Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The effect of different forms and concentrations of zinc application on seed yield and oil quality of rapeseed under drought conditions

Mohammad Rasool Saffari[1], Mojtabi Jafarzadeh Kenarsari[2*], Amin Farnia[3], Shahryar Sasani[4]

[1] Ph.D. student, Department of Agronomy, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran, Email: mrsafari1396@gmail.com
[2] Assistant Professor, Department of Agronomy, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran, Email: jafarzadeh16@gmail.com
[3] Assistant Professor, Department of Agronomy, Borujerd Branch, Islamic Azad University, Borujerd, Iran, Email: aminfarnia@yahoo.com
[4] Associate Professor, Agricultural and Horticultural Sciences Research Department, Kermanshah Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research and Education Organization, Kermanshah, Iran, Email: shahryarsasani@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/08/11
Revised: 2023/02/07
Accepted: 2023/02/22

Keywords:
Biomass
Foliar application
Oil yield
Water deficit
Zinc sulfate

ABSTRACT

Background and objectives: Drought stress is the most important abiotic stress limiting growth and development of crops. Zinc is one of the required elements for chemical processes in the plants. Studies have shown that the application of zinc fertilizer reduces the negative effects of drought stress leads to an increase in yield and yield components of crops. Therefore, this study was conducted in order to evaluate the effect of application of different forms and concentrations of zinc fertilizer on the yield and oil quality of Neptune variety rapeseed oil under water stress conditions during the 2019 and 2020 in Biston region located in Kermanshah province.

Materials and methods: The experiment was carried out in a split-plot design based on a randomized complete block design with four replications. Water stress treatment as the main factor (no stress, cut of irrigation at early flowering and cut of irrigation at early podding), foliar treatment as a secondary factor at two levels (s zinc sulfate and zinc nanochelate) with three concentrations of zero, 3 and 5 per thousand.

Results: The results showed that the effect of drought stress and application of zinc sulfate on the characteristics of seed yield, biological yield, seed oil percentage, seed oil yield, erucic acid percentage and oleic acid percentage were significant. Also, according to the results of mean comparison, it was found that increasing the zinc sulfate concentration and nano zinc application increased the grain yield and biomass up to 2839 Kg ha^{-1} and 14634 Kg ha^{-1}, respectively. The effect of zinc nanochelate on the increase of these two traits was greater than that of zinc sulfate. Oil percentage and yield decreased in both levels of water stress. According to the results, it was found that increasing of Zn concentration especially the nano form increased oil percentage up to 43.6% and its yield up to 1423 Kg ha^{-1}. In addition, it was found that water stress reduced

the percentage of oleic acid in rapeseed oil, but nanozinc partially compensated for this decrease and increased the percentage of oleic acid to 65.75%.

Conclusion: According to these results, it was found that although the percentage of oleic acid decreased with the cut of irrigation during the flowering and podding stages, the results showed that the application of zinc nanochelate in the conditions of drought stress and the absence of drought stress had a more positive effect on increasing the percentage of oil oleic acid. Therefore, the application of nano zinc chelate can be suggested in the conditions of drought stress to increase the yield and quality of rapeseed oil in the region. As a result, in order to achieve the maximum seed yield and high oil quality in rapeseed, a concentration of 5 per thousand zinc nanochelates can be used in the absence of drought stress.

Cite this article: Safari, M.R., Jafarzadeh Kenarsari, M., Farnia, A., Sasani, Sh. 2023. The effect of different forms and concentrations of zinc application on seed yield and oil quality of rapeseed under drought conditions. *Crop Production Journal*, 16 (1), 115-134.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.20443.2523
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

بررسی اثر کاربرد انواع و غلظت‌های مختلف عنصر روی بر عملکرد و کیفیت روغن کلزا تحت شرایط تنش آبی

محمدرسول صفاری[۱]، مجتبی جعفرزاده کنارسری[۲*]، امین فرنیا[۳]، شهریار ساسانی[۴]

[۱]دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران، رایانامه:mrsafari1396@gmail.com
[۲]استادیار، گروه زراعت، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران، رایانامه: jafarzadeh16@gmail.com
[۳]استادیار، گروه زراعت، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران، رایانامه: aminfarnia@yahoo.com
[۴]دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، کرمانشاه، ایران
رایانامه:shahryarsasani@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۳

واژه‌های کلیدی:
زیست‌توده
سولفات روی
عملکرد روغن
کم‌آبی
محلول‌پاشی

چکیده

سابقه و هدف: تنش خشکی مهم‌ترین تنش غیرزنده است که رشد و نمو گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. مطالعات نشان داده است که عنصر روی برای تکمیل فرایندهای زیستی گیاه موثر بوده و کاربرد آن سبب کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی می‌شود و از این راه منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد. بنابراین، این مطالعه به‌منظور ارزیابی کاربرد انواع و غلظت‌های مختلف کود روی بر عملکرد و کیفیت روغن کلزا رقم نپتون در شرایط تنش آبی طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در منطقه مزرعه شخصی واقع در بیستون، استان کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمار تنش آبی به‌عنوان عامل اصلی (بدون تنش، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی و قطع آبیاری در مرحله شروع تشکیل خورجین)، تیمار محلول‌پاشی به‌عنوان فاکتور فرعی در دو سطح (محلول‌پاشی سولفات روی و محلول‌پاشی نانو کلات روی) و عامل فرعی فرعی محلول‌پاشی با سه غلظت صفر، ۳ و ۵ در هزار بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی و کاربرد سولفات روی بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، درصد اسید اروسیک و درصد اسید اولئیک معنی‌دار بود. براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های آزمایش مشخص شد که افزایش غلظت کاربرد سولفات روی و نانو روی سبب افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده به ترتیب تا ۲۸۳۹ کیلوگرم در هکتار و ۱۴۶۳۴ کیلوگرم در هکتار شد و اثر نانو کلات روی برافزایش این دو صفت بیش‌تر از سولفات روی بود. درصد و عملکرد روغن در هر دو سطح تنش آبی کاهش یافت. نتایج نمایان کرد افزایش غلظت روی و به‌خصوص نوع نانو سبب افزایش درصد روغن تا ۴۳/۶ درصد و عملکرد روغن تا ۱۴۲۳ کیلوگرم در هکتار شد؛ همچنین، مشخص شد که تنش آبی درصد اسید اولئیک روغن کلزا را کاهش داد، ولی

محلول‌پاشی نانو روی تا حدودی این کاهش را جبران کرد و درصد اسید اولئیک را تـا ٦٥/٧٥ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشخص شد که هرچند با قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و غلاف‌دهی درصد اسید اولئیک کاهش یافت؛ ولی کاربرد نانو کلـات روی در این شرایط و همچنین، عدم وجود تنش خشکی اثـر مثبـت بیش‌تـری برافـزایش درصـد اسـید اولئیک روغن داشت. از این‌رو، کاربرد نانو کلات روی را می‌توان در شرایط تنش خشکی برای افزایش عملکرد و کیفیت روغن کلزا در شرایط مشابه به این آزمایش پیشـنهاد کـرد؛ در نتیجـه برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه و کیفیت بالای روغن در کلزا می‌تـوان از غلظـت پـنج در هزار نانو کلات روی در شرایط عدم وجود تنش خشکی استفاده نمود.

استناد: صفاری، م.ر، جعفرزاده کنارسری، م.، فرنیا، ا.، ساسانی، ش. (١٤٠٢). بررسی اثر کاربرد انواع و غلظت‌های مختلف عنصر روی بر عملکرد و کیفیت روغن کلزا تحت شرایط تنش آبی. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ١٦ (١)، ١٣٤-١١٥.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.20443.2523

