/۵abc | ۱۲۱/۲ab | ۷/۸۵ab |
| | روی + آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۷۸b | ۷/۷۲a | ۹٦/۷۳ab | ۱۲۵/۸a | ۷/۵۸abc |
| | | ساری گل | ۱۸۰/۹a | ۷/۷۷a | ۹۷/٦۷a | ۱۲۲/٤a | ۸/۳a |
| قطع آبیاری از گل‌دهی | آب خالص | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۱۸f | ۳/٦۳i | ۲۱/۲۷no | ۳۸/٦۳k | ۲/۲۳i |
| | | ساری گل | ۱۱٤/۸s | ۳/۵۵i | ۲۰/۳۸o | ۳۹/٤۵k | ۲/٤i |
| | روی | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۲۳/٤p | ٤/۱۲hi | ۲۹/۷۳mn | ٤۷/٦۲jk | ۲/۹۷kl |
| | | ساری گل | ۱۲۰/۳q | ٤/۱۷hi | ۲۷/۷۷mno | ٤۷/۱۵jk | ۳/۰۸kl |
| | آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۳۰n | ٤/۵۷gh | ۳٤/۵۳m | ۵٤/۹۵ij | ۳/٤k |
| | | ساری گل | ۱۲۷/۳o | ٤/٦۷gh | ۳۵/۷۲lm | ۵۲/۷۷ij | ۳/٤۵k |
| | روی + آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۳۷/۵l | ۵/٤۵ef | ٤۳/۹۵kl | ٦٤/۰۷hi | ٤/۵۷j |
| | | ساری گل | ۱۳٤/٦m | ٤/۹۸fg | ٤٦/۹۸jk | ٦٦/٦h | ٤/٤۳j |
| قطع آبیاری از خورجین‌دهی | آب خالص | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۳۵/۵m | ۵/۳۷ef | ۵۲/٦۳ijk | ۷۲/۸۳gh | ۵/۱۸hij |
| | | ساری گل | ۱٤۰/۱k | ۵/۷۵de | ۵۳/٦۷ij | ۷۲/۰۸gh | ٤/۹۷ij |
| | روی | آر جی اس ۳۰۰ | ۱٤۵/۵j | ۵/٤۵ef | ۵۸/۸۸i | ۸۲/۵۲fg | ۵/۵hi |
| | | ساری گل | ۱٤۹/٦i | ٦/۲۷cd | ٦۸/٤gh | ۹۱/۱۲ef | ۵/۹۸fgh |
| | آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۵۲/۲h | ۵/۷de | ٦۱/۵۲hi | ۸۵/۹۵f | ۵/۸۵gh |
| | | ساری گل | ۱۵٦/۲g | ٦/۳۸e | ۷۵/۵fg | ۹۹/۲۷de | ٦/۵fg |
| | روی + آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۱۵۹/٦f | ٦/۸۳be | ۷۹/۳vef | ۱۰۷/٦cd | ٦/۹۲cde |
| | | ساری گل | ۱٦۵/۳e | ۷/۲ab | ۸۱/۸۷def | ۱۰۹/۸bcd | ٦/۸۲ef |
| کامل | آب خالص | آر جی اس ۳۰۰ | ٦/۰۸cde | ۲٤/٤۸de | ۲۵/۲٤cd | ٤/۱۱ef | ۲۰٤۰۰cde |
| | | ساری گل | ٦/۱۳bcde | ۲٦/۵cde | ۲۳/۸۸cd | ٤/۲۳def | ۲۰۹۷۰bcd |
| | روی | آر جی اس ۳۰۰ | ٦/۱۵bcde | ۲۷/۳۵bcd | ۲٦/۱abc | ٤/٦٤cde | ۲۱٦۷۰abcd |
