"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و یکم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد و کیفیت روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.) رقم هایولا ٤٠١ در شرایط تنش خشکی

Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. cv. Hyola401) under drought stress conditions

سیداحمد کلانتراحمدی[1] و احمدعلی شوشی دزفولی[2]

چکیده

کلانتری احمدی، س. ا.، و ا. ع. شوشی دزفولی. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد و کیفیت روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.) رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط تنش خشکی. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۱(۳): ۲۵۳-۲۳۷.**

به منظور ارزیابی اثر تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی، بُر و منگنز بر عملکرد دانه، میزان روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه کلزا رقم هایولا ٤٠١، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۲ تا ۱۳۹٤) در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح؛ آبیاری کامل (شاهد ۱)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی، منگنز و بُر (با غلظت‌های دو، چهار و شش در هزار) و محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد ۲) در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. محلول‌پاشی در دو مرحله غنچه دهی (کد ۳۱) و شروع گلدهی (کد ٦١) سیلوستر- برادلی و میکپیس انجام شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه و اجزای عملکرد با قطع آبیاری به طور معنی‌داری کاهش یافتند. قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی باعث کاهش تعداد خورجین در بوته (به‌ترتیب ٤٠ و ٨ درصد) شد. بیشترین عملکرد دانه (٤٣٠١ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری کامل و محلول پاشی بُر و روی با غلظت چهار در هزار و کمترین عملکرد دانه (١٨٦٣ کیلوگرم در هکتار) از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و محلول پاشی با آب مقطر (شاهد ۲) بدست آمد. بیشترین میزان روغن دانه (٤٥/٦ درصد) از تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی روی و بُر با غلظت شش در هزار و کمترین میزان روغن دانه (٤٠/٣ درصد) از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بدست آمد. قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث کاهش میزان اسید اولئیک و افزایش اسید لینولئیک روغن دانه شد. در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی نیز بیشترین عملکرد دانه با محلول‌پاشی منگنز و بُر (چهار در هزار) و روی با غلظت شش در هزار بدست آمد. بر اساس نتایج این آزمایش قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث وارد شدن تنش شدید به گیاه کلزا شده و اجتناب از آن ضروری است. دستیابی به عملکرد مناسب دانه کلزا با اجرای آبیاری کامل و محلول‌پاشی بُر و روی با غلظت چهار در هزار امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: اسید اولئیک، بُر، تنش خشکی، روی، کلزا و منگنز.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۲ این مقاله مستخرج ازطرح تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذ پروژه تحقیقاتی به شماره ۹۲۲۰۳-۰۳-۷۱-۲ می‌باشد.

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: a.kalantarahmadi@areeo.ac.ir)
۲- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

مقدمه

کلزا یکی از دانه‌های روغنی مهم محسوب می‌شود که علاوه بر تامین روغن، موجب گسترش اشتغال در بخش صنعت شده و کنجاله مورد نیاز طیور را نیز تامین می‌کند. استان خوزستان یکی از مناطق مستعد جهت کشت کلزا است و می‌تواند نقش مهمی در تولید روغن کشور داشته باشد. بعلاوه کشت کلزا باعث بهبود شرایط خاک شده و گنجاندن آن در تناوب زراعی باعث پایداری تولید سایر محصولات زراعی از جمله گندم خواهد شد.

تلاش در جهت بهبود عملکرد دانه و کیفیت آن از طریق تولید ژنوتیپ‌های جدید و بهینه سازی عملیات زراعی در دنیا در جریان است (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009). تعیین مرحله بحرانی نیاز آبی و برنامه ریزی آبیاری بر اساس نیاز گیاه زراعی اهمیت ویژه‌ای در حفظ آب، بهبود اجرای آبیاری و پایداری کشاورزی فاریاب دارد (Ngouajio *et al.*, 2007). وقوع تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژیک گیاه کلزا اثرات متفاوتی بر میزان روغن دانه آن دارد. تنش خشکی در مرحله گلدهی، باعث کاهش میزان روغن دانه و تغییر در ترکیب اسیدهای چرب روغن می‌شود (Bouchereau *et al.*, 1996). گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، تحرک عنصر روی در گیاه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، کاهش شدید رشد ریشه در گیاهانی که در شرایط کمبود روی رشد می‌کنند بسیار محسوس بوده و در جذب سایر عناصر غذایی نیز اختلال ایجاد می‌شود (Marschner, 1995). اختلال در رشد در اثر کمبود روی و تنش خشکی، بدلیل آسیب به دستگاه فتوسنتزی گیاه و کاهش قابل ملاحظه فتوسنتز در اثر محدودیت روزنه‌ای و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. در شرایط کمبود روی و تنش خشکی، فقط بخش اندکی از روی جذب شده بوسیله گیاه به برگ‌ها منتقل می‌شود که این موضوع نیز بدلیل کاهش گشودگی روزنه‌ها و تعرق است (Hajiboland and Amirazad, 2010). نتایج تحقیقات نشان داده است که محلول پاشی مقادیر اندکی از عناصر غذایی، به ویژه روی (۰/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و منگنز (۱۴/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، عملکرد گیاهان زراعی را بطور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Sarkar *et al.*, 2007).

بُر یکی از عناصر ریزمغذی ضروری برای رشد و نمو گیاهان عالی است و نقش مهمی در ساختمان دیواره سلول، پایداری غشای سیتوپلاسم و احتمالا انتقال قند و متابولیسم کربوهیدرات‌ها دارد (Yang *et al.*, 2009). بُر بطور مستقیم و غیرمستقیم در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند طویل شدن سلول، کارکرد غشا، فتوسنتز برگ و متابولیسم نیتروژن در طول دوره رشد گیاه نقش دارد و در نتیجه باعث بهبود معنی‌داری عملکرد و کیفیت گیاه می‌شود. با توجه به نقش ریشه‌ها در جذب آب، عناصر غذایی و حفظ تعادل آبی گیاه، سیستم ریشه‌ای گسترده و کارآمد در تحمل به خشکی گیاهان نقش مهمی دارد. کمبود بُر باعث اختلال در تشکیل و کارکرد آوندهای چوبی می‌شود (Marschner 1995). نتایج تحقیقات نادیان و همکاران (Nadian *et al.*, 2010) در خصوص اثر سطوح بُر (صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد دانه کلزا نشان دادکه حداکثر عملکرد دانه (۳۰۰۲/۴ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۲/۵ کیلوگرم بُر در هکتار بدست آمد و تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار بُر باعث کاهش عملکرد دانه شد. کاهش عملکرد و کیفیت دانه کلزا در سطوح بالای بُر به اثر سمی مقادیر بالای بُر نسبت داده شد.

منگنز نیز یکی از عناصر ریزمغذی ضروری است. نتایج تحقیقات نشان داده است که محلول پاشی منگنز باعث افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ و سطح برگ در گیاه آفتابگردان شد. محلول پاشی ریز مغذی‌های بُر و منگنز تا حدودی اثرات منفی تنش را

کاهش داده و باعث ایجاد تعادل تغذیه‌ای در گیاه نیز می‌شود (Jabeen and Ahmad, 2011).

