

## Evaluation the nutrient content of different rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under the effect of Azotobacter and irrigation

Masoud Gholami<sup>1</sup>, Ahmad Kuchakzadeh<sup>2</sup>, Seyed Atholha Siadat<sup>\*3</sup>,  
Mohammad Reza Moradi talavat<sup>2</sup>, Masoud Rafiei<sup>4</sup>

1,2,3. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 4. Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.

(Received: October 26, 2020 - Accepted: December 27, 2020)

### ABSTRACT

In order to evaluate the yield and nutrient accumulation in different cultivars of rapeseed under the effect of azotobacter in irrigation conditions, a factorial split experiment based on randomized complete blocks design with four replications was conducted in Khorramabad agricultural research station in 2016-2017. Experimental factors included the withholding irrigation from 30% flowering and 30% pod forming, and normal irrigation (control) as the main plot and inoculation of Neptune, Oktane and Okapi rapeseed cultivar seeds with azotobacter strains (63, 70) and non inoculation (control) as subplots. The results showed that the irrigation regimes had a significant effect on grain yield and the accumulation of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and manganese in shoot and seeds. The effect of azotobacter was significant on all nutrients (except magnesium) uptake in green tissue and seeds. The interaction effects of irrigation regime, bacteria and cultivar were significant on phosphorus, potassium, magnesium, manganese, and zinc levels in shoot and grain. Maximum grain yield was obtained from optimal irrigation treatment with 4559 kg.ha<sup>-1</sup>. It was found that Oktane and Neptune cultivars with 4584 and 4290 kg grain.ha<sup>-1</sup> were superior compared to okapi cultivar. With regards to the positive effect of potassium concentration and inoculation of rapeseed seeds with azotobacter due to its solubilizing properties, increasing the application of potassium in soil and seed inoculation can moderate the negative effects of stress and improve grain yield in rapeseed.

**Keywords:** Azotobacter, elements, tissue, stress, yield.

### سنجش محتوای عناصر غذایی ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تأثیر ازتوباکتر و آبیاری

مسعود غلامی<sup>۱</sup>، احمد کوچک‌زاده<sup>۲</sup>، سیدعطاءاله سیادت<sup>\*۳</sup>، محمدرضا مرادی‌تلاوت<sup>۲</sup>، مسعود رفیعی<sup>۴</sup>

۱ و ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته دکتری، دانشیار و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی خوزستان، ۴- عضو هیأت علمی بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۷)

### چکیده

به منظور ارزیابی عملکرد دانه و تجمع عناصر غذایی در ارقام مختلف کلزا تحت تأثیر ازتوباکتر در شرایط قطع آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خرم‌آباد، به صورت کرت خرد شده فاکتوریل و در قالب بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی و آبیاری مطلوب (شاهد) به عنوان کرت اصلی و تلقیح بذره‌های کلزای ارقام نپتون، اکتان و اکاپی با ازتوباکتر (سویه‌های ۶۳ و ۷۰) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر رژیم آبیاری بر عملکرد دانه و میزان تجمع نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و منگنز اندام هوایی و دانه کلزا معنی‌دار بود. اثر ازتوباکتر بر میزان جذب تمامی عناصر غذایی (به جز منیزیم) در بافت سبز و دانه کلزا معنی‌دار شد و اثرات متقابل رژیم آبیاری، باکتری و رقم بر میزان فسفر، پتاسیم، منیزیم، منگنز و روی اندام هوایی و دانه معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه با ۴۵۵۹ کیلوگرم در هکتار، از تیمار آبیاری مطلوب به دست آمد. مشخص شد که رقم‌های اکتان و نپتون با تولید عملکرد دانه ۴۵۸۴ و ۴۲۹۰ کیلوگرم در هکتار، نسبت به بقیه ارقام برتری داشتند. با توجه به تأثیر مثبت غلظت پتاسیم و تلقیح بذر کلزا با ازتوباکتر به دلیل خاصیت محلول‌سازی آن، افزایش کاربرد پتاسیم در خاک و تلقیح بذر می‌تواند سبب تعدیل اثرات منفی تنش و بهبود عملکرد دانه در کلزا شود.

**واژه‌های کلیدی:** ازتوباکتر، بافت، تنش، عملکرد، عناصر.

## مقدمه

تنش خشکی انتهای فصل همراه با دمای بالا، علاوه بر کاهش محتوای روغن و پروتئین، عملکرد دانه کلزا را نیز کاهش می‌دهد (Seyed ahmadi *et al.*, 2015). تنش خشکی می‌تواند بر مکانیسم‌های زایشی تعیین کننده عملکرد کلزا مثل تشکیل گل و خورجین، دانه در خورجین و پر شدن دانه تأثیر گذارد اما شدت این اثر، تابعی از رقم، مدت تنش، شرایط آب و هوایی و مراحل رشد و نمو است (Sinaki *et al.*, 2007; Farooq *et al.*, 2008). یکی از زیان‌بارترین اثرات تنش خشکی، اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی است که علاوه بر تلفات کود، باعث کاهش عملکرد دانه و علوفه می‌شود (Benziger *et al.*, 2004). نتایج نشان داد که تنش خشکی، موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و وزن خشک خوشه‌های ذرت نسبت به شاهد بدون تنش شد. تلقیح بذره‌های ذرت با ازتوباکتر، باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد. ازتوباکتر جدایه ۱۰ نسبت به تیمار بدون تلقیح در شرایط تنش خشکی، موجب افزایش عملکرد حدود ۲۰ درصدی در اندام هوایی شد (Khosravi, 2019). عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و منیزیم برای حفظ کارایی مصرف آب و عنصری چون پتاسیم برای کنترل تلفات آبی از گیاه دارای نقش‌های مهمی می‌باشند (Cakmak & Kirkby, 2008). افزایش عملکرد دانه با افزایش مصرف پتاسیم، به دلیل اثر آن در بهبود اجزای عملکرد و فعالیت‌های متابولیسمی چون فتوسنتز، سنتز و انتقال فرآورده‌ها در گیاهان است (Umar, 2006). با افزایش شدت تنش خشکی، مقادیر بالاتر مصرف پتاسیم در افزایش عملکرد روغن کارآمدتر بود. مصرف پتاسیم با تأثیری که بر افزایش عملکرد دانه دارد، عملکرد روغن را نیز افزایش می‌دهد (Fanaei *et al.*, 2013). در اثر تنش خشکی، میزان جذب سدیم و پتاسیم در گیاه افزایش می‌یابد و آن به دلیل تنظیم فشار اسمزی و نقش یون پتاسیم در کنترل روزه است (Abdul- Majid *et al.*, 2007; Sardanz & Uelas, 2008).