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در ایران می‌باشد که در سطح وسیعی از کشور کشت می‌شود. براساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۰ از نظر سطح زیر کشت در بین دانه‌های روغنی در رتبه اول قرار داشته و سطح زیر کشت کلزای آبی و دیم در کشور به ترتیب ۱۴۸۰۹۹ و ۳۶۳۳۲ هکتار با میزان تولید به ترتیب ۲۶۱۰۱۲ و ۳۴۱۱۱ تن بود که در بین استان‌های کشور استان خوزستان با ۳۶۳۹۶ هکتار بالاترین میزان سطح زیر کشت کلزای آبی و استان گلستان با ۲۲۸۱۱ هکتار بالاترین میزان سطح زیر کشت کلزای دیم را دارا بود. میزان عملکرد کلزا به پتانسیل ژنتیکی رقم، شرایط آب و هوایی، نوع خاک و مدیریت زراعی وابسته است و عوامل ژنتیکی و زراعی، تعیین‌کننده رشد و نمو گیاه و درنتیجه عملکرد دانه هستند (۱). با توجه به این مسئله تولید روغن از طریق کشت گیاه کلزا در سال‌های اخیر مورد توجه قرارگرفته است. کلزا به‌عنوان یکی از دانه‌های روغنی مقاوم به خشکی شناخته شده است (۲)، که با بیش از ۴۰ درصد روغن و ۳۶-۴۴ درصد پروتئین کنجاله از معدود دانه‌های روغنی است که قابلیت کشت در شرایط اقلیمی مختلف را داراست (۳). از مهم‌ترین اسیدهای چرب اشباع نشده در روغن کلزا، اسید اروسیک است که حدود ۲۶-۳۲ درصد از کل اسیدهای چرب را شامل می‌شود. درصورتی‌که میزان اسید چرب اروسیک در روغن بالا باشد، این نوع روغن‌ها غیرخوراکی تلقی شده و در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. پایین بودن میزان کلسترول در روغن کلزا، به دلیل پایین بودن درصد اسیدهای چرب اشباع‌شده در ترکیب آن، مزیت فوق‌العاده‌ای برای این روغن، نسبت به سایر روغن‌های گیاهی محسوب می‌شود (۴). تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش عملکرد کلزا در بین عوامل رشد گیاه است (۵ و ۶). در گیاه کلزا مراحل گلدهی و تشکیل خورجین‌ها، از حساس‌ترین مراحل به تنش خشکی هستند و در اغلب مناطق زراعی کشور در این مراحل کلزا با تنش خشکی مواجه می‌گردد (۷). تنش آبی اثر منفی بر روی بسیاری از فرایندهای گیاهی ازجمله فتوسنتز، تبخیر، تجمع و تخصیص پیش ماده دارد و موجب کاهش اساسی در تولیدات گیاهی می‌گردد (۸). کمبود آب در گیاهان با کاهش پتانسیل آب برگ، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز همراه است که درنهایت رشد و نمو گیاه را مختل می‌کند (۹). بایستی در نظر داشت که زمان بروز تنش آبی و شدت آن بر بسیاری از صفات زراعی کلزا همچون تعداد دانه در خورجین، وزن دانه‌ها، تعداد و طول خورجین‌ها موٌثر بوده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (۱۰). در کلزا کاهش مقدار آب در مرحله گلدهی موجب کاهش تعداد خورجین‌ها در بوته می‌گردد، ولی تنش پس از مرحله گلدهی، کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین را سبب می‌شود.

آبیاری در کلزا با طولانی‌تر کردن دوره گلدهی، تعداد خورجین‌های بوته و تعداد دانه در خورجین را افزایش می‌دهد (۱۱). گزارش شده در شرایط تنش کم‌آبی اعمال شده در مرحله ساقه‌دهی درمیان اجزای عملکرد دانه، سهم تأثیر پذیری تعداد دانه در خورجین بیش‌تر از دیگر اجزای عملکرد بود (۱۲). نتایج حاصل از یک مطالعه روی ارقام مختلف کلزا نشان داد که تنش آبی از طریق کاهش در اجزای مهم دخیل در عملکرد دانه مانند تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و هم‌چنین وزن هزار دانه منجر به کاهش میزان عملکرد نهایی دانه می‌گردد (۱۳).

مدیریت در تغذیه یکی از فاکتورهای اساسی در سیستم کشت هر گیاه است (۱۴). روی از عناصر ریز مغذی است که کمبود آن در بخش وسیعی از

خاک‌های زراعی به چشم می‌خورد و سبب کاهش تولید محصولات زراعی از جمله کلزا می‌شود. کمبود روی در خاک‌های ایران دلایلی دارد و از جمله به دلیل آهکی بودن و وجود کربنات‌های کلسیم و منیزیم، عنصر روی جذب سطحی این کربنات‌ها شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود، چون pH این خاک‌ها تا حدی قلیایی بوده تحرک و قابلیت جذب آن نیز بسیار پایین می‌باشد و از طرفی، وجود کربنات‌ها درآب‌های مناطق دیم مانع تحرک وجابجایی عنصر روی می‌شوند. با توجه به نقش این عنصر در تولید پروتئین و لوله گرده و به عنوان کاتالیزور در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی اکسیداسیون و احیا، در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی حضور فعال دارد و همچنین، اهمیت وجود روی در مناطق مریستمی، به علت کارایی آن در تولید هورمون اکسین در کلزا، باعث افزایش شاخه‌بندی، تعداد خورجین دربوته، عملکرد دانه و درصد روغن می‌گردد (۱۵ و ۱۶). عنصر روی در شرایط بروز تنش آبی در گیاهان نقش مهمی ایفا می‌کند و مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (۱۷). کاربرد روی در گیاه کلزا سبب بهبود اجزای عملکرد دانه و برخی از خصوصیات مورفولوژیکی گیاه می‌گردد؛ به‌عنوان مثال این عنصر سبب افزایش شاخه‌بندی، افزایش تعداد خورجین و همچنین، افزایش عملکرد دانه می‌شود و اگر قبل از مرحله گلدهی به صورت اسپری به کار برده شود، دانه‌بندی و درنتیجه تعداد دانه در بوته را افزایش می‌دهد (۱۸). محلول‌پاشی سولفات روی منجر به افزایش رشد و در نتیجه آن افزایش میزان زیست‌توده تولیدی در گیاهان در شرایط مزرعه‌ای شده است (۱۹). به‌دلیل عدم تحرک روی در خاک جذب کند عنصر روی توسط ریشه بهتر است این عناصر از طریق اندام‌های هوایی در اختیار گیاه قرار گیرند (۲۰). کاربرد عناصر ریزمغذی در حد و اندازه نانو منجربه تغییر خواص عناصر شده (۲۱) و با دسترسی سریع‌تر مواد غذایی برای گیاهان از این عناصر به‌نحو بهتری جهت افزایش عملکرد گیاه بهره برده می‌شود (۲۸). از این‌رو، هدف از اجرای این مطالعه، بررسی اثر تنش آبی و کاربرد انواع و مقادیر مختلف کود روی بر عملکرد و خصوصیات کمی و کیفی روغن کلزا است.

مواد و روش‌ها

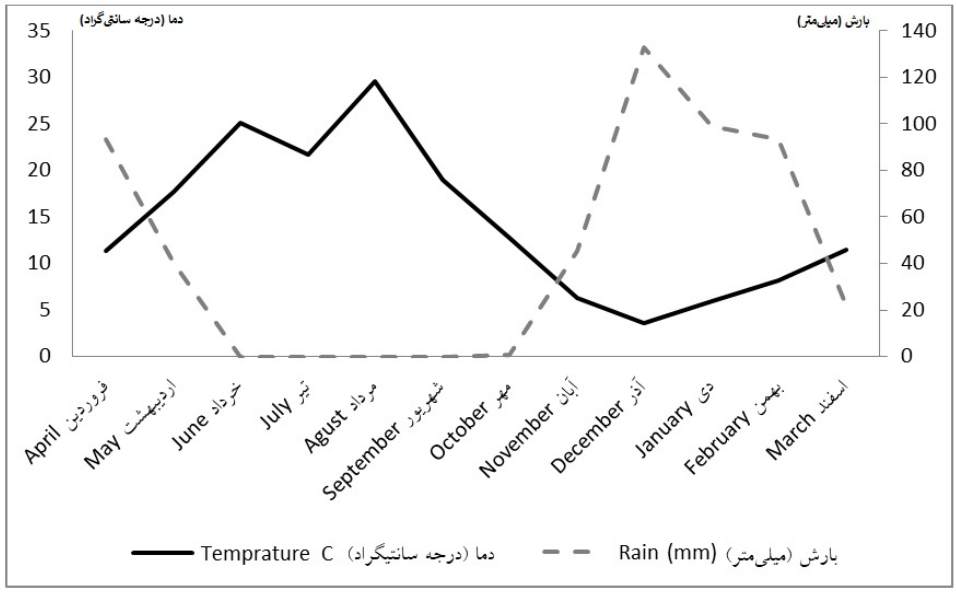
این مطالعه به‌منظور بررسی اثر نوع و غلظت محلول‌پاشی عنصر روی برعملکرد و اجزای عملکرد و همچنین، خصوصیات فیزیولوژیکی کلزا رقم نپتون تحت شرایط تنش آبی در دو سال زراعی ۹۷ و ۹۸ در مزرعه شخصی واقع در بیستون، استان کرمانشاه در منطقه بیستون اجرا شد. محل انجام آزمایش در میانه ضلع باختری ایران بین ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ٤٥ و ٢٤ دقیقه تا ٤٨ درجه و ۳۰ دقیقه طول خاوری از نصف‌النهار گرینویچ با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی این محل ٤٥٠ الی ٤٨٠ میلی‌متر در سال است. جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از اجرای آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری شد. جهت انجام آنالیز خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه مخلوطی تهیه شد و جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه خاک شهرستان کرمانشاه انتقال داده شد و نتایج تجزیه نمونه‌های خاک محل آزمایش در جدول یک نشان داده شده است. منحنی آمبریوتیک مربوط به منطقه آزمایش در سال ۹۹ به شرح شکل ۱ است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر.

Table 1- Physicochemical property for soil of experimental site in 0-30 cm depth.