شناخت اثرات تنش خشکی بر عملکرد گیاه و کاهش اثر منفی تنش با استفاده از عناصر ریزمغذی، برنامه‌ریزی برای آبیاری و تغذیه مطلوب گیاه را جهت دستیابی به پتانسیل تولید آن در شرایط تنش امکان‌پذیر خواهد ساخت. هدف از این آزمایش بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه و اثر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی روی، بُر و منگنز بر عملکرد دانه، میزان روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا رقم هایولا ۴۰۱ بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌مدت دو سال زراعی (۱۳۹۲تا ۱۳۹۴) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری (عامل اصلی) در سه سطح؛ آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به عنوان شاهد (آبیاری کامل، شاهد ۱)، قطع آبیاری در شروع مرحله گلدهی(کد ۶۱) (تنش شدید خشکی) و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی (کد ۷۵) (تنش ملایم خشکی)؛ به ترتیب مراحل رشدی ۶۱ و ۷۵ کدبندی سیلوستر- برادلی و میکپیس (Sylvester-Bradley and Makepeace, 1984) گیاه کلزا بود (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2013). محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی جمعا در ۱۰ سطح؛ روی، منگنز و بُر (با غلظت‌های دو، چهار و شش در هزار) و محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد ۲) در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. در تیمارهای قطع آبیاری تا پایان دوره رشد گیاه آبیاری انجام نشد. مشخصات تیمارهای آزمایشی در جدول یک ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات تیمارهای آبیاری و عناصر ریزمغذی

Table 1. Specifications of irrigation and micronutrients treatments

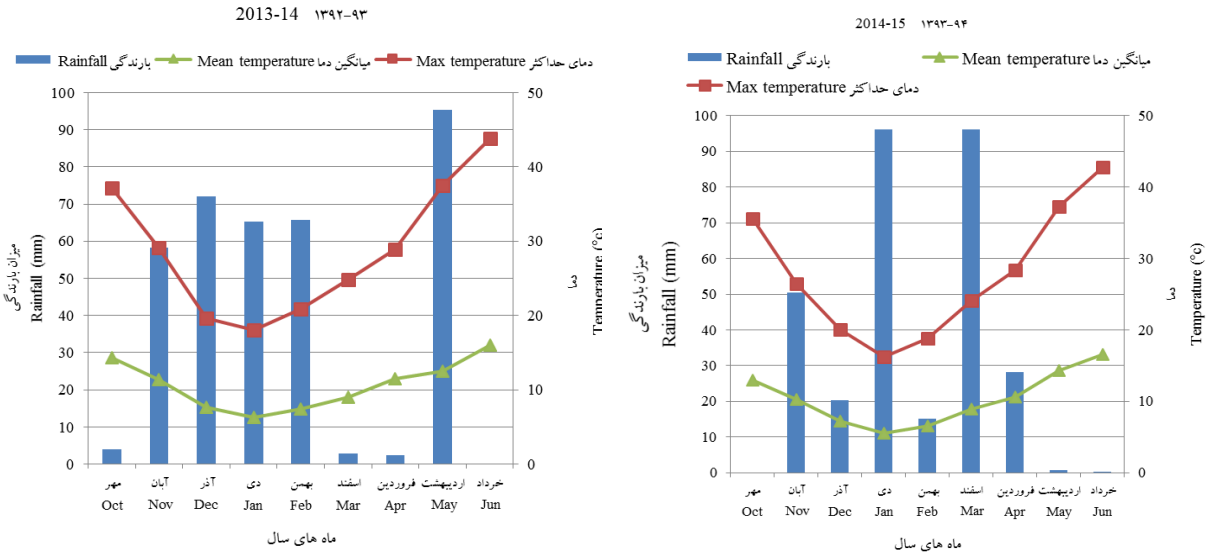
آبیاری کامل (شاهد ۱) Full irrigation (S_1)	قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید) Irrigation withhold at flowering stage (severe stress) (S_2)	قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی (تنش ملایم) Irrigation withhold at silique formation stage (mild stress) (S_3)
Zn_1: 2‰	Zn_2: 4‰	Zn_3: 6‰
Mn_1: 2‰	Mn_2: 4‰	Mn_3: 6‰
B_1: 2‰	B_2: 4‰	B_3: 6‰
محلول پاشی آب مقطر (شاهد ۲) Distilled water (Control)		

محلول‌پاشی با استفاده از سمپاش پشتی کتابی با نازل نوع سیلابی انجام شد. حجم پاشش برای هر کرت فرعی سه لیتر بود. محلول‌پاشی در دو مرحله غنچه دهی(کد ۳۱) و شروع گلدهی (کد ۶۱) انجام شد (Sylvester-Bradley and Makepeace, 1984). رقم کلزای مورد آزمایش Hyola401 (شاهد منطقه، تیپ بهاره) بود. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی ـ رسی با اسیدیته ۷/۶۴ و هدایت الکتریکی ۰/۵۷ دسی زیمنس بر متر بود. بر اساس نتایج تجزیه خاک میزان مواد آلی خاک ۰/۷۲ درصد، فسفر ۸/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پتاسیم ۱۷۸میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل به صورت پایه به خاک داده شد. مقدار نیتروژن مصرفی نیز ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) بود. کود نیتروژن در سه مرحله (یک سوم قبل از کاشت، یک

سوم در مرحله ساقه رفتن و یک سوم در اوایل گلدهی) بطور مساوی مصرف شد. زمین مزرعه آزمایشی در سال اول و قبل از زراعت کلزا، زیر کشت گندم بود. در پایان سال اول آزمایش، در فصل تابستان، گیاه ماش در مزرعه کشت شده و پس از برداشت محصول آن، سال دوم آزمایش اجرا شد. تهیه زمین شامل؛ دیسک سنگین، دیسک سبک، ماله، کودپاشی، سمپاشی و دیسک سبک (جهت اختلاط کود و علف‌کش با خاک) بود. قبل از کاشت بذر، علف‌کش ترفلان به میزان دو لیتردر هکتار به صورت خاکی مصرف شد و سپس با استفاده از فاروئر ردیف‌های کاشت با عرض ۷۵ سانتیمتر ایجاد شدند. هر کرت فرعی شامل چهار پشته شش متری بود. هر کرت فرعی با یک پشته به صورت نکاشت از کرت فرعی کناری جدا گردید. آرایش کاشت به صورت دو ردیف روی پشته با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. عملیات داشت در طول فصل رشد بر حسب نیاز انجام گرفت. میزان بارندگی و دما در طول دو سال آزمایش در شکل یک ارائه شده است. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی (تنش ملایم) و قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش ملایم) به ترتیب ۹، ۶ و ۴ نوبت بود.

برای اندازه‌گیری تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات مذکور اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در خورجین، ۱۰۰ عدد خورجین از ۱۰ بوته انتخابی جدا شده و دانه‌های آنها با استفاده از دستگاه بذر شمار الکتریکی شمارش شده و بعد از میانگین‌گیری، تعداد دانه در خورجین محاسبه شد. پس از حذف دو خط کناری هر کرت و یک متر ابتدا و انتهای هر کرت، محصول ۴/۸ متر مربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه گردید. از هر تیمار یک نمونه ۳۰ گرمی انتخاب و با استفاده از روش رزونانس مغناطیسی هسته (NMR)، میزان روغن دانه اندازه‌گیری شد. آماده سازی مشتق متیل استر اسیدهای چرب و آنالیز آنها با دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-MS Varian 4000, Varian Inc. Netherlands) انجام گرفت (Azadmard-Damirchi and Dutta, 2008).

جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای



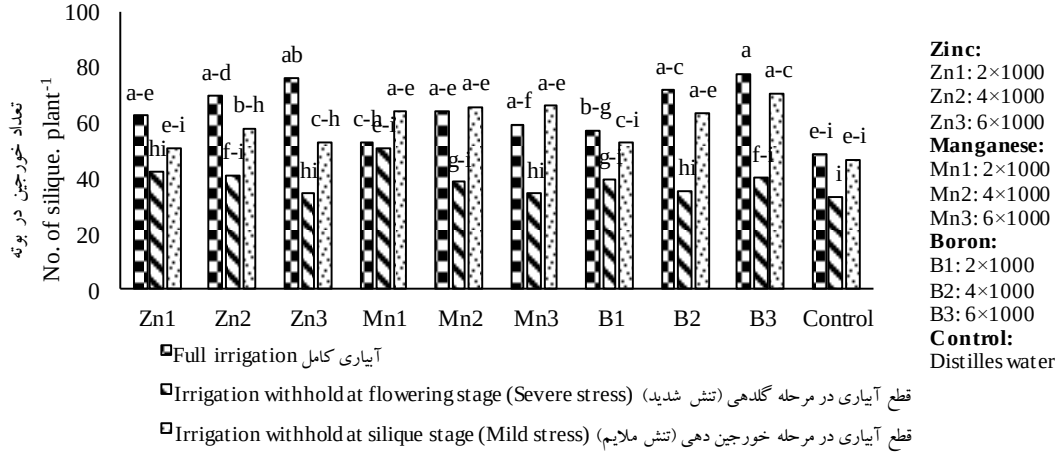
شکل ۱- میانگین دمای هوا و بارندگی محل اجرای آزمایش (۱۳۹۲تا ۱۳۹۴)

Fig. 1. Mean of temperature and rainfall at experiment site (2013-2015)

آزمایشی آزمون بارتلت انجام گرفت و نتایج کای اسکوئر نشان دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال بود. تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش توکی در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، آبیاری، محلول‌پاشی، سال × آبیاری و آبیاری × محلول‌پاشی بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود. قطع آبیاری در مرحله گلدهی کاهش شدید تعداد خورجین در بوته را به‌دنبال داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی تعداد خورجین در بوته را به ترتیب ۴۰/۳۷ و ۷/۶۶ درصد کاهش داد (اعداد ارائه نشده‌اند). برهمکنش آبیاری × محلول پاشی نیز باعث کاهش شدید تعداد خورجین در بوته در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی شد. بیشترین تعداد خورجین در بوته (۷۷/۶) به در تیمار آبیاری کامل و محلول پاشی بُر با غلظت شش در هزار بدست آمد. کمترین تعداد خورجین در بوته (۳۳) نیز مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم مصرف عناصر ریزمغذی (محلول پاشی با آب مقطر) بود (شکل ۲). بر اساس نتایج مربوط به اثر مقابل تیمارهای آزمایشی بر تعداد خورجین در بوته به نظر می‌رسدکه مرحله گلدهی حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی بوده و باعث کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود. تنش در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی بدلیل عرضه کمتر مواد فتوسنتزی، باعث ریزش گل و خورجین‌های در حال رشد در کلزا می‌شود (Robertson and Holland, 2004). تعداد خورجین در بوته یکی از اجزای مهم عملکرد است، زیرا خورجین‌ها در برگیرنده دانه‌ها، تولید کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها و نیز ذخیره کننده مواد جذب شده و سنتز شده در برگ‌ها بوده که این مواد از دیواره خورجین به دانه‌ها منتقل شده و باعث نمو دانه‌ها می‌شوند، بنابراین خورجین‌ها تا حدودی معیاری برای پیش‌بینی وزن دانه‌ها محسوب می‌شوند (Rood *et al.*, 1984). در تیمار آبیاری کامل و تنش ملایم (قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی) تعداد خورجین در بوته در غلظت‌های بالای بُر بیشتر از غلظت‌های کمتر بود. در شرایط تنش شدید محلول‌پاشی منگنز با غلظت دو در هزار در مقایسه با سایر تیمارهای محلول‌پاشی، بیشترین تاثیر را بر تعداد

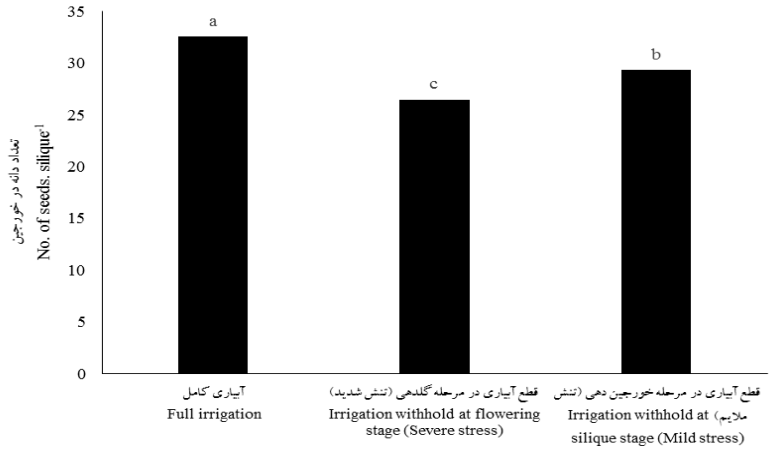


شکل ۲- برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر تعداد خورجین در بوته کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 2. Interaction effect of irrigation and foliar application of micro nutrient treatments on number of silique.plant^{-1} in canola (2013-2015)

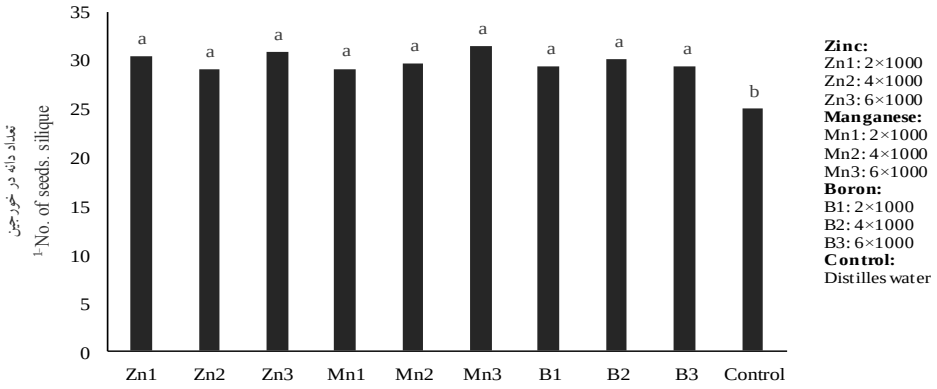
خورجین در بوته داشت. در شرایط مطلوب رطوبتی نیز محلول‌پاشی روی با غلظت شش در هزار با محلول‌پاشی بُر با غلظت شش در هزار در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۲). روی علاوه بر افزایش ذخیره کربوهیدرات‌های دانه در سنتز پروتئین لوله گرده نیز سهیم بوده و باعث ذخیره پروتئین شده که این موضوع باعث افزایش گرده افشانی، تشکیل میوه و دانه بیشتر می‌شود (Marschner, 1995). وجود عناصر ریز مغذی نظیر روی در مناطق مریستمی، بعلت نقش آن در تولید هورمون اکسین باعث افزایش شاخه بندی و تعداد خورجین در بوته می‌شود (Tandon, 2005). به نظر می‌رسد که محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر فتوسنتز و آنزیم‌های موجود در مسیرهای متابولیک تبدیل مواد فتوسنتزی به انرژی و اجزای عملکرد اثر مثبت داشته و باعث افزایش محصول گیاه می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، آبیاری و محلول پاشی و همچنین برهمکنش سال × آبیاری بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد دانه در خورجین در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۲۶/۸ و ۳۱/۹ بود (اعداد ارائه نشده‌اند). افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش تعداد دانه در خورجین شد (شکل ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین (۳۵/۵) تعداد دانه در خورجین در سال دوم در تیمار آبیاری کامل و کمترین



شکل ۳- اثر تیمارهای آبیاری بر تعداد دانه در خورجین کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 3. Effect of irrigation treatments on number of seed.silique^{-1} in canola (2013-2015)