| | | ساری گل | ٦/۵۲abcd | ۲۷/۳۷bcd | ۲٤/۵bcd | ٤/۷۷bcd | ۲۱۵۵۰abcd |
| | آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ٦/۷۸abc | ۲۷/۹۷bcd | ۲٦/۱۷abc | ٤/۹۷abc | ۲۲۱۸۰abc |
| | | ساری گل | ٦/۹۳a | ۳۰/٤۳abc | ۲٦/۱۵abc | ۵/۲٤ab | ۲۲۷۳۰ab |
| | روی + آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ٦/۸۸ab | ۳۱/۲۲ab | ۲۷/۸۳ab | ۵/٤۹a | ۲۳۷٦۰a |
| | | ساری گل | ٦/۲۷abc | ۳۳/۲۷a | ۲۸/٦۲a | ۵/۳۵ab | ۲۳٤٦۰a |
| قطع آبیاری از گل‌دهی | آب خالص | آر جی اس ۳۰۰ | ۱/۹۷p | ۷/۷۷l | ٦/۱j | ۱/۳۷n | ۹۱٤۸n |
| | | ساری گل | ۲/۱۸۵op | ۸l | ٦/۱۷j | ۱/۳٦n | ۸۸۷۸n |
| | روی | آر جی اس ۳۰۰ | ۲/۷no | ۹/۰۸kl | ۷/۱۲j | ۱/٦۳mn | ۱۰٤٤۰mn |
| | | ساری گل | ۲/۹mn | ۸/۹۵kl | ۷/۷۸j | ۱/۷٦lmn | ۹۹۳٤mn |
| | آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۳/۳lmn | ۱۰/۲۷jkl | ۹/۱۵ij | ۱/۹۸klm | ۱۱۵۰۰klm |
| | | ساری گل | ۳/۵۳klm | ۱۰/۳۸jkl | ۹/۳۲ij | ۲/۰۹klm | ۱۱۲٤۰lm |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | روی + آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ۳/۸۳jkl | ۱۲/۷۳ljk | ۱۱/۳۵hi | ۲/۳۱jkl | ۱۲۶۵۰jkl |
| | | ساری گل | ٤/۰٥jk | ۱٤/۰۳hij | ۱۳/۰۲h | ۲/٤٦jkl | ۱۳۱۷۰jkl |
| قطع آبیاری از خورجین‌دهی | آب خالص | آر جی اس ۳۰۰ | ٤/۳٥ij | ۱٤/۸٥hi | ۱۳/٤gh | ۲/٦۹ij | ۱۳٦۷۰ij |
| | | ساری گل | ٤/٥۷hij | ۱٤/۹۸hi | ۱۳h | ۲/۷۲ij | ۱۳٤۸۰ijk |
| | روی | آر جی اس ۳۰۰ | ٥/۳۲fg | ۱۷/۲۸gh | ۱٦/۲fg | ۲/۸۱ij | ۱٥۲۷۰hi |
| | | ساری گل | ٥/۱۸fgh | ۲۰/٥۳fg | ۱۹/۱۸ef | ۳/٤٥gh | ۱۷٥۲۰fg |
| | آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ٥/۰۳ghi | ۱۸/۸۳g | ۱٦/٦۳f | ۳/۱٦hi | ۱٦۱۰۰gh |
| | | ساری گل | ٥/۷۲efg | ۲۲/۹۸ef | ۲۱/٥۳de | ۳/۹۳fg | ۱۸۸۲۰ef |
| | روی + آهن | آر جی اس ۳۰۰ | ٥/۸۸def | ۲٥/۱۸de | ۲۳/٥cd | ٤/۰۸ef | ۱۹۹٤۰de |
| | | ساری گل | ٥/۸۳def | ۲٥/۳۲de | ۲۳/٥۸cd | ٤/۲٥def | ۲۰۲٥۰cde |