محققین دیگری اعلام نمودند که با کمبود آب، جذب پتاسیم کاهش می‌یابد (Nasri *et al.*, 2008). با کاربرد مقادیر بالای پتاسیم در خاک، جذب پتاسیم به وسیله برگ‌ها در شرایط نرمال و تنش رطوبتی بهبود می‌یابد. بین غلظت پتاسیم برگ و عملکرد دانه، رابطه مثبتی وجود دارد (Umar, 2006). در شرایط تنش، مصرف بیشتر پتاسیم، سبب بالارفتن غلظت پتاسیم در گیاه می‌شود و بدون مصرف پتاسیم، کلسیم برگ افزایش می‌یابد و با فراهمی پتاسیم، میزان کلسیم در برگ کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده نقش کنترلی پتاسیم در جذب و انتقال کلسیم می‌باشد. اما تأثیر پتاسیم در افزایش منیزیم و عملکرد دانه مثبت بوده است (Fanaei *et al.*, 2013). تجمع بالای پتاسیم و کلسیم در برگ، با تحمل تنش خشکی ارتباط دارد. روش‌های زیستی برای تغذیه بهینه گیاه، چشم‌اندازهای روشنی را برای بخش کشاورزی ایجاد نموده است. استفاده از باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه و میکروارگانیزم‌های مفید، علاوه بر سازگاری با محیط زیست، سلامت مواد غذایی و تولید پایدار، سبب بهبود جذب عناصر غذایی، رشد و تحمل گیاه به تنش‌های زنده و غیر زنده می‌شود (Deepak Bhardwaj *et al.*, 2014). تلقیح بذر کلزا با ازتوباکتر، اثر معنی‌داری بر مقدار فسفر اندام هوایی دارد (Sorouri *et al.*, 2013). افزایش سطح جذب ریشه، در گیاهان تلقیح یافته، افزایش جذب فسفر را در پی دارد (Bahrani *et al.*, 2010). تلقیح بذره‌های ذرت با کودهای زیستی ازتوباکتر، موجب افزایش کارایی مصرف نیتروژن نسبت به عدم تلقیح بذر می‌شود. مقادیر کود نیتروژنه و تلقیح بذر با کودهای زیستی، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت شد (Seyed-sharifi, 2016). افزایش پتاسیم در گیاهان تلقیح یافته با ازتوباکتر به هورمون سیتوکینین نسبت داده شده است که ضمن تحریک رشد ریشه و پس از انتقال به اندام هوایی، عامل هدایت یون‌های ضروری می‌شود (Sorouri *et al.*, 2013). ازتوباکتر، تحمل زیادی به تنش‌های نمکی و خشکی دارد و می‌تواند اثرات منفی ناشی از تنش

کیفیت روغن دو صفر و مقاوم به بیماری‌ها بود و رقم اکاپی نیز یک رقم آزاد گرده‌افشان زمستانه با رشد اولیه کند، ارتفاع بالا، دارای ریزش، متوسط رس با کیفیت روغن دو صفر و حساس به خوابیدگی بود. همه ارقام از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. پیش از اجرای طرح و جهت تعیین عناصر پر مصرف و کم مصرف خاک، اندازه‌گیری‌های لازم از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک به عمل آمد. نتایج آزمون خاک نشان داد که اسیدیته خاک برابر ۶/۵، هدایت الکتریکی  $۸۷۵ \text{ mmohs.cm}^{-1}$ ، میزان نیتروژن  $۰/۱۰۶$  درصد و میزان فسفر و پتاس نیز به ترتیب ۲/۵ و ۲۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. جمعیت باکتری‌های بومی خاک،  $۱/۵ \times ۱۰^۳$  سلول در هر گرم خاک و در هر گرم مایه تلقیح  $۹/۸ \times ۱۰^۷$  سلول در هر گرم خاک برآورد شد. ازتوباکترکروکوکوم از بانک ریزجانداران بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. ازتوباکتر، توانایی تثبیت نیتروژن مولکولی به صورت غیر همزیست را دارد. سویه‌های برتر بر اساس توانایی تثبیت نیتروژن، تولید سیانید هیدروژن، حل‌کنندگی فسفات‌های نامحلول و تولید اکسین یا ایندول استیک اسید انتخاب شدند (Khosravi, 2009). در زمین محل اجرای آزمایش، عملیات آبیاری پیش از کاشت یک‌بار شخم، دو بار دیسک عمود بر هم انجام شد و به وسیله فاروئر، جوی و پشته‌ها با فاصله ۵۰ سانتی‌متر انجام ایجاد شد. برای جلوگیری از نفوذ آب به کرت‌های مجاور، پشته‌هایی با عرض مناسب ایجاد شد. برای تلقیح، بذرها را با سوسپانسیون باکتری به میزان توصیه شده، در سایه آغشته شدند و سپس با تراکم بیشتر و در عمق یک تا دو سانتی‌متری کشت شدند. هر پشته شامل دو خط کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. پس از سبز شدن بوته‌ها و طی دو مرحله دو تا سه و چهار تا شش برگگی، تنک‌کردن انجام شد (Ghobadi, 2006). با عملیات تنک کردن، فواصل بوته‌ها روی خطوط کاشت، ۱۰ سانتی‌متر و تراکم، ۴۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. برای تیمار قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی، آبیاری تا انتهای دوره رشد گیاه انجام

غیر زنده در گیاهان را کاهش دهد. ازتوباکتر می‌تواند در سیستم‌های کشاورزی پایدار نیز تحت شرایط تنش‌زا به کار گرفته شود که مزایای اقتصادی و زیست محیطی زیادی دارد (Omena et al., 2019). با بررسی و مطالعه ارقام کلزا تحت تأثیر خشکی انتهای فصل و تلقیح کودهای زیستی در جذب و تجمع عناصر غذایی در بافت‌های اندام هوایی و دانه‌های کلزا می‌توان ارقام سازگار را در شرایط تنش شناسایی نمود و با کاهش مصرف آب و کودهای شیمیایی، عملکرد اقتصادی را نیز به دست آورد. بنابراین این آزمایش به منظور بررسی عملکرد ارقام کلزا در شرایط محدودیت آب و کاربرد ازتوباکتر اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سراب چنگایی خرم‌آباد، با آب و هوای معتدل گرم به صورت کرت خرد شده فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. هر تکرار شامل سه کرت اصلی به فاصله دو متر - بود که عامل آزمایشی قطع آبیاری در سه سطح قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی و آبیاری معمولی بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (شاهد) به عنوان عامل اصلی در آن‌ها قرار گرفت. هر کرت اصلی نیز شامل نه کرت فرعی به فاصله یک متر بود. عامل آزمایشی باکتری در سه سطح تلقیح با باکتری ازتوباکتر کروکوکوم سویه-های ۶۳ و ۷۰ و بدون تلقیح (شاهد) بود و عامل آزمایشی ارقام کلزا، ارقام نپتون، اکتان و اکاپی (شاهد) را شامل بود. عوامل آزمایشی فرعی ازتوباکتر کروکوکوم به همراه ارقام کلزا به صورت فاکتوریل در نه کرت فرعی قرار گرفتند. رقم نپتون زمستانه، تولید شرکت اورالیس، ویژه کاشت در مناطق معتدل و معتدل سرد با درصد روغن ۴۶٪، کیفیت روغن دو صفر، ارتفاع حدود ۱۵۰ سانتی‌متر، شاخه‌دهی زیاد، رسیدگی متوسط، وزن هزار دانه ۴/۱ گرم و مقاوم به ریزش و بیماری‌ها بود. رقم اکتان محصول شرکت سینجنتا، زمستانه با رشد اولیه سریع، متحمل به تنش‌های محیطی، شاخه‌دهی زیاد، مقاوم به ریزش با