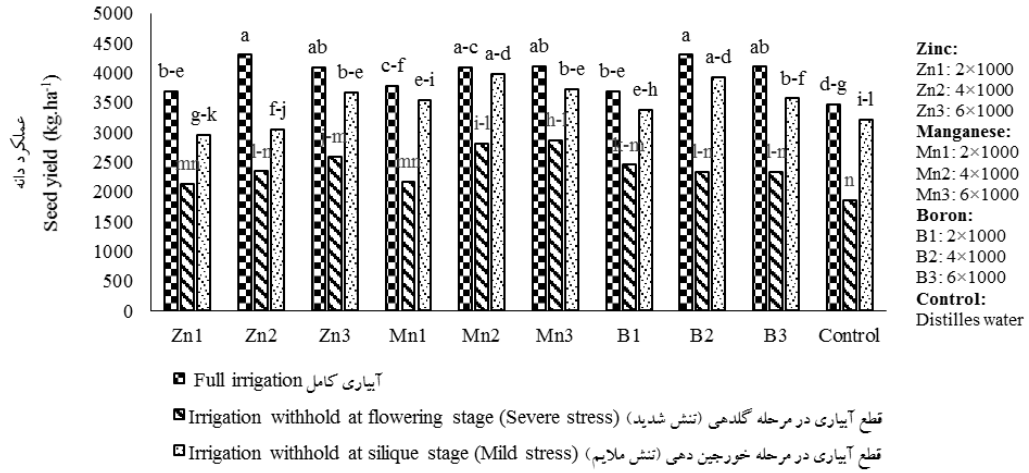
شکل ۴- اثر تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر تعداد دانه در خورجین کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 4. Effect of foliar application of micro nutrients treatments on number of seed.silique^{-1} in canola (2013-2015)

(۲۴/۸) تعداد دانه در خورجین نیز در سال اول در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی بدست آمد (جدول ۲). کاهش تعداد دانه در خورجین در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی را می‌توان ناشی از اثر منفی تنش خشکی روی گرده‌افشانی و بارور شدن گل‌ها دانست. مقایسه میانگین‌های محلول پاشی عناصر ریزمغذی نیز نشان داد که کلیه تیمارهای محلول پاشی در یک گروه آماری قرار گرفتند و کمترین تعداد دانه در خورجین نیز مربوط به محلول‌پاشی با آب مقطر بود (شکل ۴).نتایج نشان داد که تفاوت بین تیمارهای محلول‌پاشی از نظر تاثیر بر تعداد دانه در خورجین کمتر از تعداد خورجین در بوته بود. بسته به زمان وقوع تنش خشکی، تغییرات اجزای عملکرد نیز متفاوت خواهد بود. قطع آبیاری در مرحله گلدهی در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی تعداد دانه در خورجین را بیشتر کاهش داد. کاهش تعداد دانه در خورجین در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی را می‌توان ناشی از اثر منفی تنش خشکی روی گرده‌افشانی و بارور شدن گل‌ها دانست. عوامل تنش زایی که در اوایل فصل رشد گیاه رخ می‌دهند، بطور عمده بر تعداد دانه اثر می‌گذارند، در حالی‌که اندازه دانه تحت تاثیر عواملی که بعد از گرده افشانی عمل می‌کنند، قرار می‌گیرد (Kimber and Mc Gregor, 1995). تغییرات در رشد دانه دارای سازوکار پیچیده‌ای از انتقال و تبدیل ماده خشک، به‌ویژه از پریکارپ به دانه است که ممکن است تحت تاثیر عناصر غذایی نیز قرار گیرد (Mei *et al.*, 2009).

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، آبیاری و محلول پاشی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. برهمکنش سال × آبیاری و آبیاری × محلول پاشی نیز بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد دانه (۴۲۶۶/۷ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم در تیمار آبیاری کامل و حداقل عملکرد دانه (۲۳۰۱/۶ کیلوگرم در هکتار) نیز در سال اول در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی بدست آمد (جدول ۲). عملکرد دانه کلیه تیمارهای آبیاری در سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول بود. مقایسه میانگین‌ها نشان دادکه حداکثر عملکرد دانه (۴۳۰۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری کامل و محلول پاشی بُر و روی با غلظت چهار در هزار بدست آمد. حداقل عملکرد دانه (۱۸۶۳/۶ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و محلول پاشی با آب مقطر بدست آمد (شکل ۵). می و همکاران (Mei *et al.*, 2009) گزارش دادند که مصرف بُر از طریق افزایش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین، باعث افزایش عملکرد دانه کلزا می‌شود. در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی و برخی از تیمارهای محلول پاشی، تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل مشاهده نشد. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۵، محلول پاشی عناصر منگنز و بُر (با غلظت‌های چهار در هزار) باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی شد. به نظر می‌رسد که منگنز و بُر اثر بیشتری بر سازوکار تنظیم اسمزی دارند، بنابراین با مدیریت تغذیه‌ای مناسب، می‌توان میزان حساسیت به تنش خشکی در کلزا را تا حدی کاهش داد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و محلول پاشی بر وزن هزار دانه کلزا معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین وزن هزار دانه (به ترتیب ۳/۷۲ و ۳/۱۸ گرم) به ترتیب به شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بدست آمد (شکل ۶). تنش خشکی حاصل از قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی در مقایسه با آبیاری کامل، باعث کاهش وزن هزار دانه (به ترتیب ۱۴/۵۱ و ۶/۱۸ درصد) شد. افزایش شدت تنش علاوه بر کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه را نیز کاهش داد. با توجه به این نتایج به نظر می‌رسد که تنش خشکی باعث کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به



شکل ۵- برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 5. Interaction effect of irrigation and foliar application of micro nutrient treatments on seed yield of canola (2013-2015)

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه، میزان روغن و اسیدهای چرب روغن دانه کلزا در برهمکنش تیمارهای سال × آبیاری (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Table 2. Mean comparison of seed yield, oil content of seed and fatty acids content of seed oil of canola in interaction effect of year × irrigation treatments (2013-2015)

Treatments تیمارهای آزمایشی		روغن دانه					
سال × آبیاری Year × Irrigation	تعداد دانه در خورجین No. of grain. silique^{-1}	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	Oil content of seed (%)	اسید لینولئیک Linoleic acid (%)	اسید پالمیتیک Palmitic acid (%)	اسید استاریک Stearic acid (%)	اسید اولئیک Oleic acid (%)
۱۳۹۲-۹۳ 2013-14	29.5c	3612.8b	44.1a	21.81b	3.61b	1.73b	54.61a
	24.8e	2301.6d	41.6c	15.27f	2.54f	1.15d	38.38c
	26.3de	3142.8c	42.8b	18.03d	3.13d	1.45c	46.51b
۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	35.5a	4266.7a	44.2a	24.49a	3.88a	1.94a	54.91a
	28.0cd	2476.0d	40.9d	17.50e	2.69e	1.11d	38.36c
	32.2b	3701.5b	42.5b	19.03d	3.25c	1.39c	45.89b

Full irrigation آبیاری کامل

Irrigation withhold at flowering stage (Sever stress) قطع آبیاری در مرحله گلدهی (تنش شدید)

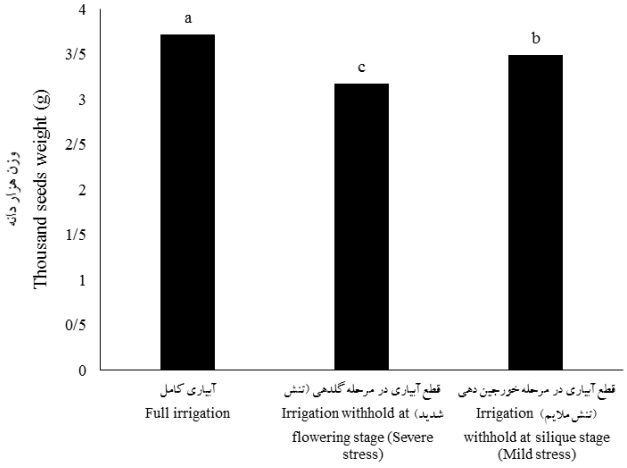
Irrigation withhold at silique formation stage (Mild stress) قطع آبیاری در مرحله خورجین دهی (تنش ملایم)