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

**تعداد شاخه فرعی در بوته**

نتایج نشان داد که رقم ساری‌گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی روی + آهن با میانگین ۷/۷۷ عدد در بوته بیشترین و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با میانگین ۳/۵۵ عدد در بوته، کمترین تعداد شاخه فرعی را دارا بود (جدول ۳). در آزمایش مشابه‌ای گزارش شده است که اعمال سطوح مختلف آبیاری سبب تعداد شاخه-های فرعی در کلزا (امیدی و همکاران، ۲۰۱۰ و یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱) و گلرنگ (خلیلی و همکاران، ۱۳۹٤) گردید. قطع آبیاری از هر دو مرحله گل‌دهی و تولید خورجین سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته‌های کلزا گردید و محلول-پاشی توام عناصر غذایی روی + آهن سبب بهبود رشد رویشی و تعداد شاخه‌های فرعی در رژیم‌های مختلف آبیاری گردید (جدول ۳). نتایج نشان داد که تعداد اعمال تنش کم‌آبیاری با کاهش ارتفاع بوته، سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در کلزا گردید.

**تعداد خورجین در ساقه اصلی**

رقم ساری‌گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی روی + آهن بیشترین تعداد خورجین در ساقه اصلی (۹۷/٦۷ عدد در بوته) و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول-پاشی عناصر ریزمغذی کمترین تعداد خورجین در ساقه اصلی (۲۰/۳۸ عدد در بوته) را نشان داد (جدول ۳). محققان نشان دادند که کم‌آبی و وقوع تنش خشکی سبب کاهش تعداد خورجین در بوته کلزا (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱) گردید. در این آزمایش کاهش ارتفاع بوته کلزا و کاهش طول ساقه اصلی تحت شرایط تنش خشکی سبب کاهش تعداد خورجین در ساقه اصلی گردید (جدول ۳). دلیل این پدیده می‌تواند کاهش بیشتر رشد رویشی و ارتفاع گیاه تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی باشد. محلول‌پاشی توام عناصر روی و آهن در تمامی سطوح رژیم آبیاری سبب افزایش تعداد تعداد خورجین در ساقه اصلی در هر دو رقم کلزا گردید و محلول‌پاشی با عناصر غذایی روی + آهن نسبت به شاهد، تعداد خورجین در ساقه اصلی را در رقم ساری‌گل ۱۳۰/۵۲ درصد و در رقم آرجی‌اس ۳۰۰ حدود ۱۰٦/٦ درصد افزایش داد (جدول ۳). محققان دیگری گزارش کرده‌اند تحت شرایط تنش خشکی کاربرد کاربرد عنصر غذایی روی سبب تعداد طبق در آفتابگردان (کاکمک، ۲۰۰۸) و تعداد غلاف در لوبیا (صالحین و رحمان، ۲۰۱۲) و محلول‌پاشی عنصر آهن سبب افزایش تعداد کپسول در بوته کنجد (ایوبی‌زاده و همکاران، (۱۳۹۹ و حیدری و همکاران (۱۳۹٦) گردید.

**تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی**

در این آزمایش، رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی ترکیبی روی و آهن بیشترین تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی (۱۲۵/۸ عدد در بوته) و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی کمترین تعداد خورجین (۳۸/٦۳ عدد در بوته) در شاخه‌های فرعی را به‌خود اختصاص داد (جدول ۳). اعمال تنش کم‌آبی و محدودیت عناصر غذایی روی و آهن سبب کاهش تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی در هر دو رقم کلزا گردید. علت این امر کاهش رشد طولی بوته و کاهش تعداد شاخه‌های فرعی در بوته کلزا بود که سبب افت تعداد خورجین بر روی شاخه-های فرعی بوته کلزا شد. همچنین، نتایج نشان داد که در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی روی + آهن در مقایسه با تیمار شاهد، تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی کلزا در ارقام آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل افزایش داد (جدول ۳). محلول‌پاشی عناصر روی و آهن احتمالا به‌ترتیب از طریق افزایش سنتز هورمون رشد (اکسین) و افزایش سنتز کلروفیل و

بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه سبب بهبود رشد رویشی (ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی بر روی بوته) کلزا گردید و از این طریق تعداد خورجین در شاخه‌های فرعی افزایش یافت. محققان دیگری دریافتند که قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی تعداد کپسول در کنجد (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) را کاهش داد و کاربرد برگی عنصر آهن تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش تعداد کپسول در بوته کنجد گردید (حیدری و همکاران، ۱۳۹٦).

**طول خورجین اصلی**

رقم ساری‌گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن بیشترین طول خورجین اصلی (۸/۳ سانتی‌متر) و رقم آرجی‌اس۳۰۰ تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی کمترین طول خورجین اصلی (۲/۲۳ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). تنش کم-آبی از طریق کاهش رشد طولی گیاه سبب کاهش طول خورجین اصلی کلزا گردید و کاربرد برگی عناصر روی و آهن به‌صورت ترکیبی از طریق بهبود رشد رویشی و فتوسنتز گیاه سبب افزایش طول خورجین در سطوح مختلف رژیم آبیاری گردید و سبب افزایش ۱۰٤/۹۳ و ۸٤/۵۸ درصدی طول خورجین اصلی به-ترتیب در رقم آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل در مقایسه با تیمار شاهد گردید.

**طول خورجین فرعی**

رقم ساری‌گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی آهن بیشترین (٦/۹۳ سانتی‌متر) و رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی ریزمغذی کمترین طول خورجین فرعی (۱/۹۷ سانتی‌متر) را دارا بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل، محلول‌پاشی آهن و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن سبب افزایش معنی‌دار طول خورجین فرعی گردید و طول خورجین فرعی را در رقم آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل به‌ترتیب به میزان ۹٤/٤۱ و ۸۵/۷۷ درصد افزایش داد که بیانگر نقش بسزای عنصر روی در بهبود رشد طولی خورجین‌های فرعی تحت شرایط کم‌آبی می-باشد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که واکنش ارقام مورد مطالعه کلزا به عناصر روی و آهن بسته به رژیم آبیاری مختلف، متفاوت بود و مرحله گلدهی در مقایسه با مرحله نمو خورجین‌ها در مقابل کم‌آبی از حساسیت بیشتری برخوردار است و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تا زمان برداشت محصول به‌دلیل کاهش ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی و افت تعداد خورجین اصلی و فرعی در بوته بیشترین خسارت را به اجزای عملکرد دانه کلزا وارد می‌کند.