Clay	سیلت Silt	شن Sand	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن کل Total nitrogen	روی Zinc	منگنز Manganese	کربن آلی Organic carbon	هدایت الکتریکی Elecrtical conductivity	بافت خاک Soil texture
درصد Percentage			پی‌پی‌ام ppm		درصد Percentage	پی‌پی‌ام ppm		درصد Percentage	دسی زیمنس بر متر $ds.\ m^{-1}$	
42	36	22	167	13	0.1	0.91	2.19	1.8	7.5	رسی Clay

آزمایش در قالب کرت‌های دوبار خردشده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل تنش آبی به عنوان عامل اصلی در سه سطح (بدون تنش، قطع آبیاری در مرحله شروع گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله شروع تشکیل خورجین)، تیمار نوع محلول‌پاشی به‌عنوان عامل فرعی در دو سطح (محلول‌پاشی سولفات روی و محلول‌پاشی نانوکلات روی) و غلظت محلول‌پاشی به‌عنوان عامل فرعی فرعی در سه سطح (صفر، ۳ و ۵ در هزار) در مرحله شروع تشکیل خورجین بودند. در این آزمایش کود فسفر از منبع کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و نیتروژن از منبع اوره به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار هنگام کاشت به زمین داده شد. یک‌سوم از کود اوره طی مرحله کاشت و دوسوم باقی‌مانده در مرحله شروع ساقه‌رفتن و مرحله شروع غنچه‌دهی به زمین داده شد. رقم کلزای مورداستفاده نپتون بود که یکی از ارقام فرانسوی است که ارتفاع متوسط داشته و مقاوم به ریزش دانه بوده، مقاوم به سرما و خوابیدگی است. در این مطالعه هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول پنج‌متر بود و فاصله خطوط کشت ۳۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت پنج سانتی‌متر و تراکم ٦٧ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد.



شکل ۱ - منحنی آمبریوتیک منطقه انجام آزمایش.

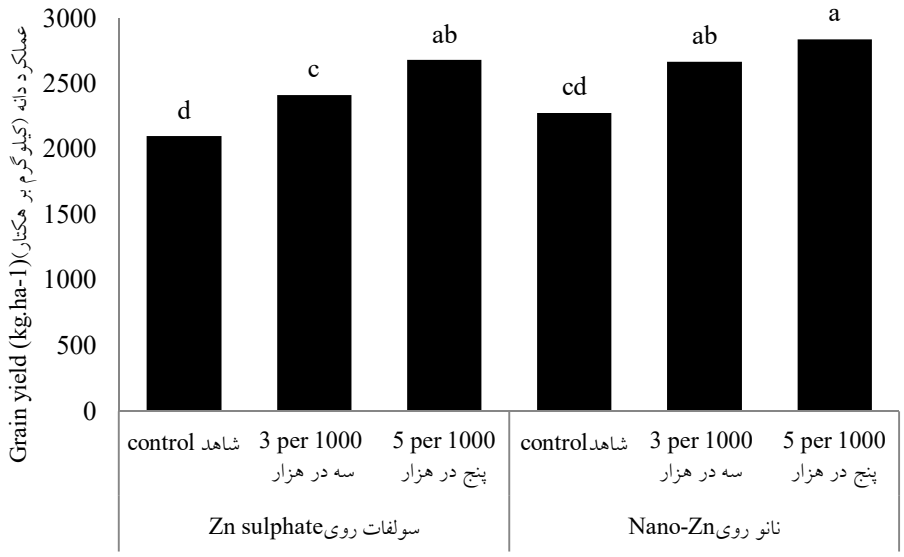
Figure 1- Amberiotic curve for experiment site.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و زیست‌توده زمانی که بوته‌ها در مرحله رسیدگی کامل بودند از یک متر مربع از هر کرت پس از حذف حاشیه، استفاده شد و پس از خشک‌کردن بوته‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد اندازه‌گیری شد. میزان روغن با استفاده از روش سوکسله با حلال اثر اندازه‌گیری شد (۲۲). عملکرد روغن نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه به‌دست آمد. اسیدهای چرب بر اساس روش AOAC استخراج شدند (۲۳). شناسایی ترکیب اسیدهای چرب بذر کلزا برای هر تیمار با دستگاه کروماتوگرافی گازی یونیکام مدل ٤٦٠٠ ساخت کشور انگلستان مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌های FID و ستون موئینه (BPX, SGE, Melbourn, Australia) از جنس سیلیکای ذوب‌شده از نوع فاز پیوندی (طول ستون ۳۰ متر، قطر داخلی ستون ۰/۲۲ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرون انجام شد. از گاز هلیوم ۹۹/۹۹ درصد به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. پس از تبدیل اسیدهای چرب به مشتق متیل استر، نمونه‌ها در شرایطی که گاز هلیوم با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه، دمای ستون ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، دمای محل تزریق ۲٤۰ درجه سانتی‌گراد، دمای آشکارساز ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار تزریق نمونه ۲۰ میکرو لیتر بود، به‌دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) تزریق شدند. برای شناسایی اسیدهای چرب، زمان بازداری هر یک از نمونه‌ها بازمان بازداری استانداردهای مربوطه، تحت شرایط آزمایشی یکسان مقایسه شده و درصد هر یک از اسیدهای چرب تعیین شد (۲٤). برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS v.9.1 استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از روش LSD و رسم شکل نیز با استفاده از نرم‌افزار اکسل صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش آبی، نوع و غلظت کود روی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دوگانه نوع کود روی در غلظت کود روی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش غلظت سولفات روی و نانو کلات روی سبب افزایش میزان عملکرد دانه شد و نانو کلات روی عملکرد دانه را نسبت به کود سولفات روی به میزان بیش‌تری افزایش داد. با توجه به نتایج این مطالعه مشخص شد که بیش‌ترین میزان عملکرد تولیدی دانه کلزا در تیمار نانو کلات روی با غلظت ۵ در هزار به‌میزان ۲۸۳۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. هر چند که کاربرد سولفات روی سبب شد عملکرد دانه کم‌تری نسبت به کاربرد نانو کلات روی حاصل گردد، ولی نتایج نشان داد کم‌ترین عملکرد دانه در تیمار عدم کاربرد آن‌ها حاصل گردید (شکل ۲). در این مطالعه افزایش مقادیر کاربرد سولفات روی و نانوکلات روی سبب افزایش عملکرد دانه شد، ولی بایستی در نظر داشت که با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانوکلات روی و سولفات روی میزان افزایش عملکرد دانه به ازای این افزایش غلظت کاربرد هر دو فرم کود روی از قانون بازده نزولی پیروی کرد. به‌طوری‌که با افزایش غلظت پاشش هر دو نوع کود نانو و سولفات روی افزایش عملکرد دانه در غلظت ۵ در هزار نسبت به غلظت ۳ در هزار کم‌تر بوده و سبب شد که تفاضل عملکرد دانه از تیمار شاهد به میزان کم‌تری افزایش یابد. تعدادی از محققین نیز در این زمینه نتایج مشابهی را گزارش کردند (۲۰ و ۲۵). نتایج پژوهش‌ها روی کلزا نشان داد، تنش کمبود آب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه تأثیر منفی روی عملکرد دانه دارد (۲۲). کاهش عملکرد نهایی دانه در اثر تنش خشکی به دلیل کاهش

اجزای عملکرد دانه می‌باشد (۹). همچنین، بایستی در نظر داشت که کاهش اجزای عملکرد دانه در اثر تنش خشکی نتیجه کاهش میزان تجمع مواد در گیاه بوده که در نهایت با کاهش میزان انتقال مواد به دانه همراه بوده و عملکرد دانه را نیز نقصان می‌دهد (۱۲). بسته شدن روزنه‌ها به منظر کاهش میزان هدرروی آب در شرایط تنش خشکی به کاهش میزان دی‌اکسید کربن ورودی انجامیده که نتیجه آن نقصان تجمع ماده خشک و در نتیجه کاهش میزان عملکرد نهایی دانه می‌باشد (۱۱). نتایج برخی دیگر از مطالعات نشان داد که تنش آبی منجر به کاهش تعداد و وزن دانه‌ها شده که درنهایت منجر به کاهش عملکرد نهایی می‌گردد (۲۶). عنصر روی در شرایط تنش آبی با افزایش مقدار تولید اسمولیت‌هایی مانند پرولین و قندهای محلول منجر به افزایش کارایی گیاه در شرایط تنش شده و درنتیجه آن میزان عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (۲۷). آن‌ها همچنین عنوان داشتند که علاوه بر اینکه کاربرد روی با افزایش برخی از اجزای عملکرد دانه از قبیل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه منجر به افزایش عملکرد نهایی دانه می‌گردد. همچنین، با افزایش جذب برخی دیگر از عناصر از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم دارای اثر مثبت برافزایش عملکرد نهایی دانه می‌باشد. اگرچه افزایش غلظت هر دو نوع فرم نانو و سولفات روی سبب افزایش عملکرد دانه کلزا شده است، ولی این نتایج مشخص نمود که در غلظت‌های مشخص، کاربرد نانوکلات روی عملکرد دانه را نسبت به کاربرد سولفات روی افزایش داده و مشخص شد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در تیمار کاربرد ۵ در هزار نانوکلات روی حاصل شد. اثر مثبت کاربرد نانو ذرات روی بر عملکرد کلزا در سایر مطالعات مشاهده‌شده (۲۸)، که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت.



شکل ۲- برهم‌کنش دوگانه نوع کود روی×غلظت کاربرد کود روی بر عملکرد دانه کلزا.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 2- Interaction effect of Zn form×Zn concentration on grain yield of rapseed.
Columns with at least one same letters had no significant difference based on LSD test.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات تحت شرایط کاربرد انواع و غلظت‌های روی در شرایط تنش آبی.

Table 2- Analysis of variance of traits under application of forms and concentrations of Zn in drought stress condition.