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

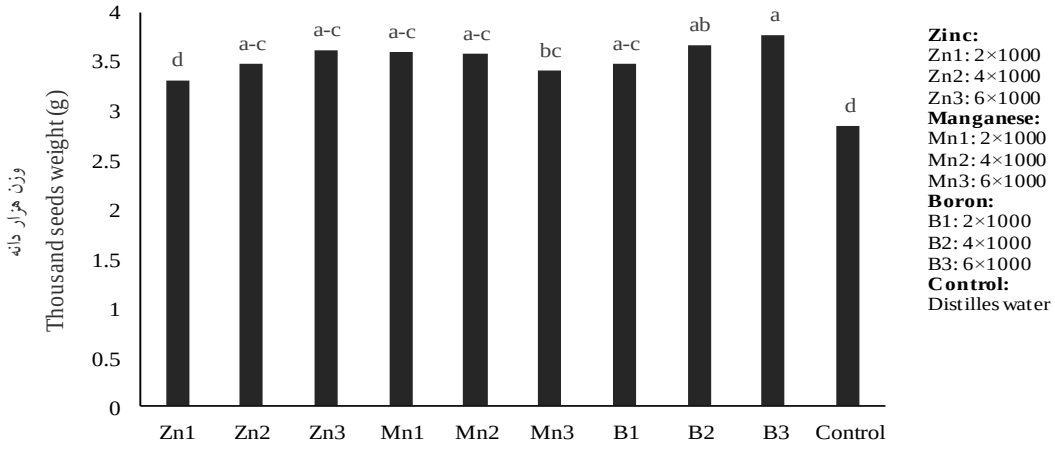
دانه شد. بیشترین (۳/۷۶ گرم) و کمترین (۲/۸۴ گرم) وزن هزار دانه به ترتیب در تیمار محلول‌پاشی بُر با غلظت شش در هزار و محلول پاشی با آب مقطر (شاهد) بدست آمد (شکل ۷). بر خلاف منگنز که غلظت‌های پایین از تاثیر بیشتری بر وزن هزار دانه برخوردار بود، روی و بُر در غلظت‌های بالا افزایش وزن هزار دانه را بدنبال داشتند. گزارش شده است که گیاهان سازوکارهای تعادلی خاصی جهت حفظ میزان مناسب عناصر فلزی ضروی مانند مس و منگنز دارند (Krupa and Baszynski, 1995). یانگ و همکاران نیز اظهار داشتند که مصرف بُر باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود (Yang *et al.*, 2009). این نتایج نشان می‌دهد که فراهم بودن عناصر ریزمغذی از طریق تاثیر بر تقسیم و رشد سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، آبیاری، محلول پاشی، سال × آبیاری و آبیاری × محلول پاشی بر میزان روغن دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین (۴۴/۲ درصد) میزان



شکل ۶- اثر تیمارهای آبیاری بر وزن هزار دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

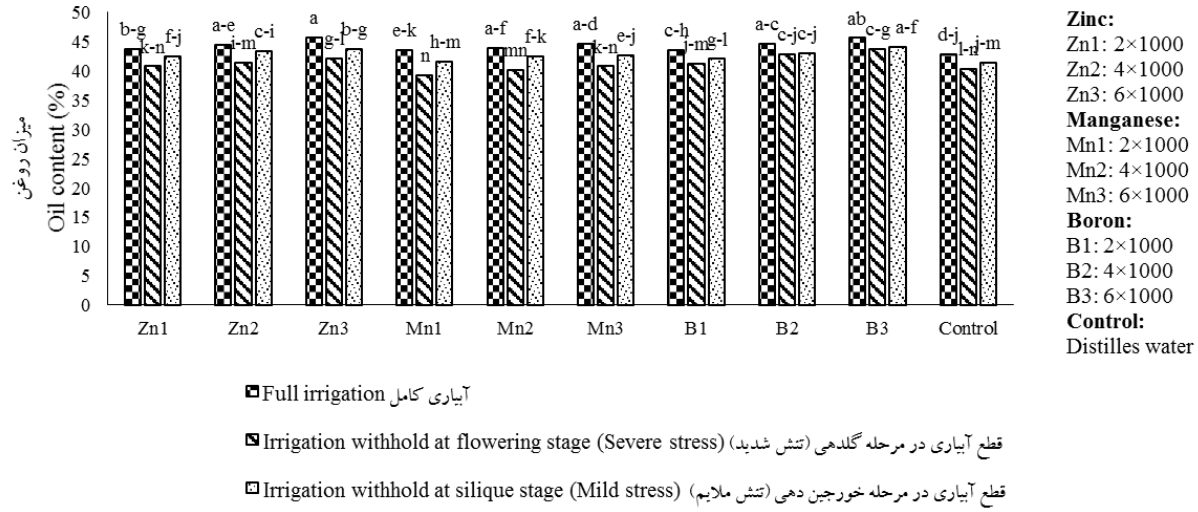
Fig. 6. Effect of irrigation treatments on thousand seeds weight in canola (2013-2015)



شکل ۷- اثر تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر وزن هزار دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 7. Effect of foliar application of micro nutrients treatments on thousand seeds weight in canola (2013-2015)

روغن در سال اول در تیمار آبیاری کامل بدست آمد. کمترین (۴۰/۹ درصد) میزان روغن نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و در سال دوم آزمایش بدست آمد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان روغن (۴۵/۶ درصد) در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی روی و بُر با غلظت شش درهزار بدست آمد. کمترین میزان روغن (۴۰/۳ درصد) نیز در شرایط تنش شدید و عدم مصرف عناصر ریزمغذی بدست آمد (شکل ۸). تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها، کاهش میزان فتوسنتز و کاهش تولید کربوهیدرات‌ها شده و با کاهش طول دوره رشد، فرصت کافی برای سنتز روغن وجود نداشته و در نتیجه میزان روغن دانه کاهش می‌یابد. آبیاری می‌تواند باعث افزایش میزان روغن دانه شود، اما تنش خشکی در مرحله گلدهی، باعث کاهش میزان روغن دانه می‌شود، بنابراین وقوع تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل کاهش میزان روغن در گیاه کلزا می‌باشد (Nielsen and Janick, 1996). یکی از دلایل اکسیده شدن سریع روغن کلزا، بالا بودن میزان اسیدهای چرب غیراشباع روغن دانه است و با وقوع تنش خشکی، این موضوع نیز تشدید می‌شود (Kosaki *et al.*, 2002). نتایج یک آزمایش نشان داد که اثر محلول پاشی منگنز در شرایط مختلف رطوبتی بر میزان روغن دانه گلرنگ بسیار اندک بود (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009)، اما در یک آزمایش دیگر، مصرف بُر باعث بهبود کیفیت روغن کلزا شد (Yang *et al.*, 2009).

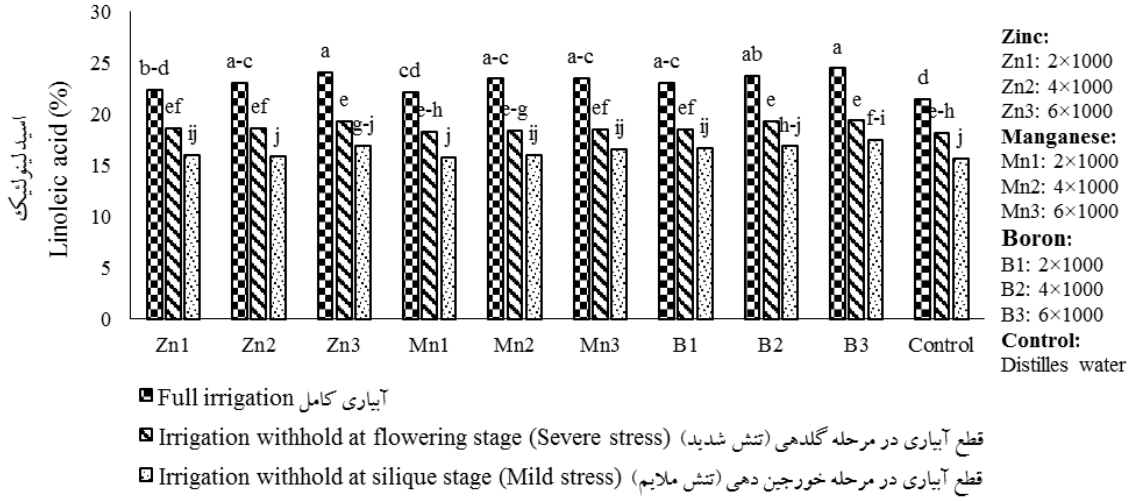


شکل ۸- برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر میزان روغن دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 8. Interaction effect of irrigation and foliar application of micro nutrient treatments on oil content of seed of canola (2013-2015