**تعداد دانه در خورجین اصلی**

بیشترین تعداد دانه در خورجین اصلی (۳۲/۲۷ عدد) به اثر متقابل رقم ساری‌گل × آبیاری کامل × محلول‌پاشی ترکیبی روی + آهن اختصاص داشت و تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی ترکیبی عناصر روی و آهن در مقایسه با تیمار شاهد، تعداد دانه در خورجین اصلی را به‌میزان ۷۵/۳۷ درصد در رقم ساری‌گل افزایش داد (جدول ۳). نتایج نشان داد که کمبود آب بسته به مرحله رشدی گیاه از طریق کاهش مواد فتوسنتزی و انتقال مواد پرورده به مخازن فیزیولوژیک موجب کاهش تعداد دانه در خورجین گردید. محلول‌پاشی عناصر روی و آهن در تمامی سطوح رژیم آبیاری سبب بهبود تعداد دانه در خورجین اصلی گردید که بیانگر بهبود وضعیت فتوسنتز گیاه تحت شرایط تامین رطوبت خاک باشد. محققان دیگری دریافتند که تعداد دانه در خورجین کلزا (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱) و کپسول کنجد (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) تحت شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد و محلول‌پاشی روی سبب افزایش تعداد دانه در طبق آفتابگردان (کاکمک، ۲۰۰۸) و محلول‌پاشی آهن موجب افزایش تعداد دانه در کپسول کنجد گردید (حیدری و همکاران، ۱۳۹٦ و ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

**تعداد دانه در خورجین فرعی**

در این آزمایش، محلول‌پاشی رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی کمترین تعداد دانه در خورجین فرعی (٦/۱ عدد) را به خود اختصاص داد (جدول ۳)، که با یافته‌های تحقیقاتی دیگر محققان در مطالعه اثر تنش خشکی بر روی کنجد (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) و کلزا (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱) مشابه بود. محققان دیگری نشان دادند که اثر عنصر روی بر تعداد دانه در طبق آفتابگردان (کاکمک، ۲۰۰۸) مثبت بود و محلول‌پاشی آهن تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی سبب افزایش تعداد دانه در کپسول کنجد گردید (حیدری و همکاران، ۱۳۹٦ و ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). کمبود آب و محدودیت عناصر ریزمغذی سبب کاهش تعداد دانه در خورجین کلزا گردید و کاربرد عناصر غذایی روی + آهن در تمامی سطوح رژیم آبیاری سبب افزایش تعداد دانه در خورجین فرعی کلزا گردید. دلیل این پدیده می‌تواند بهبود رشد رویشی ناشی از افزایش سنتز هورمون رشد و رنگدانه‌های فتوسنتزی در واکنش به کاربرد روی

(عباسی و همکاران، ۱۳۹۹) و آهن (بیاتی و همکاران، ۱۳۹۵) و در نتیجه بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه باشد.

**وزن ۱۰۰۰ دانه**

رقم ساری‌گل در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم کاربرد روی و آهن، کمترین وزن ۱۰۰۰ دانه (۱/۳٦ گرم) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در آزمایش دیگری گزارش شده است که وزن ۱۰۰۰ دانه کنجد در واکنش به تنش خشکی کاهش پیدا کرد (حیدری و همکاران، ۱۳۹٦ و ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) و کاربرد عنصر روی سبب افزیش وزن ۱۰۰۰ دانه گندم (منجزی و همکاران، ۲۰۱۳) گردید. نتایج نشان داد که قطع آبیاری از مراحل رشد گل‌دهی و نمو خورجین کلزا سبب کاهش وزن ۱۰۰۰ دانه کلزا و محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن در تمامی سطح رژیم آبیاری موجب بهبود وزن ۱۰۰۰ دانه کلزا گردید که می‌تواند ناشی از کاهش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه تحت شرایط کمبود رطوبت و عناصر عذایی خاک باشد (سهگا و همکاران، ۲۰۱۸) و کاربرد روی و آهن سبب بهبود فعالیت‌های آنزیمی، افزایش کلروفیل، بهبود فتوسنتز، تثبیت دی‌اکسید کربن، افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و طول دوره پرشدن و افزایش وزن دانه می‌شود (منجزی و همکاران، ۲۰۱۳).