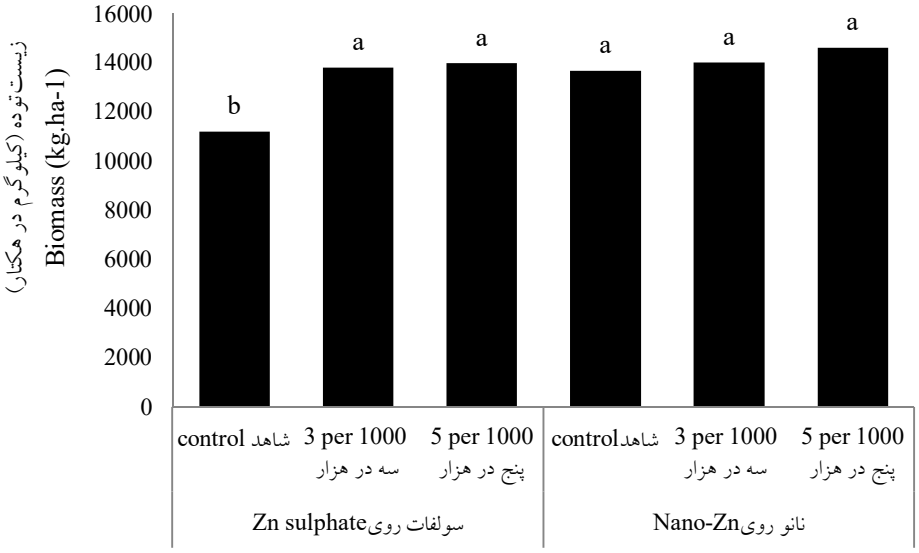
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	زیست‌توده Biomass	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	اسیداروتیک Erosic acid	اسید اولئیک Oleic acid
سال Year	1	16129	299205	0.000001	2857	0.000008	0.21
تکرار Replication	3	187499	3027514	0.65	34087	0.00059	6.75
سال × تکرار Year×replication	3	127901	2269935	0.208	30060	0.00087	1.35
تنش خشکی Drought stress	2	29899659**	377389730**	886**	8140528**	0.139**	184.5**
سال×تنش خشکی Year×droughr stress	2	282	99097	1.44	1220	0.0003	0.05
خطای Errora a	6	294665	6860209	26.32	17468	0.0021	1.88
نوع کود روی Zn form	1	2476951**	44011371**	8.02*	485122**	0.0035**	4.87**
سال×نوع کود روی Year×Zn form	1	711	12827	0.69	413	0.0000001	0.015
تنش خشکی×نوع کود روی Drought stress×Zn form	2	206068	2350310	4.63*	48645	0.0013**	2.74**
سال×تنش خشکی×نوع کود روی Year×Drought stress×Zn form	2	61	56970	0.26	296	0.00001	0.06
خطای Errorb b	9	96405	4145421	2.86	23259	0.00018	0.52
غلظت کود روی Zn concentration	2	1947892**	35843305**	125.7**	602595**	0.012**	75.34**
سال×غلظت کود روی Year×Zn concentration	2	185	13131	0.02	58	0.000002	0.07
تنش خشکی×غلظت کود روی Drought stress×Zn concentration	4	292899	7758507	4.21*	65085*	0.00033	4.16**
سال×تنش خشکی×غلظت کود روی Year×Drought stress×Zn concentration	4	151	3008	0.057	58	0.0000079	0.012
نوع کود روی×غلظت کود روی Zn form×Zn concentration	2	865250**	27618197**	2.63	149259**	0.000057	2.4**
سال×نوع کود روی×غلظت کود روی Year×Zn form×Zn concentration	2	362	14197	0.0069	62	0.0000012	0.067
تنش خشکی×نوع کود روی×غلظت کود روی Drought stress×Zn form×Zn concentration	4	221233	7352531	0.88	37150	0.00054	1.39*
سال×تنش خشکی×نوع کود روی×غلظت کود روی Year×Drought stress×Zn form×Zn concentration	4	169	5091	0.027	38.9	0.0000069	0.026
خطای کل Total Error	87	135296	3524339	1.21	23683	0.00025	0.43
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	14.5	13.8	2.92	15.7	5.55	10.6

**و* به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح یک درصد و پنج درصد می‌باشند.

** and* shows significant at 1 and 5 %, respectively.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش آبی، نوع و غلظت کود روی و همچنین، برهم‌کنش دوگانه نوع کود روی در غلظت آن بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش دوگانه نوع کود روی در غلظت پاشش نشان داد افزایش غلظت روی سبب شد که میزان زیست‌توده گیاهی کلزا افزایش یابد و این افزایش در تیمار کاربرد نانو کلات روی بیش‌تر از تیمار کاربرد سولفات روی بود و بیش‌ترین میزان زیست‌توده گیاهی در تیمار ۵ در هزار نانو کلات روی به میزان ۱۴۶۳۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۳). نتایج تحقیقات مربوط به مصرف عنصر روی در مراحل مختلف رشد گیاه سویا نشان داده است که محلول‌پاشی روی آن را در اسرع وقت در اختیار گیاه

قرار داده و باعث بهبود عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی آن می‌شود (۲۹). هر چند که تنش خشکی منجر به کاهش میزان زیست‌توده گیاهی گردید، ولی کاربرد روی منجر به جبران بخشی از این کاهش گردیده و میزان آن را افزایش داد. تحقیقات دیگری نشان دادند که میزان زیست‌توده گیاهی کلزا در اثر محلول‌پاشی عنصر روی افزایش نشان داده است (۱۹)، که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت. علیت افزایش زیست‌توده گیاهی در اثر محلول‌پاشی عنصر روی افزایش تجمع مواد در گیاه به دلیل افزایش فعالیت‌های متابولیکی گیاه بوده، زیرا عنصر روی در بیش‌تر آنزیم‌های گیاهی نقش موثری داشته و منجر به افزایش میزان فعالیت متابولیکی این آنزیم‌ها می‌گردد (۲۰). همچنین، عنوان شده است که محلول‌پاشی عنصر روی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کمی و کیفی کلزا شده و دلیل این امر را اثر عنصر روی برافزایش میزان تولید در اسیدهای نوکلیئک عنوان نمودند (۳۰).

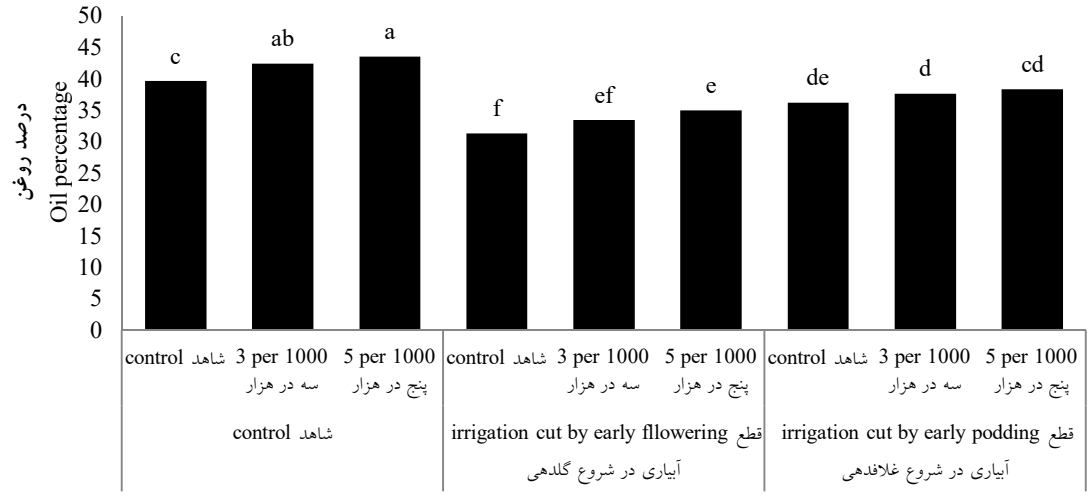


شکل ۳- برهم‌کنش دوگانه نوع کود روی*غلظت کاربرد کود روی بر زیست‌توده کلزا. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 3- Interaction effect of Zn form*Zn concentration on biomass of rapseed. Columns with at least one same letters had no significant difference based on LSD test

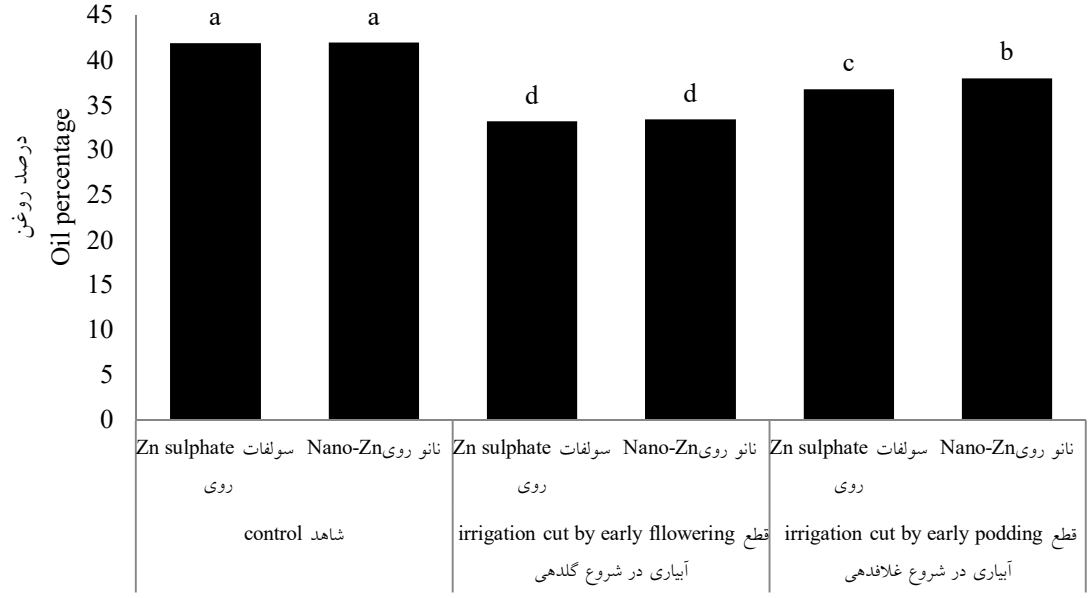
نتایج نشان داد برهم‌کنش تنش آبی*نوع کود روی و برهم‌کنش دوگانه تنش آبی*غلظت کود روی بر درصد روغن معنی‌دار شد (جدول ۲). درصد روغن تحت‌تأثیر تیمارهای تنش آبی و غلظت کاربرد روی قرار گرفت. نتایج نشان داد در هر سه تیمار تنش آبی، افزایش غلظت کاربرد کود روی به‌صورت سولفات روی و نانوکلات روی منجر به افزایش درصد روغن شد. بر طبق این نتایج تنش آبی منجر به کاهش درصد روغن کلزا شد و در این شرایط افزایش غلظت کاربرد سولفات روی و نانوکلات روی منجر به جبران این کاهش شد و درصد روغن تولیدی کلزا را افزایش داد. بر طبق این نتایج بیش‌ترین درصد روغن دانه کلزا در تیمار شاهد و به همراه کاربرد ۵ در هزار از کودهای روی به مقدار ۳٤/٦ درصد حاصل شد و در این سطح از تیمار تنش آبی با تیمار ۳ در هزار (٤۲/۵ درصد) دارای اختلاف معنی‌دار نبود، ولی با تیمار عدم کاربرد

سولفات روی و نانوکلات روی (۳۹/۷ درصد) دارای اختلاف معنی‌دار بود. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد در صورت وجود تنش آبی و به‌خصوص قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی کم‌ترین مقدار روغن به میزان ۳۱/٤ درصد در دانه کلزا حاصل شد و هرچند که با تیمار کاربرد کود روی در غلظت ۳ در هزار در همین سطح از تنش آبی دارای اختلاف معنی‌دار نبود، ولی با سایر تیمارهای کاربرد سولفات روی و نانوکلات روی و همچنین با تیمار عدم کاربرد هر یک از این دو کود در سطوح مختلف تنش آبی دارای اختلاف معنی‌دار بود (شکل ٤). با توجه به اینکه تنش آبی منجر به کاهش درصد روغن شد، نتایج این مطالعه نشان داد در همه سطوح مختلف تنش آبی کاربرد نانوکلات روی درصد روغن را نسبت به کاربرد سولفات روی افزایش داد. در بین این تیمارها بیش‌ترین درصد روغن (٤۲ درصد) مربوط به تیمار کاربرد نانوکلات روی در سطح تیمار عدم وجود تنش آبی بود و کم‌ترین درصد روغن به مقدار ۳۳/۲ درصد مربوط به تیمار کاربرد سولفات روی در سطح تیمار تنشی قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی بود (شکل ۵). برخی دیگر از محققین نیز نتایج مشابهی مبنی برافزایش میزان روغن و پروتئین دانه کلزا در اثر استفاده از سولفات روی را گزارش دادند که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت (۳۱). همچنین، محققان افزایش درصد و عملکرد نهایی روغن کلزا در اثر کاربرد سولفات روی در کلزا را گزارش نمودند (۳۲). در مطالعه برخی دیگر از محققین نیز مشخص شد که محلول‌پاشی عنصر روی منجر به افزایش درصد روغن گل‌رنگ شده است (۲٦). عنصر روی به دلیل نقش حفاظتی خود از اکسیداسیون اسیدهای چرب جلوگیری نموده و در نتیجه آن با کاربرد این عنصر درصد روغن دانه کلزا نیز افزایش یافت (۳۲). از طرفی دیگر، بایستی در نظر داشت که کمبود عناصر ریزمغذی نظیر روی باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده که منجر به بروز خسارت شدید به غشای لیپیدی شده ولی با محلول‌پاشی عنصر روی در کلزا این مشکل تا حدودی بر طرف شده و همین امر در افزایش میزان روغن دانه اثر قابل توجهی دارد (۳۱). ازجمله دلایلی که برای تغییرات اندک درصد روغن در شرایط اعمال تیمارهای آبیاری آورده شده است، این است که مقدار روغن دانه یک صفت ژنتیکی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و بنابراین احتمال آسیب دیدن تمامی ژن‌های کنترل‌کننده این صفت بسیار کم است (۳۳). نکته دیگر این‌که درصد روغن عبارت است از نسبت روغن موجود دردانه به‌کل وزن دانه، که شامل پوست و فیبر می‌شود. چون در شرایط اعمال تنش کل وزن دانه کاهش می‌یابد این نکته باعث می‌شود که باوجود کاهش میزان روغن دانه، درصد روغن تغییر چندانی نداشته باشد (۳٤). با وجود اینکه اسید چرب لینولئیک در ارتقای کیفیت روغن کلزا در مقایسه با اسید چرب اولئیک سهم کمتری دارد، با استفاده از کودهای کم‌مصرف روی در کلزا می‌توان از طریق بهبود میزان اسید چرب لینولئیک روغن کلزا، کیفیت محصول را افزایش داد (۳۵)، که در این مطالعه کاربرد نانوکلات روی در غلظت ۵ در هزار می‌تواند نسبت سایر تیمارهای موردمطالعه اثر مثبت بیش‌تری برافزایش ویژگی‌های کیفی روغن دانه کلزا داشته باشد.



شکل ٤- برهم‌کنش دوگانه تنش آبی*غلظت کاربرد کود روی بر درصد روغن دانه کلزا. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 4- Interaction effect of drought stress*Zn concentration on grain oil percentage of rapseed
Columns with at least one same letters had no significant difference based on LSD test

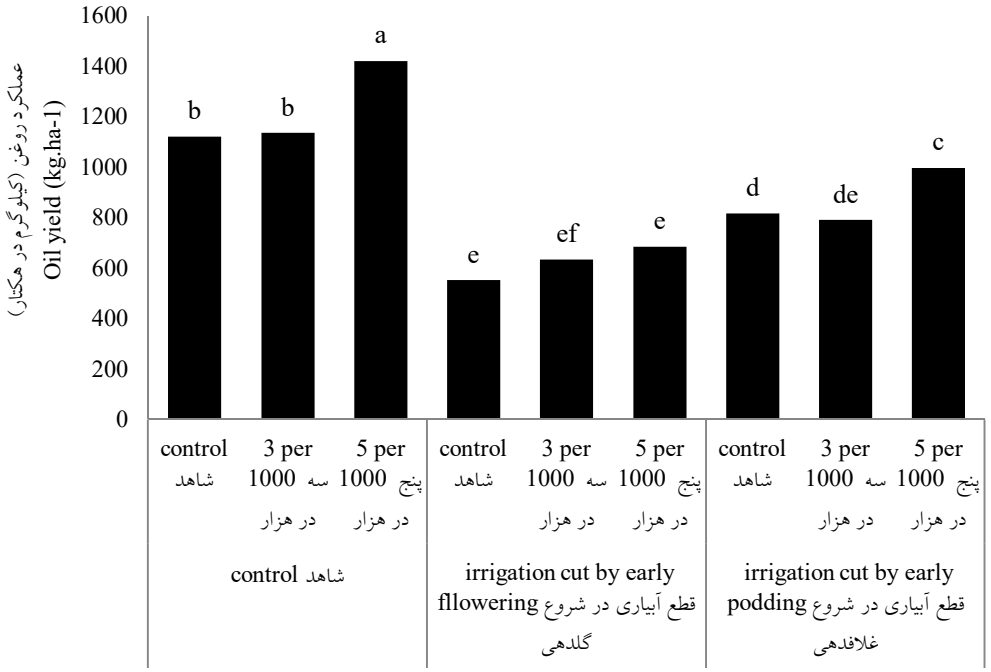


شکل ٥- برهم‌کنش دوگانه تنش آبی*نوع کود روی بر درصد روغن کلزا ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند. فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 5- Interaction effect of Drought stress*Zn form on grain oil percentage of rapseed
Columns with at least one same letters had no significant difference based on LSD test.