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، آبیاری، محلول پاشی، سال × آبیاری و آبیاری × محلول‌پاشی بر میزان اسید پالمیتیک روغن دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین (۳/۸۸ درصد) و کمترین (۲/۵۴ درصد) میزان اسید پالمیتیک به ترتیب در سال دوم و تیمار آبیاری کامل و در سال اول در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی بدست آمد. میزان اسید پالمیتیک در هر دو سال در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی از سایر تیمارهای آبیاری کمتر بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد که متفاوت بودن شرایط آب و هوایی در دو سال آزمایش (شکل ۲) باعث تفاوت در میزان

اسید پالمتیک شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان اسید پالمیتیک شد. بیشترین میزان اسید پالمیتیک (۴ درصد) در تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی بُر (با غلظت شش در هزار) بدست آمد و کمترین میزان اسید پالمیتیک (۲/۳۲ درصد) نیز در شرایط تنش شدید و عدم استفاده از عناصر ریزمغذی مشاهده شد. مصرف ریزمغذی‌ها هم در شرایط آبیاری کامل و هم در شرایط تنش خشکی باعث بهبود میزان اسید پالمیتیک روغن دانه شد (شکل ۹).

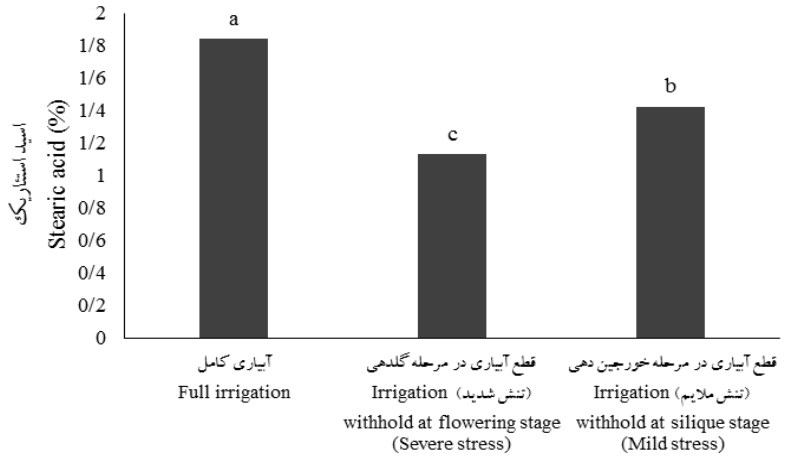


شکل ۹- برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر میزان اسید لینولئیک روغن دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 9. Interaction effect of irrigation and foliar application of micro nutrient treatments on palmitic acid content of seed of canola (2013-2015)

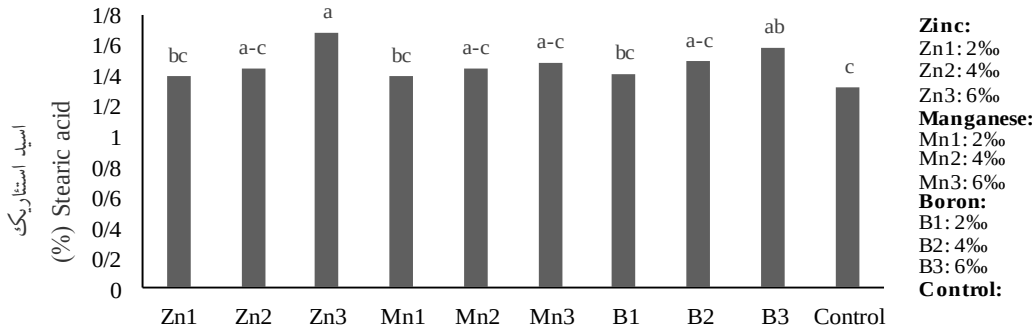
نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر آبیاری، محلول پاشی و برهمکنش سال × آبیاری بر میزان اسید استئاریک روغن دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین (۱/۸۴ درصد) و کمترین (۱/۱۳ درصد) میزان اسید استئاریک به ترتیب به در تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بدست آمد (شکل ۱۰). بیشترین (۱/۹۴ درصد) و کمترین (۱/۱۱ درصد) میزان اسید استئاریک در سال دوم به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بدست آمد (جدول ۲). نتایج نشان داد که تفاوت شرایط آب و هوایی در دو سال آزمایش (شکل ۱) فقط در تیمار آبیاری کامل اثر معنی‌داری داشت، به ترتیبی که میزان اسید استئاریک روغن در سال دوم بیشتر از سال اول بود. به‌نظر می‌رسد که بالاتر بودن دمای اردیبهشت در سال دوم (۲۸/۶ درجه سانتیگراد) نسبت به سال اول (۲۵/۰۵ درجه سانتیگراد)، باعث افزایش محتوای اسید استئاریک روغن در تیمار آبیاری شد، لیکن اثر آن با تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی و خورجین‌دهی معنی‌دار نبود، به عبارت دیگر تنش خشکی در مقایسه با دما اثر بیشتری بر میزان اسید استئاریک داشته است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول پاشی عناصر ریزمغذی نیز باعث افزایش میزان اسید استئاریک شد و حداکثر مقدار آن (۱/۶۸ درصد) در تیمار محلول پاشی روی (شش در هزار) مشاهده شد. افزایش غلظت منگنز و بُر نیز باعث افزایش میزان اسید استئاریک گردید (شکل ۱۱). تاثیر بیشتر غلظت‌های بالای بُر بر افزایش میزان

اسید پالمیتیک (شکل ۹) و اسید استئاریک (شکل ۱۱) می‌تواند به دلیل قابلیت بیشتر گیاه کلزا در جذب این عنصر در مقایسه با سایر ریز مغذی‌ها جهت افزایش این اسیدهای چرب غیر اشباع باشد.



شکل ۱۰- اثر تیمارهای آبیاری بر میزان اسید استئاریک روغن دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 10. Effect of irrigation treatments on stearic acid content of seed of canola (2013-2015)

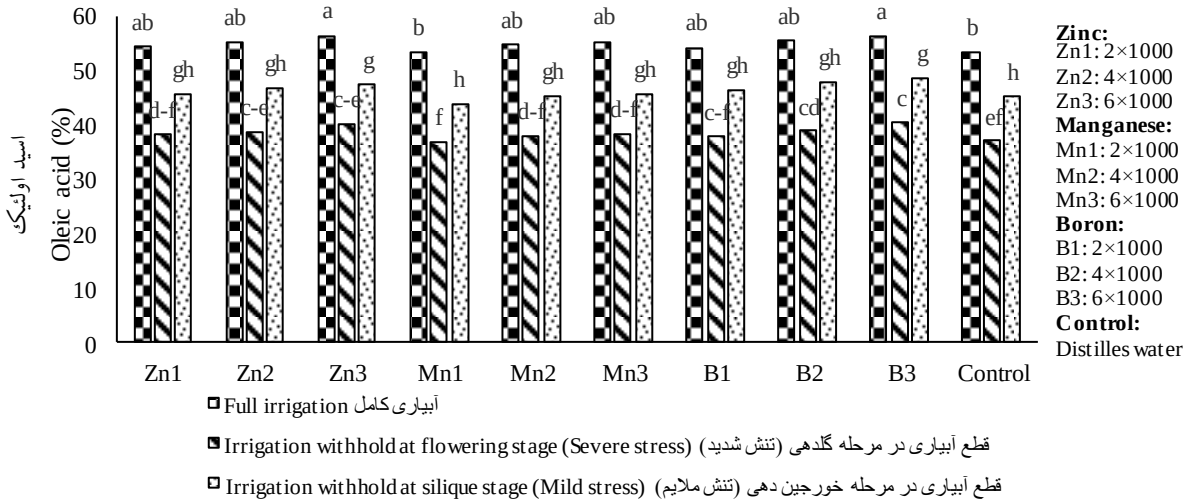


شکل ۱۱- اثر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر میزان اسید استئاریک روغن دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 11. Effect of foliar application of micro nutrient treatments on stearic acid content of seed of canola (2013-2015)