**عملکرد زیست‌توده**

رقم ساری‌گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی ترکیبی روی و آهن، بیشترین (۲۳٤٦۰ کیلوگرم در هکتار) زیست‌توده را تولید کرد و در واکنش به قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، کمترین عملکرد زیست‌توده (۸۸۷۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۳). محققان دیگری نشان دادند که تنش خشکی عملکرد زیست‌توده کلزا را کاهش (نیکنام و همکاران، ۲۰۰۳) و محلول‌پاشی ترکیبی عناصر ریزمغذی روی و آهـن عملکرد زیست‌توده کلزا را افزایش داد (امیدی و همکاران، ۲۰۱۰). در این آزمایش، شرایط کم‌آبی و محدودیت عناصر غذایی روی و آهن در همه سطوح رژیم آبیاری سبب کاهش رشد اندام‌های هوایی و زیست‌توده در ارقام کلزا و محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن سبب افزایش زیست‌توده در ارقام کلزا گردید. چنین به‌نظر می‌رسد که محدودیت‌های آبی و عناصر ریزمغذی روی و آهن از طریق کاهش فعالیت آنزیم-های مختلف، سرعت استقرار، رشد اندام‌های رویشی و زایشی و کاهش مواد متابولیکی، عملکرد زیست‌توده کلزا را کاهش می-دهد و کاربرد عناصر ریزمغذی سبب بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیک و رشد گیاهان در شرایط تنش کم‌آبی می‌شود.

**عملکرد دانه**

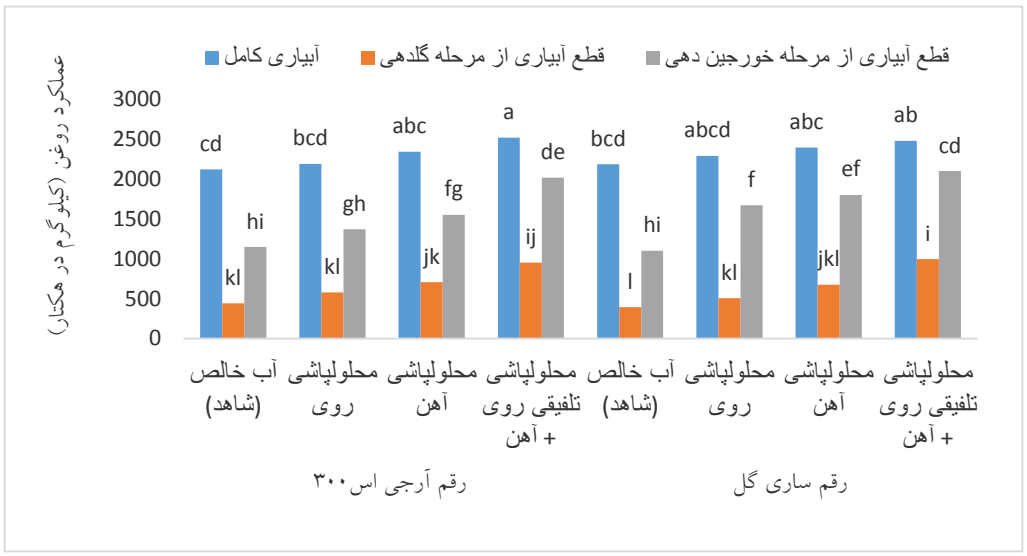
رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی برگی روی + آهن بیشترین (٥٦٦٨ کیلوگرم در هکتار) و رقم ساری‌گل در واکنش به قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم کاربرد عناصر ریزمغذی، کمترین عملکرد دانه (۱۰۱۰ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۱). تنش خشکی عملکرد دانه کلزا را کاهش داد و با یافته‌های تحقیقاتی دیگر محققان در مطالعه بر روی کلزا (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱) و کتان (موحدی دهنوی و همکاران، ۱۳۹٦) مطابقت داشت. محققان دیگری اظهار داشتند که محلول‌پاشی با ریزمغذی روی اثر تنش خشکی را تعدیل و عملکرد دانه سویا (دیمپا و همکاران، ۲۰۱۷) و کنجد (ایوبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) را بهبود بخشید. به‌علاوه، گزارش شده است که کاربرد ترکیبی عناصر غذایی آهن و روی تحت هر دو شرایط آبیاری کامل و اعمال تنش خشکی موجب افزایش عملکرد دانه آفتابگردان گردید (عرب و همکاران، ۱۳۹۷).

**شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه در دو رقم کلزا تحت تاثیر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی عناصر روی و آهن**

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی تا برداشت محصول سبب افت بیشتر عملکرد دانه در رقم ساری‌گل گردید و عملکرد رقم آرجی‌اس۳۰۰ تحت شرایط اعمال تنش خشکی بیشتر از رقم ساری‌گل بود که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در بین ارقام کلزا برای تحمل تنش خشکی می‌باشد. با این توصیف، تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، عملکرد دانه کلزا در واکنش به محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن به میزان ۱۳۶/۱۳ درصد افزایش پیدا کرد (جدول ۳). کاهش عملکرد دانه کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی احتمالا می‌تواند ناشی از محدود شدن جذب عناصر غذایی از خاک و برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تبادل دی‌اکسید کربن، کاهش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه باشد.

**عملکرد روغن**

رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی هم‌زمان روی و آهن، بیشترین (۲۵۱۹ کیلوگرم در هکتار) و رقم ساری‌گل تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، کمترین عملکرد روغن (۳۹۴ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (شکل ۲).




**شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد روغن در دو رقم کلزا تحت تاثیر متقابل رژیم آبیاری و محلول‌پاشی عناصر روی و آهن**

محققان دیگری دریافتند که قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی باعث کاهش عملکرد روغن کلزا گردید (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹٤) و توسعه تنش خشکی در طی مرحله رشد زایشی عملکرد روغن بادام زمینی را کاهش داد (دیمپا و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین، گزارش شده است که تحت شرایط کم‌آبی محلول‌پاشی تلفیقی عناصر روی و آهن سبب بهبود عملکرد روغن سویا (جلیلی شش‌بهره و موحدی دهنوی، ۱۳۹۱)، آفتابگردان (عرب و همکاران، ۱۳۹۷) و گلرنگ (پسندی و همکاران، ۲۰۱۸) گردید. در این آزمایش، تنش کم‌آبی و محدودیت مصرف عناصر غذایی روی و آهن سبب افت عملکرد روغن در ارقام کلزا گردید و تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی ترکیبی با روی و آهن نسبت به شاهد، سبب افزایش عملکرد روغن کلزا در رقم ساری‌گل به‌میزان ۱۵۲/۷۹ درصد گردید (جدول ۳). نتایج نشان داد که عملکرد دانه تابعی از عملکرد دانه کلزا می‌باشد و محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن از طریق بهبود رشد و فرآیند فتوسنتز و افزایش عملکرد دانه در واحد سطح سبب بهبود عملکرد روغن کلزا در سطوح مختلف رژیم آبیاری گردید.

## نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج نشان داد که تمامی صفات زراعی اندازه-گیری شده در کلزا تحت اثر متقابل سه جانبه رژیم آبیاری و کاربرد ریزمغذی‌ها و رقم قرار گرفت و در واکنش به کمبود عناصر ریزمغذی و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و خورجین-دهی کاهش پیدا کرد. بیشترین عملکرد دانه کلزا در رقم آرجی-اس۳۰۰ و تحت شرایط آبیاری کامل و کاربرد برگی روی + آهن به‌دست آمد و کاربرد ترکیبی روی + آهن به‌صورت محلول‌پاشی، از طریق بهبود رشد ساقه اصلی، شاخه‌های فرعی و اجزای عملکرد تحت شرایط آبیاری کامل و اعمال تنش کم‌آبی توانست عملکرد دانه و روغن و دیگر صفات زراعی را در ارقام کلزای آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل در مقایسه با شاهد بهبود بخشد. بدین ترتیب، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی روی و آهن می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی در کلزا را کاهش دهد و کاربرد هم-زمان عناصر غذایی روی و آهن می‌تواند برای بهبود رشد و ارتقای عملکرد کمی و کیفی دانه کلزا تحت شرایط اقلیمی مشابه قابل توصیه باشد.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیریت و پرسنل محترم ایستگاه‌های تحقیقاتی تابعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر که در اجرای این آزمایش مساعدت و همکاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

## منابع

اسکندری، ح. و ا. عالیزاده امرایی. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری تکمیلی در مرحله رشد زایشی بر عملکرد دانه، روغن و کارآیی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم. به زراعی کشاورزی. ۱۸(٤): ۹۱۹-۹۰۷.

ایوبی‌زاده، ن.، لایی، ق.، امینی دهقی، م.، سینکی، ج. م. و ش. رضوان بیدختی. ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و نانوکلات آهن و اسید فولویک بر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه دو رقم کنجد. به‌زراعی کشاورزی. ۲۲(۲): ۲٤۳-۲۳۱.

آژند، م.، سعیدی، م.، بهشتی آل آقا، ع. و د. کهریزی. ۱٤۰۲. اثر محلول‌پاشی کودهای آهن و روی بر برخی خصوصیات زراعی بالنگوی شهری در شرایط تنش کم‌آبی پس از گل‌دهی. ٤٦(۱): ۱٤٦-۱۳۱.