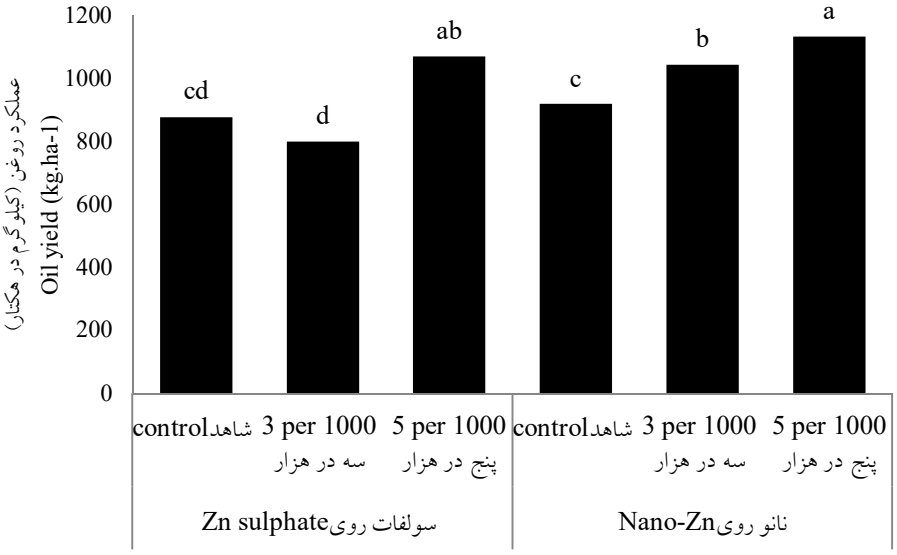
بر طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثرات ساده تنش آبی، نوع و غلظت کود روی و همچنین، برهم‌کنش دوگانه تنش آبی در غلظت کود روی و نوع کود روی در غلظت کود روی بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). عملکرد روغن از صفاتی است که تحت تأثیر مستقیم عملکرد دانه و درصد روغن قرار می‌گیرد. نتایج همچنین نشان داد که وقوع تنش آبی سبب کاهش عملکرد روغن شد، ولی افزایش غلظت کاربرد دو کود سولفات روی و نانوکلات روی سبب افزایش عملکرد روغن کلزا

شد. تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی به همراه عدم کاربرد هر یک از کودهای روی سبب شد که کم‌ترین میزان عملکرد روغن به مقدار ۵۵۳ کیلوگرم در هکتار حاصل گردد، درحالی‌که کاربرد مقدار ۵ در هزار از کودهای روی در سطح تیمار عدم وجود تنش آبی منجر به تولید بیش‌ترین میزان عملکرد روغن به مقدار ۱۲۲۳ کیلوگرم در هکتار شد که نسبت به تیمار کم‌ترین میزان عملکرد روغن حدود ۵۶ درصد افزایش عملکرد روغن را دارا بود (شکل ٦). در این مطالعه مشخص شد که عملکرد روغن تحت تأثیر مقدار و غلظت کودهای روی به‌کاررفته قرار گرفت. بر طبق این نتایج مشخص شد که افزایش غلظت کاربرد هر دو نوع کود روی سبب افزایش عملکرد روغن شد و در بین دو نوع کود به‌کاررفته کارایی نانوکلات روی در افزایش عملکرد روغن بیش‌تر از کارایی سولفات روی بود. کم‌ترین میزان عملکرد روغن در تیمار کاربرد سولفات روی ۳ در هزار (۷۹۹ کیلوگرم در هکتار) بود که البته با تیمار عدم کاربرد سولفات روی اختلاف معنی‌دار نداشت، ولی با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. همچنین، نتایج نشان داد تیمار نانوکلات روی ۵ در هزار دارای بیش‌ترین میزان عملکرد روغن به مقدار ۱۱۳۳ کیلوگرم در هکتار بود و با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود (شکل ۷). در این مطالعه افزایش مقادیر بالاتر از کود سولفات روی و نانوکلات روی منجر به افزایش بیش‌تر درصد روغن و عملکرد روغن شد به‌طوری‌که عملکرد روغن در تیمار کاربرد نانوکلات روی ۵ در هزار نسبت به تیمار شاهد حدود ۱۹ درصد بیش‌تر بود. همچنین، هرچند که تنش آبی منجر به کاهش درصد روغن و عملکرد روغن در واحد سطح شد،اما نتایج نشان داد در سطوح مختلف خشکی با توجه به اینکه افزایش غلظت نانوکلات روی و سولفات روی منجر به افزایش عملکرد روغن شد، در این زمینه برخی دیگر از محققین عنوان داشتند که محلول‌پاشی سولفات روی ضمن افزایش درصد روغن دانه منجر به افزایش عملکرد روغن کلزا در واحد سطح شده است که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت (۳٦). به عقیده این محققین نقش روی در افزایش درصد روغن دانه کلزا مربوط به نقش این عنصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز اسیدهای چرب می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر که روی کنجد انجام شد مشخص گردید که محلول‌پاشی عنصر روی منجر به افزایش درصد روغن دانه نسبت به تیمار شاهد می‌گردد (۲۷). در مطالعه‌ای که روی کلزا مشخص شد که محلول‌پاشی سولفات روی منجر به افزایش درصد روغن شده که به دنبال آن عملکرد روغن نیز افزایش‌یافته است (۵). همچنین، افزایش درصد و عملکرد روغن دانه در اثر کاربرد سولفات روی گزارش گردید (۳۷)، که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت. افزایش درصد روغن دانه کلزا با افزایش غلظت کاربرد روی به‌صورت تابع هیپربولیک بوده که از قانون بازده نزولی پیروی کرده و علت آن را این‌طور عنوان کردند که با افزایش غلظت کاربرد روی گیاه در مراحل پایانی رشد خود با توجه به افزایش نقش عنصر روی در متابولیسم گیاه کلزا سبب افزایش میزان درصد روغن و عملکرد روغن شده است (۵). در این مطالعه هرچند افزایش درصد روغن سبب افزایش عملکرد روغن شده است ولی بایستی در نظر داشت که افزایش عملکرد روغن با افزایش درصد روغن تا یک حد معین قابل انجام می‌باشد. در برخی از مطالعات مشخص‌شده که محلول‌پاشی عنصر روی منجر به افزایش عملکرد دانه و درصد روغن شده که درنتیجه آن عملکرد روغن افزایش‌یافته است (۳۰) و افزایش فعالیت‌های آنزیمی در تولید روغن از دلایل این موضوع می‌باشد (۳۸).



شکل ٦- برهم‌کنش دوگانه تنش آبی*غلظت کاربرد کود روی بر عملکرد روغن دانه کلزا ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 6- Interaction effect of Zn form*Zn concentration on grain oil yield of rapseed Columns with at least one same letters had no significant difference based on LSD test .

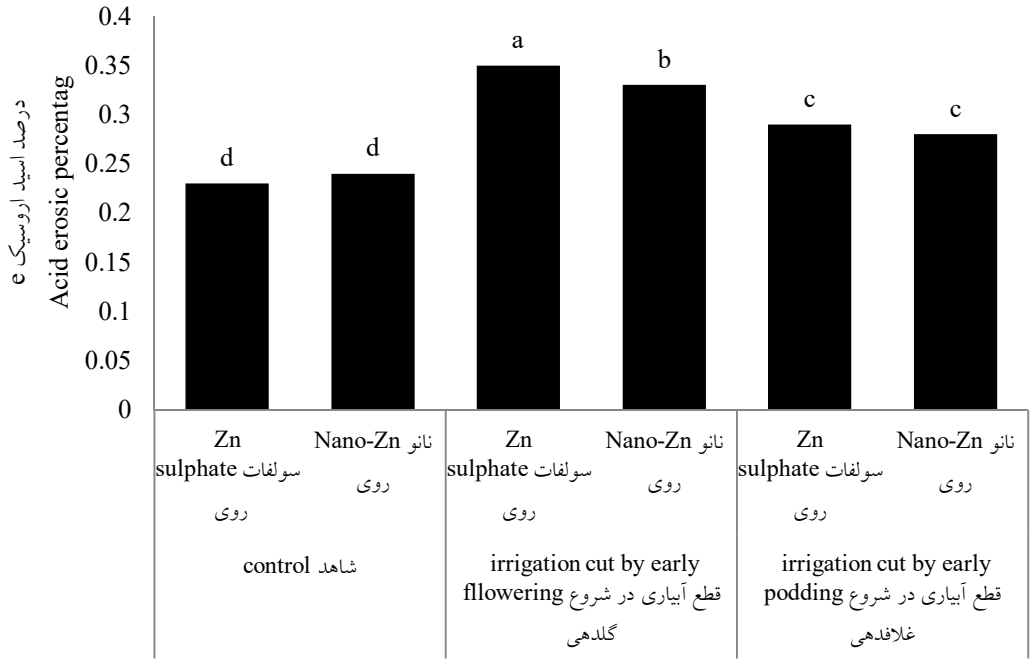


شکل ۷- برهم‌کنش دوگانه نوع کود روی*غلظت کاربرد کود روی بر عملکرد روغن کلزا ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 7- Interaction effect of Zn form*Zn concentration on grain oil yield of rapseed Columns with at least one same letters had no significant difference based on LSD test.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تنش آبی، نوع و غلظت کود روی و همچنین برهم‌کنش تنش آبی*نوع کود روی بر میزان اسید اروسیک معنی‌دار شد (جدول ۲). اسید اروسیک تحت تأثیر برهم‌کنش تنش آبی و کود روی قرار گرفت و نتایج نشان داد تنش آبی سبب افزایش مقدار

اسید اروسیک شد. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش دوگانه تنش آبی*نوع کود روی نیز نشان داد با توجه به اینکه وقوع تنش آبی منجر به افزایش اسید اروسیک کلزا شد، بالاترین میزان اسید اروسیک در بین همه تیمارها مربوط به تیمار قطع آبیاری در زمان شروع گلدهی و کاربرد سولفات روی (۰/۳۵ درصد) بود که در همین سطح از تنش آبی با تیمار کاربرد نانوکلات روی (۰/۳۳ درصد) دارای تفاوت معنی‌دار بود. با توجه به اینکه در سطح تیمار قطع آبیاری در زمان شروع غلاف دهی و تیمار شاهد بین دو تیمار کاربرد سولفات روی و نانوکلات روی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، کم‌ترین میزان اسید اروسیک به مقدار ۰/۲۳ درصد در تیمار شاهد و با کاربرد سولفات روی به‌دست آمد (شکل ۸). در این مطالعه هرچند که در تیمار عدم وجود تنش آبی نانوکلات روی منجر به افزایش میزان اسید اروسیک روغن نسبت به کاربرد سولفات روی شد ولی نتایج نشان داد در دو سطح تیمار تنشی یعنی قطع آبیاری در اوایل گلدهی و غلاف دهی، کاربرد نانوکلات روی منجر به کاهش میزان اسید اروسیک روغن دانه کلزا نسبت به تیمار کاربرد سولفات روی شد که در نوع خود نتیجه بسیار خوبی در جهت کاهش میزان اسید اروسیک روغن کلزا در شرایط تنش آبی می‌باشد. گزارش‌شده است که محلول‌پاشی سولفات روی تأثیر مثبتی بر بهبود عملکرد کمی و کیفی دانه روغنی دارد (۱۷). با کاربرد روی، متابولیسم اسیدهای چرب بهبودیافته و بخصوص اسیدهای چرب اشباع پالمتیک، استئاریک و اسید چرب غیراشباع لینولئیک دردانه کلزا افزایش یافتند (۳۹). این محققان اظهار داشتند که افزایش روغن دانه در اثر مصرف روی بیش‌تر به دلیل افزایش میزان اسیدهای چرب اشباع بوده است که می‌تواند به دلیل جلوگیری از اکسیداسیون چربی‌های مزبور در اثر حضور روی دردانه باشد.



شکل ۸- برهم‌کنش دوگانه تنش آبی*نوع کود روی بر درصد اسید اروسیک کلزا ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 8- Interaction effect of Drought stress*Zn form on acid erosic percentage of rapseed Columns with at least one same letters had no significant difference based on LSD test.

جدول ۳- برهم‌کنش سه‌گانه تنش آبی*نوع کود روی*غلظت کاربرد کود روی بر درصد اسید اولئیک روغن دانه کلزا.

Table 3- Three way interaction of drought stress*Zn fertilizer*Zn concentration on oleic acid in rapseed oil.

تنش آبی Drought stress	نوع کود روی Zn form	غلظت پاشش Spray concentration	درصد اسید اولئیک Oleic acid percrntage
شاهد control	سولفات روی Zn sulphate	شاهد Control	62.37c
		۳ در هزار 3 in 1000	64.43b
		۵ در هزار 5 in 1000	64.93b
	نانو کلات روی Zn nanochelate	شاهد Control	61.62de
		۳ در هزار 3 in 1000	64.5b
		۵ در هزار 5 in 1000	65.75a
قطع آبیاری در شروع گلدهی Cut of irrigation in early flowering	سولفات روی Zn sulphate	شاهد Control	59i
		۳ در هزار 3 in 1000	60.5g
		۵ در هزار 5 in 1000	61efg
	نانو کلات روی Zn nanochelate	شاهد Control	58.87i
		۳ در هزار 3 in 1000	60.12h
		۵ در هزار 5 in 1000	61.93cd
قطع آبیاری در شروع غلاف‌دهی Cut of irrigation in early podding	سولفات روی Zn sulphate	شاهد Control	59.75h
		۳ در هزار 3 in 1000	60.56fg
		۵ در هزار 5 in 1000	60.37ef
	نانو کلات روی Zn nanochelate	شاهد Control	60.37h
		۳ در هزار 3 in 1000	62cd
		۵ در هزار 5 in 1000	61.87d

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Means with at least one same letters had no significant difference based on LSD test.

بر طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که اثرات ساده تنش آبی، نوع و غلظت کود روی و همچنین، برهم‌کنش دوگانه تنش آبی*نوع کود روی، تنش آبی×غلظت کود روی، نوع کود روی*غلظت کود روی و برهم‌کنش سه‌گانه تنش آبی*نوع کود روی*غلظت کود روی نیز بر میزان اسید اولئیک معنی‌دار بود (جدول ۲). بر طبق نتایج این مطالعه مشخص شد که تنش آبی نه‌تنها درصد روغن را کاهش داد بلکه درصد اسید اولئیک روغن را نیز کاهش داد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه داده‌ها در مورد درصد اسید اولئیک نشان داد بالاترین مقدار اسید اولئیک در تیمار عدم وجود تنش آبی و کاربرد نانوکلات روی ۵ در هزار به میزان ٦٥/٧٥ درصد به‌دست آمد که با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. بر طبق این نتایج مشخص شد که در سطوح مختلف تنش آبی افزایش غلظت نانوکلات روی و سولفات روی سبب افزایش درصد اسید اولئیک شد که این افزایش در تیمار نانوکلات روی بیش‌تر از تیمار کاربرد سولفات روی بود. در سطوح مختلف کاربرد سولفات روی بیش‌ترین درصد اسید اولئیک در تیمار کاربرد ۵ در هزار از این ماده به‌دست آمد در حالی که در تیمار سولفات روی و در سطح تیمار قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی بالاترین درصد اسید اولئیک در تیمار ۳ در هزار نانوکلات روی حاصل شد و از این نظر با تیمار ۵ در هزار نانوکلات روی دارای اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). کاربرد عناصر ریزمغذی مانند روی سبب افزایش درصد اسید اولئیک در محتوای روغن دانه کلزا شده

که یکی از تیمارهای اصلی در بهبود کیفیت روغن دانه کلزا می‌باشد (۲۹) که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت، زیرا، اسید اولئیک بیش‌ترین میزان اسیدهای چرب روغن کلزا را تشکیل می‌دهد و نقش بارزی در افزایش کیفیت روغن کلزا دارد (۴۰). تأثیرپذیری درصد اسیدهای چرب مختلف در روغن کلزا از کاربرد مقادیر مختلف نانوکلات روی و سولفات روی به‌احتمال‌زیاد به دلیل حساسیت گیاه کلزا به کمبود روی می‌باشد (۲۸)، به‌طوری‌که محققان در مطالعه خود اظهار داشتند که با توجه به حساسیتی که گیاه کلزا به کمبود روی دارد کاربرد برگی روی منجر شده که گیاه کلزا ازنظر میزان روغن و درصد اسیدهای چرب مختلف به این کود واکنش نشان داده (۴۱) و کاربرد آن علاوه برافزایش برخی از اسیدهای چرب اشباع مانند اسید اولئیک و لینولئیک منجر به کاهش اسید چرب غیراشباع اسید اروسیک شده است (۱۹) که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

وقوع تنش خشکی از دلایل اصلی کاهش میزان عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی است و علاوه برآن بر خصوصیات دیگر گیاه از جمله کیفیت روغن دانه اثر دارد. در این مطالعه مشخص شد عملکرد دانه کلزا تحت تأثیر کاربرد سولفات روی و نانو کلات روی قرار گرفت و نتایج نشان داد نانو کلات روی دارای اثر بهتری بر عملکرد دانه بود. عملکرد روغن نیز با کاربرد نانو کلات روی بهتر از کاربرد سولفات روی بود. هرچند با قطع آبیاری در مراحل گلدهی و غلاف‌دهی درصد اسید اولئیک کاهش یافت، ولی نتایج نشان داد کاربرد نانوکلات روی در شرایط تنش خشکی و عدم وجود تنش خشکی اثر مثبت بیش‌تری برافزایش درصد اسید اولئیک روغن داشت. از این‌رو، کاربرد نانو کلات روی را می‌توان در شرایط تنش خشکی برای افزایش عملکرد و کیفیت روغن کلزا در شرایط مشابه با این آزمایش را پیشنهاد نمود. در کل در نتیجه این مطالعه مشخص شد که جهت رسیدن به بالاترین میزان عملکرد دانه و همچنین عملکرد روغن و درصد اسیدهای چرب مفید روغن می‌توان از نانوکلات روی در غلظت ۵ در هزار به دلیل تغییر در خواص ذرات و افزایش این صفات بهره برد.

References

1. Ezzati, N., Maleki, A. and Fathi, A. 2019. The effect of water stress and foliar application of gibberellic acid and salicylic acid on quantitative and qualitative yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Plant Env. Physiol. 14: 56. 94-109. (In Persian)
2. Afshani, S., Amirnia, R. and Hashem, H. 2015. Investigation of the effect of foliar application of iron and zinc on yield and yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) in low irrigation conditions. Iran. J. Crop Res. 13: 1. 43-52. (In Persian)
3. Raymer, P.L. 2002. Canola: an emerging oilseed crop. In 'Trends in new crops and new uses'. Pp. 122-126.
4. Moradbeigi, L., Gholami, A., Shirani Rad, A.H., Abbasdokht, H. and Asghari, H.R. 2019. The effect of water stress and delayed cultivation on grain yield, oil and fatty acid composition of rapeseed cultivars. J. Agric. Knowl. Sustain. Prod. 29: 2. 135-151. (In Persian)
5. Hooshmandfar, A.R., Moraghebi, F., Eradatmand Asli, D., Afdideh, F., Heydari, H. and Moraghebi, F. 2010. Investigation of the effect of different amounts of zinc foliar application on oil yield in rapeseed cultivars. Plant. Ecosyst. 6: 24. 57-65. (In Persian)
6. Amiri, A., Ghanbari, A., Tavassoli, A., Rastegaripour, F. and Roshani, Sh. 2012. Quantitative and qualitative traits of rapeseed cultivars under water stress conditions and identification of the best cultivar based on resistance indices. Sci. J. Crop Physiol. 4: 15. 17-28. (In Persian)
7. Mir, Y., Daneshvar, M. and Ismaili, A. 2022. Effect of foliar application of salicylic acid and micronutrients on photosynthetic activities and canola seed yield under dehydration stress. Sci. J.

Crop Physiol. 13: 50. 119-134. (In Persian)
8. Bakhshi, B. 2021. Heat and Drought Stress Response and Related Management Strategies in Oilseed Rape. Agrotech. Ind. Crops. 1: 4. 170-181.
9. Elferjani, A. and Soolanayakanahally, R. 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: Shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. Front. Plant Sci. 9: 1224-1232.
10. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N.S.M.A., Fujita, D.B.S.M.A. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Sustain. Agric. 25: 153-188.
11. Jafarzadeh Ghahdrijani, M., Majidi, M.M., Mirlohi, A.F. and Ebrahimiyan, M. 2015. Response to direct and indirect selection of grain yield, oil and yield components in canola varieties under normal and soil moisture stress. J. Plant Prod. 37: 3. 129-141.
12. Khani, R., Sadeghi Bakhtvari, A.R., Pasban Eslam, B. and Sarabi, V. 2018. Effects of drought stress on canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield and yield components. Ir. J. Field Crops Res. 15: 4. 914-924 (In Persian)
13. Majidi, M. M., Jafarzadeh Ghahdrijani, M., Rashidi, F. and Mirlohi, A. 2014. Identifcation of canola cultivars with drought tolerance indices. Ir. J. Field Crops Res. 45: 4. 565-573 (In Persian).
14. Pasban Islam, b. 2015. Yield Stability and Yield Components of Brassica napus L rapeseed and oil under the influence of drought at the beginning and end of the season. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 25: 4. 177-187. (In Persian)
15. Amin, A., Nasim, W., Mubeen, M., Nadeem, M., Ali, L. and Hammad, H. M. 2017. Optimizing the phosphorus use in cotton by using CSM-CROPGRO-cotton model for semi-arid climate of Vehari-Punjab, Pakistan. Env. Sci. Pollut. Res. 24: 6. 5811-5823.
16. Raza M.A.S., Shahid A.M., Saleem M.F., Khan I.H., Ahmad S., Ali M. and Iqbal R. 2017. Effects and management strategies to mitigate drought stress in oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. Zemdirbyste-Agric. 104: 1. 85-94.
17. Qasemian, M., Maleki, A., Fathi, A. and Mirzaei Heidari., M. 2019. Influence of quantitative and qualitative yield of soybean cultivars from the date of cultivation and foliar application of zinc sulfate. Sci. J. Plant Ecophysiol. 11: 37. 271-284. (In Persian)
18. Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. J. Soil Sci. Plant Nutr. 13: 4. 905-927.
19. Danaee, E. and Abdossi, V. 2019. Evaluation of the effect of foliar application of iron, potassium and zinc nanochelates on enzymatic activity and Nutritional value of some leafy vegetables. Food Sci. Nutr. 16: 45-54.
20. Danaee, E. and Abdossi, V. 2021. Effect of foliar application of iron, potassium and zinc nano-chelates on nutritional value and essential oil of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Food. Health. 4: 4. 13-20.
21. Siavashi, K., Soleimani, R. and Malakouti, M. J. 2004. Effect of zinc sulfate application times and methods on grain yield and protein content of chickpea in rainfed conditions. Iran. Iran. J. Soil Water Res. 18: 1. 42-49.
22. Ma, Q., Niknam, S. R. and Turner, D. W. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of Brassica napus and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. Aust. J. Agric. Res. 57: 2. 221-226.
23. Imam, Y. and Pirasteh Anousheh, H. 2014. Field and laboratory methods in crop sciences (guide to crop, physiological and biochemical measurements in crops). Publications University of Mashhad. 118p. (In Persian)
24. AOAC. 1990. Method 988.05. Helrich K. (Ed.). Official methods of analysis (15th Ed.). The Association of Official Analytical Chemists Inc.
25. Nejad Habib Vash, F., Pirush, A. and Khamushi, S. 2021. Investigation and comparison of oil content and fatty acid profiles of different populations of Rosa canina L in different habitats of West Azerbaijan, northwest of Iran. J. Ecophytochem. Med. Plants. 30: 8. 45-59. (In Persian)

26. Morrison, M.J. and Stewart, D.W. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. Crop Sci. 42: 3. 797-803.
27. Misagh, M., Movahedi Dehnavi, M., Yadavi, A. and Khadem Hamza, H.R. 2016. .Improvement of yield, percentage of sesame oil and protein under water stress conditions by foliar application of zinc and boron. J. Crop Prod. 9: 1. 163-180. (In Persian)
28. Akhavan Hezaveh, T., Pourakbar, L., Rahmani, F. and Alipour, H. 2019. Interactive effects of salinity and ZnO nanoparticles on physiological and molecular parameters of rapeseed (Brassica napus L.). comm. soil sci. plant anal. 50: 6. 698-715.
29. Jamsoun, M., Galeshi, S., Pahlavani, M.H. and Zeinali, E. 2009. Evaluation of zinc foliar application on yield components, grain yield and grain quality of tow soybean cultivar in summer cultivation. Int. J. Plant Produc. 16: 1. 17-28.
30. Payendeh, Kh., Mujaddam, M. and Drooger N. 2018. Application of micronutrients on quantitative and qualitative yield of rapeseed under water stress. Sci. J. Crop Physiol. 10: 38. 23-37. (In Persian)
31. Mir, Y., Daneshvar, M. and Esmaeili, A. 2020. Investigation of the Possibility of Reducing Quantitative and Qualitative Damage of Rapeseed Neptune Cultivar in Water Deficit Conditions by Applying Foliar Application of Salicylic Acid and Micronutrients. Crop Physiol. 12: 3. 65-81.
32. Shahmardan, M., Rahimi Petroudi, E., Daneshmand, A. and Mobasser, H. 2022. Effects of Silica and Zinc on the Quantity and Quality of Grain and Rapeseed Oil in Different Planting Dates. Iran. J. Field Crops Res. 20: 2. 229-243. (In Persian)
33. Fani, E., Hassibi, P., Meskarbashee, M., Khanlou, K.M. and Seyedahmadi, S.A. 2019. Effect of drought stress and silica spraying on some physiological and functional traits of canola cultivars. Bulg. J. Agric. Sci. 25: 1. 62-66.
34. Payandeh, K., Mojdam, M. and Derogar, N. 2018. Application of micronutrient elements on quantitative and qualitative yield of rapeseed under drought tension conditions. Crop Physiol. 10(38): 23-37. (In Persian)
35. Mostafavi Rad, M., Jadidi, A. and Babaei, T. 2014. The effect of trace elements on yield, quality and oil traits of winter rapeseed cultivars. J. Agric. 16: 3. 627-639. (In Persian)
36. Galavi, M., Heidari, M. and Zamani, M. 2007. Effects of zinc sulphate spray on quality, yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus*). Faculty of and magnesium and soil-applied boron. J. Plant Nutr. 18: 1. 179-200.
37. Rahmani, D., Pazouki, A., Shirani Rad, A.H., Valadabadi, A. and Daneshian, J. 2007. Effect of different levels of zinc foliar application and road nitrogen sources on oil content and yield of autumn rapeseed oil. Plant. Ecosyst. 10: 22-35. (In Persian)
38. Khiavi, M., Khorshidi Named, M.B., Ismaili Aftabdari, M., Azarabadi, S., Faramarzi, A. and Emarat Pardaz, J. 2010. The effect of foliar application of zinc and boron sulfate on yield and some grain quality traits of two rapeseed cultivars. J. Soil. Water. Knowled. 20: 3. 31-45. (In Persian)
39. Shahsavari, N., Jais, H.M. and Shirani Rad, A.H. 2014. Responses of canola oil quality characteristics and fatty acid composition to zeolite and zinc fertilization under drought stress. Int. J. Agric. Sci. 4: 49-59.
40. Taiwo, A.J., Akande, L.B., Sobulo, M.O. and Idowu, O. J. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. J. Plant Nutr. 27: 7. 1163-1181.
41. Moradi Talavat, M.R., Roshan, F. and Siadat, S.A. 2015. The effect of foliar application of zinc sulfate on mineral content, grain and oil yield of two safflower cultivars. Ir. J. Crop Sci. 17: 2. 153-164. (In Persian)