نتایج نشان داد که اثر سال، آبیاری، محلول‌پاشی و همچنین برهمکنش سال × آبیاری و آبیاری× محلول‌پاشی بر میزان اسید اولئیک روغن دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر (۵۱/۹۱ درصد) میزان اسید اولئیک در سال دوم در تیمار آبیاری کامل بدست آمد. حداقل (۳۸/۳۶ درصد) میزان اسید اولئیک نیز در سال دوم و تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی مشاهده شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری باعث کاهش میزان اسید اولئیک شد و کمترین میزان اسید اولئیک (۳۶/۹۳ درصد) در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم استفاده از عناصر ریزمغذی حاصل شد. بیشترین میزان اسید اولئیک (۵۶/۳۳ درصد) در تیمار آبیاری کامل و محلول‌پاشی روی و بُر با غلظت شش درهزار حاصل شد (شکل ۱۲). اسید اولئیک یکی از مهم‌ترین اسیدهای چرب غیر

اشباع کلزا است و بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان دلیل کاهش اسید اولئیک در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در مقایسه با قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی را به افزایش میزان اسید لینولئیک نسبت داد. با اعمال تنش خشکی طول دوره رشد و ظرفیت مخزن کاهش یافته و زمان لازم برای تولید اسیدهای چرب غیر اشباع کاهش می‌یابد (Moghadam *et al.*, 2011). در خصوص تغییرات میزان اسید اولئیک در شرایط تنش خشکی گزارشات متفاوتی وجود دارد. بر اساس نتایج یک آزمایش تنش خشکی اثری بر میزان اسید اولئیک ارقام کلزا نداشت (Zarei *et al.*, 2010)، اما در گیاه آفتابگردان تنش خشکی باعث کاهش میزان اسید اولئیک گردید (Baldini *et al.*, 2002). اثر محلول پاشی بُر و روی در افزایش میزان اسید اولئیک هم در شرایط آبیاری کامل و هم تنش خشکی بهتر از منگنز بود (شکل ۱۲). این نتایج با یافته‌های حبیبی و همکاران (Habibi *et al.*, 2014) مبنی بر اثر مثبت عناصر ریزمغذی بر میزان اسید اولئیک در شرایط رطوبتی مطلوب مطابقت دارد. با توجه به اینکه اسید اولئیک بیشترین میزان اسیدهای چرب روغن کلزا را تشکیل می‌دهد، می‌توان با مدیریت تغذیه‌ای مناسب، کیفیت روغن دانه کلزا را بهبود داد.

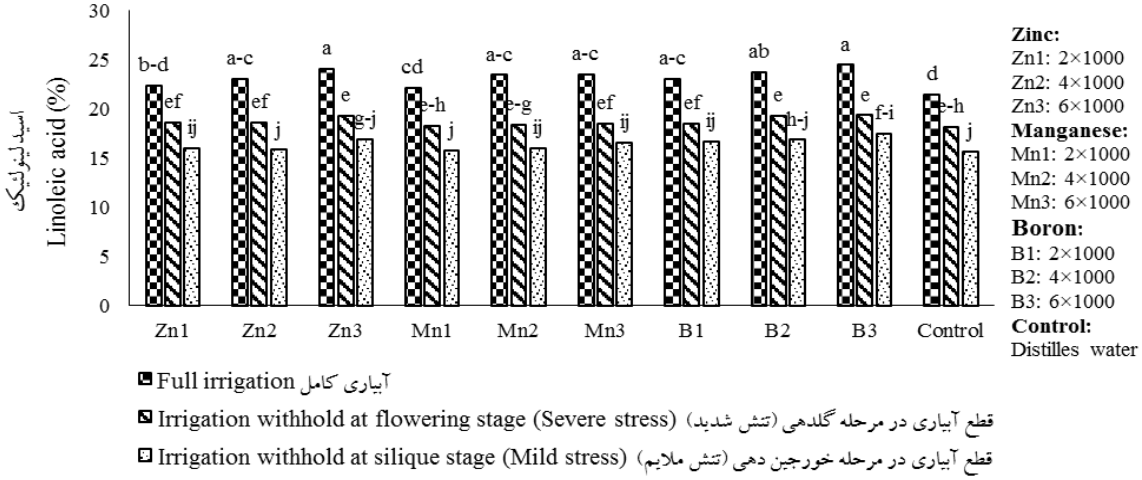


شکل ۱۲- برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر میزان اسید اولئیک روغن دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 12. Interaction effect of irrigation and foliar application of micro nutrient treatments on oleic acid content of seed of canola (2013-2015)

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، آبیاری، محلول پاشی، سال × آبیاری و آبیاری × محلول پاشی بر میزان اسید لینولئیک روغن دانه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین (۲۴/۴۹ درصد) میزان اسید لینولئیک در سال اول در تیمار آبیاری کامل بدست آمد. کمترین (۱۵/۲۷ درصد) میزان اسید لینولئیک نیز در سال اول مربوط به قطع آبیاری در مرحله گلدهی بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها حداکثر میزان اسید لینولئیک (۲۴/۴۸ درصد) مربوط به تیمار آبیاری کامل و محلول پاشی بُر (۶ درهزار) بود. حداقل میزان اسید لینولئیک (۱۵/۶۷ درصد) نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی و عدم مصرف عناصر ریزمغذی بدست آمد. در شرایط قطع آبیاری در مرحله

خورجین‌دهی غلظت‌های دو و چهار درهزار عناصر ریزمغذی روی و منگنز اثر معنی‌داری بر افزایش اسید لینولئیک نداشتند (شکل ۱۳). تیمارهای آبیاری باعث تغییر میزان اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع گردید. این روند به گونه‌ای بود که در شرایط تنش شدید (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) میزان اسیدهای چرب پالمیتیک، استئاریک و اولئیک کاهش، اما میزان اسید لینولئیک افزایش یافت. کاهش میزان اسید اولئیک و افزایش اسید لینولئیک در شرایط تنش شدید با یافته‌های سانتونوستو و همکاران (Santonoceto *et al.*, 2003) مطابقت داشت. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی هم در شرایط آبیاری کامل و هم تنش باعث افزایش میزان اسید لینولئیک گردید (شکل ۶). نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف سولفات روی به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش میزان اسید لینولئیک در روغن پنبه دانه شد (Zakaria *et al.*, 2006).



شکل ۱۳- برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر میزان اسید لینولئیک روغن دانه کلزا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴)

Fig. 13. Interaction effect of irrigation and foliar application of micro nutrient treatments on linoleic acid content of seed of canola (2013-2015)

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی باعث کاهش عملکرد دانه، روغن دانه و کاهش میزان اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک و استئاریک) و غیراشباع (اولئیک و لینولئیک) کلزا رقم هایولا ۴۰۱ شد. بخش عمده روغن دانه کلزا از اسیدهای چرب غیر اشباع تشکیل شده است و وقوع تنش خشکی در مراحل زایشی باعث کاهش کیفیت روغن می‌شود. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌تواند میزان روغن دانه و میزان اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک را بهبود دهد. قطع آبیاری در مراحل گلدهی (تنش شدید) و خورجین‌دهی (تنش ملایم) باعث کاهش عملکرد دانه (به ترتیب ۳۹ و ۱۳ درصد) در کلزا شد. بر اساس نتایج آزمایش، قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث وارد شدن تنش شدید به گیاه کلزا شده و اجتناب از آن ضروری است. دستیابی به عملکرد مناسب دانه کلزا با اجرای آبیاری کامل و محلول‌پاشی بُر و روی با غلظت چهار در هزار امکان‌پذیر است.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از مدیریت محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد دزفول که امکانات اجرای این تحقیق را فراهم نمودند، کمال تشکر را دارند.