بیاتی، ف.، آینه بند، ا. و ا. فاتح. ۱۳۹۳. بررسی تأثیرمقادیر و زمانهای کاربرد کود آهن نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۱۲: ۸۰۵-۸۱۲.

جلیلی شش‌بهره، ج. و م. موحدی دهنوی. ۱۳۹۱. اثر محلول‌پاشی روی و آهن بر بنیه بذر سویا رشد کرده در شرایط تنش خشکی. تولید گیاهان زارعی. ۵(۱): ٤۹-٦۵.

حسن‌زاده، م.، شیرانی‌راد، ا. ح.، نادری درباغشاهی، م. ر.، مجد نصیری، ب. و ح. مدنی. ۱۳۸٤. بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام پرمحصول کلزای پاییزه . مجله کشاورزی. ۷(۲): ۲٤-۱۷.

حیدری، م.، گلیج، م.، قربانی، ه. و م. برادران فیروزآبادی. ۱۳۹۶. تاثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن بر عملکرد دانه، محتوای یونی و رنگدانه‌های نورساختی کنجد. علوم گیاهان زراعی ایران. ٤٦(٤): ٦٢٨-٦١٩.

خلیلی، م.، نقوی، م. ر. و م. ر. ابوقداره. ۱۳۹٤. ارزیابی عملکرد دانه و برخی از صفات زراعی و مورفولوژیک در ژنوتیپ‌های گلرنگ بهاره در شرایط آبیاری و دیم. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۷(۱٦): ۱٤۸-۱۳۹.

صادق‌زاده اهری، د. ۱۳۹٦. اثر اندازه بذر بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی و تحمل به تنش خشکی نخود. به زراعی کشاورزی. ۱۹(۱): ۸۵-٦۹.

عباسی، ا.، صیادی آذر، ز. و ر. لطفی. ۱۳۹۹. ارزیابی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گلرنگ با کاربرد نانو ذرات رویو آهن در شرایط مختلف رطوبتی. نشریه زراعت دیم ایران. ۹(۲): ۲۸٤-۲۳۷.

عرب، ر.، یدوی، ع. ر.، بلوچی، ح.ر. و ح.ر. خادم حمزه. ۱۳۹۷. اثر دور آبیاری و محلولپاشی عناصر آهن و روی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد آفتابگردان. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۵(۲): ۹۰-۷۷.

فتحی امیرخیز، ک.، امینی دهقی، م. و س. حشمتی. ۱۳۹۳. اثر روشهای مصرف کلات آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان روغن دانه گلرنگ بهاره رقم گلدشت در شرایط کم آبیاری. مجله علوم زراعی ایران. ١٦(٤): ۳۰۸-۳۲۱.

فرخی‌نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و ر. ساسان‌دوست. ۱۳۹۰. بررسی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. علوم گیاهان زراعی ایران. ٤۲(۳): ۵۵۳-٥٤٥.

مجیدیان، م.، شجاع، ت. و م. ربیعی. ۱۳۹۵. اثرات گوگرد، بور، روی و اثر متقابل آنها بر عملکرد کمی و کیفی کلزا به عنوان کشت دوم در مزرعه شالی. مجله تولید گیاهان زراعی. ۳۸(۲): ۵۰-۳۵.

موحدی دهنوی، م.، نیکنام، ن.، بهزادی، ب.، محتشمی، ر. و ر. باقری. ۱۳۹٦. مقایسهٔ پاسخ‌های فیزیولوژیک کتان به تنش خشکی و شوری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک. زیست‌شناسی گیاهی ایران. ۹(۳۳): ۳۹-٦۲.

یوسف‌پور، ا. و ا. فرج‌زاده معماری تبریزی. ۱۳۹۷. تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ذرت شیرین. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(٤٦): ۳۰۲-۲۸۷.

Afshari, K., Nazari, M., Omidi, H., Shekari, F. and A. A. Bostani. 2020. The effects of different methods of zinc application on canola seed yield and oil content. J. Plant Nut. 43(8): 1070-1079.

Ashrafi, E. and K. Razmjoo. 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. J. Amer. Oil Chem. Soci. 87(5): 499-506.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc. Agronomic or genetic biofortification. Plant Soil. 302: 1-17.

Dimkpa, C. O., Bindraban, P. S., Fugice, J., Agyin Birikorang, S., Singh, U. and D. Hellums. 2017. Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean. Agron. Sust. Develop. 37(1): 15-29.

Kim, K. S., Park, S. H. and M. A. Jenks. 2007. Changes in leaf cuticular waxes of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants exposed to water deficit. J. Plant Physiol. 164: 1134-1143.

Latif, S. and F. Anwar. 2008. Quality assessment of moringa concanensis seed oil extracted through solvent and aqueous enzymatic techniques. Grasas Aceites. 59: 67–73.

Mohammadi, M., Ghassemi Golezani, K., Chaichi, M. R. and Safikhani, S. 2018. Seed oil accumulation and yield of safflower affected by water supply and harvest time. Agron. J. 110: 1-8.

Monjezi, F., Vazin, F. and Hassanzadeh Delouei, M. 2013. Effects of iron and zinc spray on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) in drought stress. Cercet. Agron. Moldova. 46(1): 23-32.

Niknam, S. R., Ma, Q. and W. Turner. 2003. Osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* genotypes in a water- limited environment in south- western Australia. Aust. J. Experim. Agric. 43(9): 1127-1135.

Omidi H., Tahmasebi, Z., Naghdi Badi, H. A., Torabi, H. and M. Miransari. 2010. Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. Comptes Rendus Biolog. 333(3): 248-254.

Pasandi, M., Janmohammadi, M., Abasi, A. and N. Sabaghnia. 2018. Oil characteristics of safflower seeds under different nutrient and moisture management. Nova Biotechnologica et Chimica. 17(1): 86-94.

Salehin, F. and S. Rahman. 2012. Effects of zinc and nitrogen fertilizer and their application method on yield and yield components of (*Phaseolus vulgaris* L.). Agric. Sci. 3(1): 9-13.

Sehga, A., Kumari, S., Kadambot, H., Siddique, M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., Hanumantha Rao, Ramakrishnan, B., Nair, M., Prasad, P. V. V. and H. Nayyar. 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. Front. Plant Sci. 27: 125-139.

Masoud Sinaki, J., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H., Noor Mohamadi, G. and G. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). Amer-Eur. J. Agric. Environ. 2: 417-424.

Youssefi, A., Nshanian, A. and M. Azizi. 2011. Evaluation of influences of drought stress in terminal growth duration on yield and yield components of different spring Brassica oilseed species. Amer-Eur. J. Agric. Environ. Sci. 11: 406-410.

# Response of yield and oil quality of two rapeseed varieties to Zn and Fe elements application under water deficit condition

H.R. Zakerin[1], A.H. Shirani Rad[2], S. Sayfzadeh [2], A. Valadabady[3]

Received: 2023-03-06 Accepted: 2023-07-19

**Abstract**

In order to evaluate quantitative and qualitative yield of two rapeseed varieties in response to Zn and Fe elements application under water deficiency condition, this experiment was carried out as factorial split plot based on complete block design with three replications during 2011-2012 cropping season in two regions including Qazvin and Karaj, Iran. Three levels of irrigation regimes including full irrigation, irrigation interruption from flowering stage and irrigation interruption from silique stage and four levels of micronutrients including zero (control), foliar application of Zn (a four per thousand concentration), Fe (four per thousand concentration) and Zn + Fe as 3×4 factorial in main plot and two varieties of rapeseed namely Sarogol and RGS300 in sub plot comprised experimental treatments. Results showed that the tripled interaction effect of irrigation regim × foliar spraying of micronutrients × rapeseed variety was significant on all measured characteristics including plant height, number of secondary branch per plant, number of silique per maim steam, number of silique per sub branch, main silique length, sub silique length, seed number per main silique, seed number per sub silique, 1000-seed weight, biological yield, see yield and oil yield. The greatest number of secondary branch per plant (7.72), number of silique per secondary branch (125.80), 1000-seed weight (5.46 g), biological yield (23760 kg/ha), seed yield (5668 kh/ha) and oil yield (5668 kg/ha) obtained in RGS300 variety under full irrigation and foliar application of Zn + Fe conditions and showed no significant difference with Sarigol variety under similar condition. Irrigation interruption from both flowering and silique setup stages caused a decrease in rapeseed yield and other studied agronomic traits. In this experiment, irrigation interruption from flowering stage showed the greatest loss of seed yield in rapeseed and under water deficiency from flowering stage, foliar spraying of Zn + Fe enhanced seed and oil yield of RGS300 and Sarigol varieties equal 107 and 153 percent in comparison with control, respectively. In general, integrated application of Zn + Fe as foliar spraying increased seed yield through improving of vegetative and reproductive growth of rapeseed plants in different levels of irrigation regimes. Hence, combined spraying of Zn + Fe micronutrients both with four per thousand concentrations could be recommendable to enhance quantitative and qualitative yield of rapeseed under similar climatic condition.

**Keywords**: Drought stress, Micronutrient, Rapeseed, Spraying, Yield improvement.

1- Assistant Prof., Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2- Prof. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research,Education and Exension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3- Associate Prof., Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.