## نتایج و بحث

### عملکرد دانه

اثر متقابل رژیم آبیاری و ارقام بر عملکرد دانه کلزا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در این آزمایش، ارقام کلزا به شرایط مختلف رطوبتی، واکنش‌های متفاوتی داشتند. عملکرد دانه ارقام اکتان و نپتون در آبیاری نرمال، به ترتیب ۳۰/۰۶ و ۱۷/۲۱ درصد از رقم شاهد با عملکرد ۳۶۷۷ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود. در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی، عملکرد دانه رقم نپتون بالاتر بود و رقم نپتون و اکتان به ترتیب ۲۳/۵۷ و ۲۱/۳۶ درصد نسبت به شاهد برتری داشتند. رقم نپتون در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی، به عملکرد پتانسیل نزدیک شد. در آبیاری کامل، عملکرد رقم اکاپی نسبت به رقم نپتون ۲۲/۴۵ درصد کمتر بود (جدول ۲). Ghodrati (2013) بیان داشته‌است که ارقام و لاین‌های مختلف کلزا، واکنش متفاوتی به تنش رطوبتی انتهایی فصل نشان می‌دهند و قطع آبیاری از ابتدای گل‌دهی، باعث کاهش ۲۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد می‌شود و آبیاری در شرایط نرمال، باعث برتری تمام ویژگی‌های کمی و کیفی کلزا نسبت به حالت تنش رطوبتی می‌شود. قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه کلزا دارد و هر چه زمان قطع آبیاری در کلزا زودتر باشد، عملکرد دانه کمتر خواهد بود (Jabbari et al., 2014).

### محتوای عناصر غذایی در اندام‌های هوایی و دانه

#### نیترژن

اثرات متقابل رژیم آبیاری و باکتری ازتوباکتر کروکوکوم بر میزان نیترژن دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین محتوای نیترژن دانه به میزان ۴/۲۵ درصد، از تیمار قطع آبیاری از ۳۰ درصد خورجین‌دهی و تلقیح با سویه ۶۳ به دست آمد که بدون اختلاف معنی‌دار همراه با تیمار آبیاری کامل و تلقیح با سویه ۷۰ که باعث تجمع ۴/۲ درصد نیترژن در دانه کلزا شد، در یک گروه آماری قرار گرفتند.

نشد، اما در تیمار آبیاری معمولی، آبیاری بر اساس نیاز گیاه انجام شد. پانزده روز پس از قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی، نمونه‌برداری برای تعیین میزان عناصر از بافت سبز اندام‌های هوایی شامل برگ و ساقه انجام گرفت. عصاره گیاه با استفاده از روش هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیک و آب اکسیژنه استخراج شد و از عصاره گیاهی حاصل از روش هضم با استفاده از دستگاه کجل‌تک، میزان نیترژن گیاه اندازه‌گیری شد (Hanson, 1950). اندازه‌گیری عناصر با روش کالری‌متری انجام شد (Malakouti & Homaei, 1993) و با استفاده از محلول‌های حاصل از عصاره‌گیری، عناصر کلسیم و منیزیم با کیت‌های موجود، در طول موج‌های خاصو با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شدند. برای اندازه‌گیری کلسیم، پس از قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر در مقابل بلانک معرف و در طول موج ۵۷۰ نانومتر محاسبه شد. قسمتی از نمونه‌ها در کوره الکتریکی در حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند سپس با اسید کلریدریک ۲ نرمال هضم و عناصر اندازه‌گیری شدند. غلظت آهن، روی، مس و منگنز با استفاده از روش خاکستر خشک و با دستگاه غلظت‌اتمی GBC مدل ۹۳۲ ساخت استرالیا تعیین شدند (Emami, 1996). در پایان فصل رشد برای محاسبه عملکرد دانه با حذف حاشیه‌ها، بوته‌های خطوط دو، سه، چهار و پنج در فضای عملکرد به-مساحت سه مترمربع، برداشت شدند، به گونه‌ای که ارقام نپتون، اکاپی و اکتان به ترتیب ۲۳، ۲۵ و ۲۶ خردادماه برداشت شدند. بوته‌های برداشت‌شده در هوای آزاد و در معرض آفتاب قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. پس از خشک شدن و جداسازی دانه‌ها از خورجین، وزن دانه‌ها در رطوبت ۱۲ درصد با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. برای تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS 9.1.3 استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

جدول ۱- تجزیه واریانس (MS) اثر مایه تلقیح ازتوباکتر بر عملکرد و محتوای عناصر غذایی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) در رژیم‌های مختلف آبیاری.

Table 1. Analysis of variance of the effect of Azotobacter inoculation on yield and nutrient content of rapeseed (*Brassica napus* L.) in different irrigation regimes.

Sources	Df	Mean of squares																
		Seed								Shoot								
		Cu	Zn	Mn	Mg	Ca	K	P	N	Cu	Zn	Mn	Mg	Ca	K	P	N	Yield
Block	3	0.0571 ns	11.*	15.9	0.00024	0.00031	0.00	0.001	0.008	0.32	19.58	88.39	0.00	0.04 *	0.09	0.001	0.086	2983472 **
Irrigation regime	2	0.375 **	193.*	352.9 **	0.0007	0.0075 **	0.079 **	0.33 **	1.3 **	1.6 *	159.69 **	519.06 **	0.00 *	0.1 **	1.48 **	0.335 **	2.15 **	11318330 **
Block× Irrigation regime	6	0.0067	4.2	4.6	0.0005	0.00013	0.001	0.00	0.023	0.42	30.53	73.86	0.00	0.01	0.08	0.00	0.049	878382 *
Bacteria	2	0.465 **	292.2**	660.59 **	0.2 **	0.038 **	0.153 **	0.008 **	5.14 **	1.82 **	136.36 **	219.73 **	0.00	0.28 **	1.11 **	0.008 **	4.351 **	725732
Cultivar	2	0.021	25.28 **	32.56 *	0.001*	0.0011 *	0.00	0.005 *	0.01	0.9	464.36 **	42.5	0.00	0.02	0.1	0.005 *	0.231 *	1242864 **
Bacteria× Irrigation regime	4	1.952 **	186.3 **	1732.9 **	0.02**	0.022 **	0.046 **	0.05 **	1.62 **	2.1 **	117.8 **	397.88 **	0.01 **	0.19 **	3.4 **	0.005 *	4.677 **	187984
cultivar× Irrigation regime	4	0.047	6.5	98.28 **	0.001 **	0.0004	0.002 *	0.001	0.031	2.83 **	50.97 *	97.03	0.00	0.13 **	0.21 **	0.05 **	0.079	950570*
Bacteria×cultivar	4	0.080	8.5	57.9 **	0.0025**	0.0008 **	0.002 **	0.001	0.028	0.47	45.34 *	104.37	0.00	0.022	0.31 **	0.001	0.22 *	109719
Bacteria×cultivar× Irrigation regime	8	0.105 **	20.1 **	56.8 **	0.0018 **	0.0009 **	0.002 **	0.006 **	0.01	0.53	136.7 **	108.77 *	0.03 *	0.019	0.22 **	0.006 **	0.18 *	198607
Error	72	0.0329	3.87	7.69	0.00029	0.0002	0.0009	0.001	0.014	0.34	18.1	44.36	0.00	0.014	0.057	1.08	0.052	368857.51
CV (%)		5.26	6.91	7.1	5.24	5.28	3.8	10.02	3.151	8.9	9.06	9.8	8.9	8.7	6.7	10	4.51	14.78

\*and\*\*: significant at 0.05 and 0.01 of probability level, respectively.

\* و \*\*: معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

فسفر اندام هوایی در تیمار آبیاری نرمال در ارقام مختلف اختلاف معنی داری نداشت و سویه ۶۳ و ۷۰ ازتوباکتر در ترکیب با ارقام کلزا در آبیاری نرمال، دارای میانگین‌های بین ۰/۴۹۵ تا ۰/۵۰۷ درصد بودند و ازتوباکتر در جذب فسفر نقش داشت (جدول ۳). در تیمار کمترین آبیاری، ارقام اکاپی، نپتون و اکتان، بدون تلقیح با ازتوباکتر به ترتیب با ۰/۲۰، ۰/۲۱ و ۰/۲۳ درصد، کمترین میزان فسفر را در اندام هوایی داشتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ارقام اکتان و نپتون در تلقیح با سویه ۶۳ در آبیاری نرمال و رقم اکاپی در تلقیح با سویه ۶۳ در تیمار آبیاری تا ۳۰ درصد خورجین‌دهی، به ترتیب با محتوای ۱/۲۷، ۱/۲۱ و ۱/۱۵ درصد، بدون اختلاف معنی دار، بیشترین میزان تجمع فسفر را در دانه داشتند و کمترین میزان تجمع فسفر نیز در دانه نپتون، اکتان و اکاپی بدون تلقیح با ازتوباکتر، به ترتیب با ۰/۳، ۰/۳۲ و ۰/۴ درصد به دست آمد (جدول ۳). گزارش شده است که در بذور گندم تلقیح یافته با ازتوباکتر، جذب نیتروژن و فسفر همراه با ریزمغذی‌هایی مانند آهن و روی، افزایش یافت و می‌توان از این گونه‌ها برای بهبود تغذیه گندم استفاده کرد (Arjun et al., 2015).

#### پتاسیم

اثرات متقابل رژیم آبیاری، باکتری و ارقام بر میزان پتاسیم اندام هوایی و دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۱). در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی و در تلقیح با سویه ۶۳، ارقام اکتان، اکاپی و نپتون به ترتیب با ۴/۵۷، ۴/۳۷ و ۴/۳۲ درصد، بیشترین میزان جذب پتاسیم را در بافت سبز داشتند و رقم اکتان با تجمع پتاسیم بیشتر، عملکرد دانه بالاتری نیز داشت. از طرفی سویه ۷۰ در تیمار آبیاری کامل، بدون اختلاف معنی دار با سویه ۶۳، باعث تجمع ۴/۲۵ و ۴/۱۹ درصد پتاسیم در اندام هوایی ارقام اکاپی و نپتون شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که فراهمی رطوبت همراه با تلقیح ازتوباکتر، باعث افزایش جذب پتاسیم شده است.

کمترین محتوای نیتروژن دانه کلزا در تیمارهای قطع آبیاری از ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی، بدون تلقیح ازتوباکتر، به ترتیب به میزان سه و ۳/۱۴ درصد مشاهده شد. این نتایج نشان‌دهنده تثبیت نیتروژن توسط باکتری ازتوباکتر کروکوکوم به عنوان یک پروکاریوت دارای آنزیم نیتروژناز است و وجود رطوبت نیز اثر افزایشی بر فعالیت تثبیت نیتروژن ازتوباکتر دارد. اثرات متقابل رژیم آبیاری، باکتری و ارقام بر میزان نیتروژن اندام هوایی و دانه کلزا در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد، اما بر میزان نیتروژن دانه معنی دار نشد (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، رقم اکتان در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی و سویه ۶۳ با ۶/۲۷ درصد، بیشترین میزان نیتروژن اندام هوایی و ارقام اکاپی و نپتون در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی با ۶/۱۲ و ۶/۰۵ درصد و رقم اکاپی در آبیاری نرمال در تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم سویه ۷۰ با ۶/۰۲ درصد در گروه آماری بعدی قرار گرفتند. کمترین میزان جذب نیتروژن در اندام هوایی به میزان ۴/۲۵ درصد، از تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی در رقم نپتون و بدون تلقیح با ازتوباکتر مشاهده شد که احتمالاً به دلیل عدم تلقیح ازتوباکتر و اثرات آن در جذب نیتروژن بود (جدول ۳). گزارش شده است تلقیح بامیه با ازتوباکتر، سبب افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم شد (Shaheen et al., 2007). همچنین اثر ازتوباکتر بر مقدار جذب نیتروژن اندام هوایی کلزا معنی دار است و سویه‌های مختلف ازتوباکتر در جذب مقادیر نیتروژن متفاوت هستند (Sorouri et al., 2013).

#### فسفر

اثرات متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، باکتری و ارقام بر محتوای فسفر اندام هوایی و دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اگرچه آبیاری نرمال بدون ازتوباکتر، باعث تجمع بیشترین میزان فسفر اندام هوایی در ارقام نپتون، اکاپی و اکتان به ترتیب به میزان ۰/۵۶، ۰/۵۳ و ۰/۵۱ درصد شد، اما با اثر ازتوباکتر بر افزایش میزان

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دوگانه رژیم آبیاری (I) و رقم (C) بر برخی صفات مختلف کلزا (*Brassica napus* L.).

Table 2, Means comparison of the two-way interaction of the irrigation regime (I) and cultivar (C) on some different traits of rapeseed (*Brassica napus* L.)

Treatment	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	K (%)	P (%)	N (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	K (%)	P (%)	N (%)	Yield (Kg ha <sup>-1</sup> )
	Seed								Shoot								
	I1																
C1	3.358 a	25.75 bc	41.55 a	0.327 a	0.253 a	0.778 ab	0.718 b	3.658 a	6.33 bc	44.75 c	66.25 ab	0.136 a	1.22 c	3.41 ab	0.333 bc	4.791 a	3430.8 dc
C2	3.383 a	25.58 c	34.66 a	0.323 a	0.247 a	0.776 ab	0.753 ab	3.700 a	6.94 ab	44.50 c	72.41 ab	0.142 a	1.325 bc	3.400 ab	0.287 c	4.708 a	3925.5 bc
C3	3.350 a	28.33 abc	35.29 a	0.325 a	0.269 a	0.799 ab	0.736 ab	3.700 a	6.92 ab	54.41 a	72.00 a	0.133 a	1.350 abc	3.383 b	0.314 bc	4.841 a	3086.3 d
	I2																
C1	3.391 a	30.83 ab	35.83 a	0.330 a	0.262 a	0.840 a	0.900 ab	3.641 a	6.34 bc	46.16 bc	69.50 ab	0.142 a	1.492 ab	3.55 ab	0.370 b	5.033 a	4699.7 a
C2	3.483 a	31.16 a	36.58 a	0.311 a	0.259 a	0.832 a	0.884 ab	3.666 a	6.65 abc	46.83 bc	67.33 ab	0.140 a	1.336 abc	3.575 ab	0.366 b	5.133 a	4567.7 ab
C3	3.375 a	31.16 a	38.00 a	0.321 a	0.266 a	0.844 a	0.916 ab	3.616 a	7.19 a	52.08 ab	71.75 a	0.140 a	1.354 abc	3.483 ab	0.359 bc	5.158 a	3591.6 dc
	I3																
C1	3.508 a	27.16 abc	40.16 a	0.338 a	0.277 a	0.759 ab	0.971 ab	3.983 a	6.90 ab	42.25 c	65.58 ab	0.134 a	1.283 c	3.588 ab	0.511 a	5.096 a	4742.2 a
C2	3.525 a	27.50 abc	42.91 a	0.338 a	0.287 a	0.752 ab	1.015 a	3.925 a	5.92 c	44.66 c	61.33 b	0.127 a	1.533 a	3.817 ab	0.491 a	5.283 a	5258.3 a
C3	3.650 a	28.83 abc	44.83 a	0.314 a	0.287 a	0.725 b	0.942 ab	4.066 a	6.26 bc	46.58 bc	62.5 ab	0.136 a	1.442 abc	3.993 a	0.495 a	5.4 a	3677.5 dc

قطع آبیاری در مرحله ۳۰٪ گلدهی (I1)، قطع آبیاری در مرحله ۳۰٪ خورجین دهی (I2)، آبیاری نرمال (I3)، رقم نپتون (C1)، رقم اکتان (C2)، رقم اکاپی (C3). میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنجدرصد می‌باشد.

Withholding irrigation from 30% flowering stage (I1) Withholding irrigation from 30% pod forming stage (I2), Normal irrigation. (I3). Neptun (C1), Octane (C2), Okapi (C3). Means with the same letters in the each column are not significantly different at 5% of probability level.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، باکتری ازتوباکتر و رقم بر عملکرد و محتوای عناصر غذایی کلزا (*Brassica napus* L.).

Table 3 . Means comparison of the three-way interaction effects of irrigation regime, cultivar and azotobacter inoculation on yield and nutrient content of rapeseed (*Brassica napus* L.).

Treatment	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	K (%)	P (%)	N (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Mg (%)	Ca (%)	K (%)	P (%)	N (%)	Yield (Kg ha <sup>-1</sup> )
	Seed								Shoot								
	I1B1																
C1	3.42 d-h	27.75 e-h	59.00 a	0.36 abc	0.26 cde	0.877 b	0.95 def	4.00 bc	6.32 bcd	45.50 de	65.25 bcde	0.13bcd	1.22 efg	3.35 h-m	0.425 d-g	4.50 jkl	3277.5 ef
C2	3.52 c-f	26.75 fgh	40.00 ef	0.35 a-d	0.27 bcd	0.83 bcd	0.98 bcd	4.02 abc	7.25 ab	42.75 de	74.50 abc	0.13 bcd	1.25 efg	3.10 klm	0.35 hig	4.27 l	3961.6 b-f
C3	3.40 d-h	28.00 e-h	43.12 de	0.36 abc	0.28 bcd	0.86 b	0.93 def	4.05 abc	7.30 ab	56.25 bc	75.0 abc	0.13 bcd	1.37 b-g	3.27 i-m	0.40 e-h	4.65 h-l	3357.5 def
	I1B2																
C1	3.60 b-e	29.00 efd	30.25 g-j	0.36 abc	0.28bcd	0.77 d-i	0.93 def	4.00 bc	6.47 bcd	45.00 de	66.75 b-e	0.13 bc	1.27 d-g	3.35 h-m	0.36 g-j	5.15 d-h	3654.1 c-f
C2	3.47 c-h	28.00 e-h	31.50 g-j	0.36 ab	0.27 b-e	0.79 c-f	0.955 cde	4.05 abc	6.425 bcd	42.75 de	66.25 b-e	0.13 bcd	1.27 d-g	3.40 h-m	0.29 jk	5.07 d-h	3937.5 b-f
C3	3.72 bcd	35.0ab	27.75 hij	0.37a	0.32 a	0.84 bc	0.88 def	4.02 abc	7. abc	61.5ab	72. a-d	0.13 bcd	1.3 d-g	3.45 f-m	0.34 hij	5.17 d-g	3205.8 ef

I1B3

C1	3.05 ij	20.50 j	35.4 fg	0.25h	0.21 gh	0.68 jk	0.30 h	2.97 f	6.20 bcd	43.75 de	66.75 b-e	0.14 bcd	1.32 c-g	3.55 f-k	0.21	4.72 f-l	3360.7 def
C2	3.15 f-j	22.0 ij	32.50 g-j	0.25h	0.19 h	0.70 ijk	0.3 h	3.02 f	7.15 ab	48.0 cde	73.50 abc	0.15 ab	1.45 a-f	3.70 e-i	0.23 kl	4.77 f-k	3877.5 b-f
C3	2.92 j	22.00 ij	35.0 fg	0.23h	0.19 h	0.68 k	0.40 h	3.02 f	6.45 bcd	45.50 de	69.00 a-e	0.14 bcd	1.37 b-g	3.42 g-m	0.20	4.70 g-l	2695.6 f
I2B1																	
C1	3.7 bcd	33.00 bcd	33.75 gh	0.38 a	0.33 a	0.99 a	1.130 abc	4.25 ab	7.07 ab	47.75 de	73.0 abc	0.17 a	1.6 af	4.32 abc	0.40 e-i	6.05 ab	5025.8 abc
C2	4.27 a	37.75 a	34.00 fgh	0.30 fg	0.33 a	0.93 a	1.12 abc	4.25 ab	7.22 ab	50.50 cd	70.75 a-d	0.15 ab	1.47 a-e	4.57 a	0.39 e-i	6.27 a	4934.2 a-d
C3	3.85 bc	37.75 a	31.25 g-j	0.31 efg	0.34 a	0.98 a	1.15 ab	4.27 a	7.89 a	64.75 a	68.0 b-e	0.14 bcd	1.43 a-f	4.37 ab	0.31 ij	6.12 ab	3555 c-f
I2B2																	
C1	3.25 e-j	33.50 bc	30.50 g-j	0.29 fg	0.23 fg	0.757 e-i	0.78efg	3.52 e	6.50 a-d	48.00 cde	81.0 ab	0.13 bcd	1.55 a-d	3.37 h-m	0.34hij	4.80 f-k	4601.6 a-e
C2	3.12 g-j	31.50 b-e	32.50 g-j	0.32d-g	0.25def	0.77d-i	0.68 g	3.55 e	6.52 a-d	45.00 de	69.00 a-e	0.13 bcd	1.27 d-g	3.00 lm	0.37f-g	4.80 f-k	4387.2 a-e
C3	3.10 hij	30.00 c-f	33.50 ghi	0.32 d-g	0.24 ef	0.75 e-j	0.75 fg	3.50 e	7.30 ab	42.00 de	83.75 a	0.14 abc	1.47 a-f	2.92 m	0.347 g-j	4.95 e-i	3470.8 c-f
I2B3																	
C1	3.225 e-j	26.00 f-i	43.25 de	0.3125 fg	0.215 gh	0.775 d-h	0.792 d-g	3.150 f	5.450 d	42.75 de	54.50 e	0.125 bcd	1.250 efg	2.95 m	0.400 e-i	4.25 l	4471.8 a-d
C2	3.05 ij	24.25 g-j	43.25 de	0.305fg	0.195 h	0.79 c-g	0.84 d-g	3.20 f	6.200 bcd	45.00 de	62.25 cde	0.132 bcd	1.257 efg	3.15 j-m	0.332 hij	4.32 kl	4381.7 a-e
C3	3.17 f-j	25.75 f-i	49.25 cd	0.32 c-g	0.210 gh	0.80 cde	0.84 d-g	3.07 f	6.74 bcd	49.50 c	63.50 cde	0.13 bcd	1.150 g	3.15 j-m	0.412 e-h	4.4 jkl	3748.9 c-f
I3B1																	
C1	3.22 e-j	23.75 hij	46.75 dc	0.36 ab	0.252def	0.792 c-f	1.2 a	3.85 cd	6.60a-d	43.25 de	66.0 b-e	0.12 bcd	1.350 b-g	3.07 klm	0.465 b-e	4.82 f-g	4720.4 a-e
C2	3.22 e-j	24.25 g-j	50.75 bc	0.3850 a	0.280 bcd	0.790 c-g	1.270 a	3.72 de	5.425 d	46.50 de	54.25 b-e	0.137 bcd	1.650 a	3.95 b-g	0.507 abc	5.52 cd	5520 a
C3	3.52 c-f	28.50 efg	50.50 bc	0.307 fg	0.295 bc	0.715 h-k	0.902 def	4.10 abc	6.600 a-d	44.25 de	66.25 b-e	0.130 bcd	1.625 ab	3.97 b-f	0.460 b-e	5.32 cde	3748.1 c-f
I3B2																	
C1	3.52 c-f	29.25 def	46.75 dc	0.29 fg	0.20 bc	0.727 f-k	0.747 fg	3.85 cd	6.975 abc	38.75 e	67.50 bcde	0.142 bcd	1.350 b-g	4.18 a-e	0.505 abc	5.74 bc	5009.5 abc
C2	3.50 c-g	29.25 def	52.00 bc	0.295g	0.29 b	0.725 g-k	0.800 d-g	3.72 de	6.250 bcd	45.25 de	63.25 cde	0.120 d	1.60 abc	3.67 f-j	0.447 c-f	5.22 def	5330.7 ab
C3	3.47 c-h	29.00 def	56.50 ab	0.3075 fg	0.28 bcd	0.720 h-k	0.950 cde	4.10 abc	5.725 cd	49.50 cd	57.25 de	0.150 ab	1.500 a-e	4.25 a-d	0.495 a-d	6.02 ab	3653.7 c-f
I3B3																	
C1	3.77 bcd	28.5 efg	27.00 ij	0.35 a-e	0.29 bc	0.757 e-i	0.950 cde	3.90 cd	7.125 ab	44.75 de	63.25 cde	0.132 bcd	1.150 g	3.50 f-l	0.562 a	4.72 f-l	4496.8 a-e
C2	3.85 bc	29.00 def	26.00 j	0.33 b-f	0.28 bc	0.742 e-k	0.975 b-e	3.85 cd	6.100 bcd	42.25 de	66.50 b-e	0.122 cd	1.350 b-g	3.82 c-h	0.517 abc	5.10 d-h	4924.1 a-d
C3	3.95 ab	29.00 def	27.50 hij	0.3275 c-g	0.2850 bc	0.742 e-k	0.975 b-e	3.90 cd	6.450 bcd	45.75 de	64.00 cde	0.127 bcd	1.200 fg	3.75 d-i	0.530 ab	4.85 e-j	3630.7 c-f

قطع آبیاری در مرحله ۳۰٪ گلدهی (I1)، قطع آبیاری در مرحله ۳۰٪ خورجین دهی (I2)، آبیاری نرمال (I3)، رقم نپتون (C1)، رقم اکتان (C2)، رقم اکاپی (C3)، سویه ۶۳ (B1)، سویه ۷۰ (B2)، بدون تلقیح (B3)، میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در سطح پنج درصد ندارند.

Withholding irrigation from 30% flowering stage (I1) Withholding irrigation from 30% pod forming stage (I2), Normal irrigation. (I3). Neptun (C1), Octane (C2), Okapi (C3). Azotobacter chroococcum 63 (B1), Azotobacter chroococcum 70 (B2), No Azotobacter (B3). Means with the same letter(s) in the same column are not significantly different at 5% of probability level.



غلظت کلسیم برگ تأثیرگذار باشد (Fanaei *et al.*, 2013). با سنتر و انتقال اسید آسزیک ناشی از تنش به برگ، کانال‌های کلسیمی در سلول‌های محافظ روزنه فعال و روزنه‌ها بسته می‌شوند (Abdul-Majid *et al.*, 2007). میزان نیاز به کلسیم در گیاهان، به سطوح و نوع کود استفاده شده، شرایط متفاوت فصلی، خاکی و اقلیمی و نوع محصول بستگی دارد (Abdul-Majid *et al.*, 2007; Sardanz and Uelas, 2008; Fanaei *et al.*, 2013).

#### منیزیم

اثرات متقابل رژیم آبیاری، باکتری و ارقام بر میزان منیزیم اندام هوایی کلزا در سطح احتمال خطای پنج درصد و بر محتوای منیزیم دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). رقم نپتون در تلقیح با سویه ۶۳ و تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی با ۱/۱۷ درصد، با اختلاف معنی‌داری بیشترین غلظت منیزیم را در اندام هوایی به‌دست آورد و رقم اکتان نیز در تلقیح با سویه ۷۰ و در تیمار آبیاری نرمال با ۱/۱۲ درصد کمترین میزان منیزیم را در اندام هوایی سبز داشت (جدول ۳). بین منیزیم با کلسیم و پتاسیم برای جذب روی غشای ریشه رقابت وجود دارد (Khoshgoftarmanesh & Siadat, 2002). غلظت بالای منیزیم در خاک، با ایجاد کمبود کلسیم در گیاه، سبب کاهش تحمل گیاه به تنش خشکی می‌شود. در گونه‌های جنس براسیکا تحت تنش خشکی، منیزیم برگ افزایش می‌یابد (Ma *et al.*, 2004). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که واکنش گیاه کلزا در جذب منیزیم در دانه نسبت به رژیم آبیاری، از تنوع بالایی برخوردار است و به نوع رقم و تلقیح بستگی دارد. در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی و بدون تلقیح با ازتوباکتر، همه ارقام مورد آزمایش، کمترین میزان محتوای منیزیم را داشتند (جدول ۳). اگر نسبت منیزیم به کلسیم بالا باشد، عاملی برای رقابت بهتر منیزیم بر سر مکان‌های جذب در ریشه است (Fanaei *et al.*, 2013).

#### منگنز

اثرات متقابل رژیم آبیاری، باکتری و ارقام بر میزان منگنز اندام هوایی کلزا در سطح احتمال پنج درصد و

کمترین تجمع پتاسیم در ارقام اکاپی، نپتون و اکتان در تلقیح با سویه ۷۰ یا بدون تلقیح با ازتوباکتر به- ترتیب با ۲/۹۲، ۲/۹۵ و ۳ درصد، در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی، به دست آمد. بین ارقام کلزا در تنش رطوبتی از نظر تجمع پتاسیم برگ اختلاف وجود دارد و رقم هایولا ۴۲ در بین ارقام دیگر در شدت تنش رطوبتی بالا، با تجمع بیشتر پتاسیم در برگ، بیشترین عملکرد دانه را تولید نمود (Nasri *et al.*, 2008). بنابراین افزایش در شدت تنش خشکی، منجر به افزایش در نیاز پتاسیمی برای حفظ فتوسنتز و محافظت کلروپلاست‌ها از صدمه اکسیداتیو می‌شود. از نظر میزان محتوای پتاسیم دانه، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر تجمع پتاسیم دانه کلزا در همه ارقام در تلقیح با سویه ۶۳، در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد توسعه خورجین‌ها بدون اختلاف معنی‌دار با هم به‌دست آمد، به‌طوری‌که محتوای پتاسیم دانه ارقام نپتون، اکاپی و اکتان به- ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۸ و ۰/۹۳ درصد بود. ارقام کلزا در تیمار کمترین آبیاری در تلقیح با سویه‌های ازتوباکتر بدون اختلاف معنی‌دار باهم، بین ۰/۸۷ تا ۰/۸۳ درصد پتاسیم جذب نمودند (جدول ۳). جذب پتاسیم بیشتر در فراهمی رطوبت ممکن است به دلیل خاصیت محلول‌سازی پتاسیم توسط ازتوباکتر باشد (Kumar *et al.*, 2019).

اثرات متقابل رژیم آبیاری، باکتری و ارقام بر محتوای کلسیم اندام هوایی معنی‌دار نبود، اما بر میزان کلسیم دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، رقم اکاپی در تلقیح با سویه ۷۰ و در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی با ۰/۳۲ درصد، ارقام نپتون، اکتان و اکاپی در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی و در تلقیح با سویه ۶۳، به‌ترتیب با ۰/۳۴، ۰/۳۳ و ۰/۳۵ درصد، بیشترین میزان جذب کلسیم را در دانه کلزا داشتند. کمترین میزان تجمع کلسیم در دانه کلزا در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی در ارقام اکتان و اکاپی بدون تلقیح با ازتوباکتر به‌میزان ۰/۱۹ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). تفاوت در ساختار برگ و ژنتیک می‌تواند در اختلاف

جذب آهن می‌شود (Martins et al., 2003). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان روی دانه در تلقیح با ازتوباکتر و قطع آبیاری به‌دست آمده است، به‌گونه‌ای که در ارقام اکتان و اکاپی در تلقیح با ازتوباکتر سویه ۶۳ و در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی به‌طور مساوی و به‌میزان ۳۷/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. کمترین تجمع روی دانه نیز در ارقام نپتون، اکتان و اکاپی در تیمار بدون ازتوباکتر و قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل-دهی به‌ترتیب به‌میزان‌های ۲۰/۵، ۲۲ و ۲۲ میلی‌گرم بر لیتر تولید شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد همچنان که Tandon (2005) گزارش نمود، وجود عناصر ریزمغذی نظیر روی، به‌علت کارایی آن در تولید هورمون اکسین در کلزا، باعث افزایش شاخه بندی، تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه و درصد روغن شد.

#### مس

اثرات متقابل رژیم آبیاری و باکتری ازتوباکتر و کوکوم بر محتوای مس اندام هوایی کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سویه ۶۳ در تیمارهای قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد خورجین‌دهی و ۳۰ درصد گل‌دهی، بیشترین تجمع مس را در اندام هوایی به‌ترتیب به‌میزان ۷/۳۶ و ۶/۹۵ میلی‌گرم بر لیتر داشتند و کمترین میزان آن نیز از تیمار بدون تلقیح ازتوباکتر در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی به‌میزان ۶/۰۴ به‌دست آمد. وجود رطوبت کافی حاصل از آبیاری کامل، در فعالیت ازتوباکتر در جذب مس در اندام هوایی کلزا محدودیت ایجاد کرد، به‌گونه‌ای که سویه‌های ۶۳ و ۷۰ در آبیاری کامل، تنها ۶/۲۱ و ۶/۳۱ میلی‌گرم بر لیتر مس در اندام هوایی تثبیت نمودند. اثرات متقابل زمان قطع آبیاری، ازتوباکتر و ارقام بر میزان مس اندام هوایی کلزا معنی‌دار نبود، اما بر محتوای مس دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان مس دانه در رقم اکتان و در تلقیح با سویه ۶۳ در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد

بر محتوای منگنز دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). رقم اکاپی در تیمار با سویه ۷۰ و در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین-دهی، بیشترین غلظت منگنز در اندام هوایی به‌میزان ۸۳/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر داشت و در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی، رقم نپتون بدون تلقیح با ازتوباکتر با ۵۴/۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، دارای کمترین میزان تجمع منگنز در بافت سبز اندام هوایی بود (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، رقم نپتون در تلقیح با سویه ۶۳ در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی با ۵۹ میلی‌گرم بر لیتر، بالاترین میزان منگنز ذخیره شده در دانه را داشت. کمترین میزان تجمع منگنز در دانه کلزا نیز به تیمار بدون تلقیح و آبیاری کامل در رقم نپتون تعلق داشت که نشان دهنده موثر بودن عدم تلقیح در کاهش محتوای منگنز دانه است (جدول ۳).

#### روی

اثرات متقابل رژیم آبیاری، باکتری ازتوباکتر و ارقام بر میزان روی اندام هوایی کلزا در سطح احتمال پنج درصد و بر محتوای روی دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، رقم اکاپی در تیمارهای قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی و ۳۰ درصد گل‌دهی در تلقیح با سویه‌های ۶۳ و ۷۰، بیشترین میزان روی (به‌میزان ۶۴/۷۵، ۶۱/۵ و ۵۶/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) را در اندام سبز هوایی داشت و رقم نپتون نیز در تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی در تلقیح با سویه ۶۳ با میانگین ۵۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر، در جایگاه چهارم از نظر تجمع روی در اندام هوایی کلزا قرار گرفت و رتبه پنجم نیز به رقم اکاپی و ازتوباکتر سویه ۷۰ تعلق گرفت (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که تلقیح بذر کلزا با ازتوباکتر و قرار گرفتن در شرایط کمبود رطوبت، باعث تجمع بیشتر روی می‌شود. گزارش شده‌است که در گیاه، روند جذب روی و مس، مشابه پتاس است، اما تنش خشکی باعث کاهش جذب منگنز می‌شود؛ منگنز و آهن از نظر جذب، رابطه عکس با یکدیگر دارند و افزایش جذب منگنز، باعث کاهش

نمودند. این ارقام برای کاشت در شرایط تنش رطوبتی مناسب‌ترند و در شرایط رطوبت کافی نیز ظرفیت تولید عملکرد بالاتری دارند. در آبیاری کامل، به دلیل تأمین رطوبت کافی، میزان جذب و تجمع عناصر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منگنز، روی و مس افزایش داشت و جذب نیتروژن در تیمارهای قطع آبیاری کاهش یافت. در تنش رطوبتی، تجمع پتاسیم در گیاه افزایش یافت، اما تأمین رطوبت همراه با ازتوباکتر، باعث افزایش جذب پتاسیم شد و با جذب پتاسیم بیشتر، عملکرد دانه نیز بیشتر شد. تلقیح بذرهای کلزا با ازتوباکتر، باعث افزایش عملکرد دانه شد، اما این افزایش معنی‌دار نبود. در تلقیح کلزا با ازتوباکتر، به دلیل خاصیت محلول‌سازی ازتوباکتر، جذب نیتروژن، فسفر، پتاس، کلسیم، منیزیم، منگنز، روی و مس افزایش یافت و می‌توان از ازتوباکتر برای بهبود تغذیه کلزا استفاده کرد.

خورجین‌دهی به‌میزان ۴/۲۷ میلی‌گرم بر لیتر و رقم اکاپی در تیمار بدون تلقیح با ازتوباکتر و آبیاری نرمال به میزان ۳/۹۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. و کمترین آن در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی از رقم اکاپی و بدون تلقیح با ازتوباکتر به-میزان ۲/۹۲ میلی‌گرم مشاهده شد (جدول ۳).

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج، شرایط محیطی مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی در کلزا، بر میزان عملکرد دانه اثرگذارند و تنش رطوبتی در این مراحل رشدی، از نظر فیزیولوژیکی باعث کاهش قابل توجه در میزان جذب آب، عناصر غذایی می‌شود و عملکرد دانه کلزا را کاهش می‌دهد. با توجه به پتانسیل ژنتیکی ارقام اکتان و نپتون، در هر دو شرایط قطع آبیاری و آبیاری کامل، عملکرد دانه بیشتری نسبت به شاهد تولید

### REFERENCES

1. Abdul-Majid, S., Rehana, A. & Ghulam, M. (2007). Potassium-calcium inter relationship linked to drought tolerance in wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 39 (1), 609-1621.
2. Arjun, J., Roshan, O. & Sushma, M. (2015). Role of *Azotobacter* in soil fertility and sustainability—a review. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 2 (6), 250–253.
3. Bahrani, A., Pourreza, J. & Hagh, M. (2010). Response of winter wheat to co-inoculation with *Azotobacter* and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 8 (1), 95-103.
4. Benziger, M., Admids, M. & Ramon, D. (2004). *Modification of corn to withstand drought and nitrogen stress* (translated by Rajab Chogan). Publications of the Ministry of Jihad Agriculture, 95 pages.
5. Cakmak, I. & Kirkby, E. (2008). Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photo oxidative damage. *Physiology Planta*, 133, 692-704.
6. Deepak Bhardwaj, M., Ansari, R. K. & Narendra, T. (2014). *Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility. Nitrogen Fixation in Plants*. Chapman and Hall, New York.
7. Emami, A. (1996). Plant decomposition methods. *Technical Journal of Soil and Water Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization*. 982 (1), 28–58. (In Persian)
8. Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M. & Shirani-rad, A. H. (2013). Interaction of water deficit stress and potassium application on potassium, calcium, magnesium concentration and oil of two species of canola (*Brassica napus*) and mustard (*Brassica juncea*). *Journal of Water and Soil Knowledge*, 23 (3), 261-275. (In Persian)
9. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. (2008). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 10, 1051-1059.
10. Ghobadi, M. (2006). *Effect of drought stress and growth end heat on morphological characteristics and yield of rapeseed spring cultivars*. PhD Thesis, Agronomy (Crop Physiology), Ramin Khuzestan Agricultural Educational and Research Complex. (In Persian)
11. Ghodrati, G. (2012). Effect of drought stress on grain yield and quantitative characteristics of promising canola spring genotypes. *Journal of Crop Physiology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, 5 (18), 82-67. (In Persian)
12. Hanson, W. C. (1950). The photometric determination of phosphorus in fertilizers using the phosphor vanadomolybdate complex. *Journal of Science in Food and Agriculture*, 1, 172-173.

13. Jabbari, H, Akbari, G. A., Khosh Kholgh Sima, N. A., AllahdaddI, I., Shirani Rad, A., Tabatabaei, S. A. (2014). Comparison of the antioxidant enzymes and proline roles in drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Oilseed Crop Production Issue*, 1(1), 15-31. (In Persian)
14. Khoshgoftarmanesh, A. H. & Siadat, H. (2002). *Mineral nutrition of vegetables and garden products in saline conditions*. Publishing Center and Agricultural Education Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Pp: 1 -86.
15. Kumar, A., Patel, S., Meena, S. & Ramteke, P. (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria: Strategies to improve abiotic stresses under sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition*, 42 (11), 80-90.
16. Khosravi, H. (2009). Obtaining technical knowledge of Azotobacter biofertilizer production for wheat fields. Final Research Project Report. Soil and Water Research Institute. Journal,. 1450. P. 24. (In Persian)
17. Khosravi, H. (2019). Reaction of maize to inoculation with Azotobacter under drought stress conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33 (1), 29-39. (In Persian)
18. Ma, Q. F., Turner, D. W., Levy, D. & Cowling, W. A. (2004). Solute accumulation and osmotic adjustment in leaves of Brassica oilseeds in response to soil water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55, 939-945.
19. Malakouti, M. J. & Homaei, M. (1993). Soil fertility in dry areas, problems and solutions. 1<sup>th</sup> edition, Tarbiat Modarres University Press, P. 494.
20. Martins, A. L. C., Batagha, O. C., Camargo, O. A. & Contarella, H. (2003). Corn yield and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn from sewage sludge-amend soil with and without liming. *Revista –Basílica-Deiciencia*, 27, 563-574.
21. Nasri, M., Zahedi, H. & Tohidi Moghadam, H. R. (2008). Investigation of water stress on macro elements in Rapeseed Genotypes Leaf (*Brassica napus*). *American Journal Agricultural Biological Science*, 3, 669-672.
22. Omena, B., Oluwaseyi, S., Olanrewaju, O. & Oluranti, B. (2019). Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: Implications for sustainable agriculture. *Agronomy*, 9(11), 712-721.
23. Sardanz, J. & Uelas J. P. (2008). Drought changes nutrient sources, content and stoichiometry in the bryophyte *Hypnum cupressiforme* Hedw. Growing in a Mediterranean forest. *Journal Biological*, 30:59–65.
24. Seyed Ahmadi, A., Bakhshandeh, A. M. & Qarineh, M. H. (2015). Evaluation of physiological characteristics of grain yield in extreme stress conditions under climatic conditions. *Iranian Journal of Crop Research*, 71 (13), 1-80. (In Persian)
25. Seyed Sharifi, R., Zad Zare, Z., Barmaki, M. & Abdi, A. (2016) Evaluation of nitrogen fertilizer application and seed inoculation with azotobacter *Azospirillum* on yield, speed and filling period of maize single cross. *Iranian Seed Science and Research*, 3 (1), 1-15. (In Persian)
26. Shaheen, A. M., Rizk, F. A., Omiaama, B., Sawan, M. & Ghoname, A. (2007). The integrated use of bio-inoculants and chemical nitrogen fertilizer on growth, yield and nutritive value of two Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) cultivars. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(3), 307-312.
27. Sinaki, J., Majidi, H. M. E., Shirani, R. A. H., Noormohamma, G. H. & Zarei, G. H. (2007). The effects of water deficit during growth stages of canola. *American Eurasian Journal Agricultural Biological Science*, 2, 417- 422.
28. Sorouri, M., Ehteshami, S., Rabii, M. & Khavazi, K. (2013). Influence of cooperative strains of Azotobacter chroococum on yield, yield components and quality traits of canola in Rasht. *Agricultural crops*. 15 (1), 149-162. (In Persian)
29. Tandon, H. S. (2005). *Micronutrients in soil, crops, and fertilizers*. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India. P. 138.
30. Umar, S. (2016). Alleviation adverse effects of water stress on yield of sorghum, mustard and groundnut by potassium application. *Pakistan Journal of Botany*, 38 (12), 1373-1380.