منابع مورد استفاده References

Azadmard-Damirchi, S. and P. C. Dutta. 2008. Stability of minor lipid components with emphasis on phytosterols during chemical interesterification of a blend of refined olive oil and palm stearin. JAOCS. 85(1): 13-21.

Baldini, M., R. Giovanardi, S. Tahmasebi-Enferadi, and G. P. Vannozzi. 2002. Effects of water regime on fatty acid accumulation and final fatty acid composition in the oil of standard and high oleic sunflower hybrids. IJA. 6 (2): 119-126.

Bouchereau, A., N. Clossais-Besnard, A. Bensaoud, L. Leport and A. M.Renard. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. Eur. J. Agron. 5: 19-30.

Habibi, M., M. Majidian and M. Rabiei. 2014. Effect of boron, zinc and sulfur elements on grain yield and fatty acid composition of rapeseed. Agric. Crop Manage. 16 (1): 69-84.

Hajiboland, R. and F. Amirazad. 2010. Drought tolerance in Zn-deficient red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata f. rubra) plants. Hort. Sci. 37: 88–98.

Jabeen, N. and R. Ahmad. 2011. Effect of foliar-applied boron and manganese on growth and biochemical activities in sunflower under saline conditions. Pak. J. Bot. 43: 1271-1282.

Kalantar Ahmadi, S. A., A. H. Shiranirad and S. A. Sidat. 2013. Study of limited irrigation stress on grain yield of canola cultivars in north Khouzestan conditions. J. Oil Plant Prod. 1: 53-65.

Kimber, D. S. and D. L. Mc Gregor. 1995. Brassica Oil Seeds: Production and Utilization. CAB international.

Kosaki, A., E. Psomiadau, M. Tsimidou, A. Rlopia, A. Tienonen and P. Kefalas. 2002. Oxidative salinity and minor constituents of virgin olive oil and rapeseed oil. Eur. Food Res. Technol. 214: 294-298.

Krupa, Z., and T. Baszynski. 1995. Some aspects of heavy metals toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reactions. *Acta Physiologiae Plantarum*, *2*(17): 177-190.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants (2nd Ed.), Acedemic Press, London, UK.

Mei, Y., S. Lei., X. Fang-Sen, L. Wei and W. Yun-Hua. 2009. Effects of B, Mo, Zn, and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Pedosphere. 19 (1): 53–59.

Moghadam, H. R. T., H. Zahedi and F. Ghooshchi. 2011. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. Pesqui. Agropecu. Trop. 41(4): 579-586.

Movahhedy-Dehnavy, M., S. A. M., Modarres-Sanavy and A. Mokhtassi-Bidgoli. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Ind. Crop Prod. 30: 82–92.

Nadian, H., R. Najarzadegan, K. A. Saeid, M. H. Gharineh and A. Siadat. 2010. Effects of boron and sulfur

application on yield and yield components of *Brassica napus* L. in a calcareous soil. World Appl. Sci. J. 11: 89-95.

Ngouajio, M., G. Wang and R. Goldy. 2007. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. Agric. Water Manage. 87: 285–291.

Nielsen, D. C. and J. Janick, 1996. Potential of canola as a dryland crop in northeastern Colorado. Progress in new crops. ASHS Press, Alexandria, Virginia USA. Proceeding of the Third National Symposium Indianapolis. 22: 281-287.

Robertson, M. J. and J. F. Holland. 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. Aust. J. Agric. Res. 55 (5): 525-538.

Rood, S. B., D. J. Major and W. A. Charnetski. 1984. Seasonal changes in $^{14}CO_2$ assimilation and ^{14}C translocation in oilseed rape. Field Crop Res. 8: 341-348.

Santonoceto, C., U. Anastasi, E. Riggi and V. Abbate. 2003. Accumulation dynamics of dry matter, oil and major fatty acids in sunflower seeds in relation to genotype and water regime. Ital. J. Agron. 7(1): 3-14.

Sarkar, D., B. Mandal and M. C. Kundu. 2007. Increasing use efficiency of boron fertilizers by rescheduling the time and methods of application for crops in India. Plant Soil. 301: 77–85.

Sylvester-Bradley, R. and R. J. Makepeace. 1984. A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Asp. Appl. Biol. 6: 399-418.

Tandon, H. L. S. 2005. Micronutrients in soils, crops and fertilizers. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India. pp: 138.

Yang, M., L. Shi., F. S. Xu and Y. H. Wang. 2009. Effect of boron on dynamic change of seed yield and quality formation in developing seed of *Brassica napus*. J. Plant Nutr. 32: 785–797.

Zakaria, M. S., S. A. Hafez, A. E. Basyony and A. E. R. Alkassas. 2006. Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. Agric. Sci. 2 (1): 56-65.

Zarei, G., H. Shamsi and S. M. Dehghani. 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and seed oil content of three autumnal rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). J. Res. Agric. Sci. 6 (1): 29-37.

Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. *cv.* Hyola401) under drought stress conditions

Kalantar Ahmadi. S.A.[1] and A. A. Shoushi Dezfouli[2]

ABSTRACT

Kalantar Ahmadi. S.A. and A. A. Shoushi Dezfouli. 2019. Effects of foliar application of micronutrients on seed yield and oil quality of canola (*Brassica napus* L. cv. Hyola401) under drought stress conditions**. Iranian Journal of Crop Sciences. 21(3):237-253. (In Persian).**

To evaluate the effects of drought stress by withholding of irrigation during reproductive stages and foliar application of micronutrients (Zn, Mn and B) on seed yiled and oil quality, an experiment was carried out as split plot arrangements in randomized complete block design with three replications at Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Dezful, Iran, in two growing seasons (2013-2015). Main plots consisted of three irrigation levels: full irrigation (control), withholding of irrigation from flowering stage, and withholding of irrigation from silique stage, and sub plots included 10 levels of foliar application of micronutrients (2, 4, 6‰ zinc, 2, 4, 6‰ manganese, 2, 4, 6‰ boron, and the foliar application of distilled water as control). Foliar applications were made during both budding and initiation of flowering stages. Results showed that withholding of irrigation significantly decreased seed yield and yield components. Withholding of irrigation from flowering and silique stages reduced the silique no. plant^{-1} by 40% and 8%, respectively. Mean comparison of withholding of irrigation and foliar application showed that the highest seed yield (4301 kg.ha^{-1}) belonged to full irrigation and foliar application of boron (4‰) in both growing seasons. The lowest seed yield (1863 kg.ha^{-1}) obtained in withholding of irrigation from flowering stage and no micronutrient. Withholding of irrigation from flowering stage led to decrease oleic and linoleic acids content. The highest oil content (45.6%) measured in full irrigation and application of zinc (6‰) and boron (6‰). The lowest oil content (40.3%) observed in severe moisture stress conditions and no micronutrients. The results of this experiment showed that withholding of irrigation from flowering stage imposed severe stress on crop and should be avoided. The highest seed yield belonged to application of manganese and boron (4‰) and zinc (6‰) under withholding of irrigation from silique stage. To obtain reasonable seed yield, full irrigation and foliar application of zinc (4‰) and boron (4‰) is possible.

Key words: Canola, Boron, Drought, Manganese, Oleic acid and Zinc.

Received: December, 2018 Accepted: November, 2019

1. Assistant Prof., Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran (Corresponding author)
(Email: a.kalantarahmadi@areeo.ac.ir)
2. Assistant Prof., Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran