نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد چهاردهم، شماره ۳(۵۵)، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۳۸۰-۳۶۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2020.679068

اثر کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر بر خصوصیات کمّی و کیفی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)

زینب امان‌الهی بهاروند[۱]، مرتضی سیاوشی[۲*]، یوسف نیک نژاد[۳]، هرمز فلاح آملی[۳] و مسعود رفیعی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۳

چکیده

کاربرد کودهای زیستی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی، از مهم‌ترین راه‌بردها در کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود. با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی میکوریزا و ازتوباکتر بر خصوصیات کمّی و کیفی ارقام کلزا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در دو منطقه معتدل خرم‌آباد و معتدل سرد الشتر لرستان اجرا گردید. عامل کود زیستی شامل کاربرد میکوریزا، کاربرد ازتوباکتر، کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کود زیستی (شاهد) و عامل رقم شامل ارقام گابریلا، نپتون، اکاپی و اکس‌پاور بودند. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد دانه در منطقه خرم‌آباد به میزان ۴۲۶۵/۷ کیلوگرم در هکتار و در منطقه الشتر به میزان ۴۱۶۸/۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمدند. بیشترین عملکرد دانه و روغن به رقم گابریلا (به‌ترتیب ۴۵۹۹/۷ و ۱۹۲۳/۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن به رقم اکاپی (به ترتیب ۳۸۴۹/۶ و ۱۵۹۱/۰ کیلوگرم در هکتار) در منطقه آزمایش تعلق داشتند. در میان سطوح کود زیستی، بیشترین عملکرد دانه و روغن به کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (به‌ترتیب ۴۴۰۸/۴ و ۱۸۳۱/۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن به عدم کاربرد کود زیستی (به‌ترتیب ۳۹۷۳/۰ و ۱۶۵۰/۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط بودند. در مجموع، با توجه به اثر متقابل سه‌گانه عامل‌ها، رقم گابریلا همراه با کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر برای منطقه معتدل سرد الشتر و رقم اکس‌پاور همراه با کاربرد ازتوباکتر برای منطقه معتدل خرم‌آباد و مناطق مشابه قابل توصیه هستند.

واژگان کلیدی: اکس‌پاور، کاربرد توأم کودهای زیستی، گابریلا، عملکرد دانه، عملکرد روغن.

۱- دانشجوی دکتری، واحد بین المللی آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

۲- استادیار گروه علوم کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) Morteza_siavoshi@yahoo.com

۳- استادیار گروه علوم کشاورزی، واحد بین المللی آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) سومین گیاه روغنی عمده‌ی جهانی پس از سویا و نخل روغنی می‌باشد و به‌دلیل میزان زیاد روغن در دانه و همچنین ترکیب مناسب اسیدهای چرب روغن اصلاح شده، مهم‌ترین گیاه روغنی در بین گونه‌های متعلق به جنس براسیکا است. میزان نیاز کشور به روغن خام بر اساس مصرف سرانه بالای ۲۰ کیلوگرم بالغ بر ۱/۴ میلیون تن روغن تصفیه شده برآورد می‌شود. در سال‌های اخیر میزان روغن حاصل از دانه‌های روغنی تولید داخل حداکثر به ۸۶ هزار تن رسیده است که حدود ۸٪ نیاز روغن خام را تأمین می‌کند. سطح زیر کشت کلزا در کشور در سال ۱۳۹۶ حدود ۱۰۳ هزار هزار هکتار با تولید ۱۸۱/۱ هزار تن روغن بود. استان لرستان با ۱۰۹۱ هکتار سطح زیر کشت، تولیدی معادل ۲۷۷۶ تن داشت. کشت آبی کلزا با استفاده از ارقام پاییزه در مناطق معتدل تا سرد کشور در حال توسعه است که علاوه بر کمک به تأمین بخشی از نیاز کشور به روغن، نقش مهمی در کاهش مصرف آب در مقایسه با گیاهان روغنی بهاره و ورود به تناوب با غلات دارد (Rafiee, 2018).

در مطالعات خان و همکاران (Khan *et al.*, 2000) روی ۳۰ ژنوتیپ کلزا با منشاء متفاوت، همبستگی بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب ۰/۰۳، ۰/۳۹ و ۰/۲۸ گزارش شد. مشاهده شده است علاوه بر اختلاف موجود بین ارقام کلزا از نظر جذب و انتقال مواد فتوسنتزی، در دیگر گیاهان رشد نامحدود مانند کلزا به‌دلیل هم‌زمانی رشد زایشی با رشد رویشی، بین اندام‌ها در جذب مواد فتوسنتزی رقابت وجود دارد و با توجه به تفاوت موجود بین ارقام به نظر می‌رسد ارقامی که سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به اندام‌های اقتصادی خود در کلزا اختصاص دهند، شاخص برداشت بیشتر و کاهش عملکرد کمتری خواهند داشت (Sinaki *et al.*, 2007).

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و در نهایت موجب مسمومیت انسان، دام و آبزیان می‌شود. همچنین، مشکل افزایش دنیتریفیکاسیون در نتیجه سنتز بیشتر گازهای سمی و تخریب لایه حیاتی ازون را به همراه دارد (Martin *et al.*, 2011). ظهور این قبیل اثرات مخرب و بسیاری مسایل دیگر ضرورت تجدید نظر در روش‌های تولید محصولات و لزوم فراهم‌سازی شرایط برای استفاده بیشتر از فرایندهای مفید طبیعی را ایجاب می‌کند. تأمین عناصر غذایی به‌صورت کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ بهداشت محیط زیست و در مجموع، حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی (آب، خاک و منابع انرژی غیر قابل تجدید) از مهم‌ترین دلایل ضرورت استفاده از کودهای زیستی محسوب می‌شود (Nosheen *et al.*, 2013). امروزه مصرف کودهای زیستی به‌عنوان یک جایگزین برای کودهای شیمیایی با هدف افزایش باروری خاک و تولید محصولات در کشاورزی پایدار محسوب می‌شود (Wu *et al.*, 2005). بنابراین، کاربرد کودهای زیستی به‌دلیل مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی و اثرات مخربی که بر چرخه‌های زیستی و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی دارند اجتناب ناپذیر می‌نماید (Kannayan, 2002). به‌طورکلی، کودهای زیستی به مواد حاصل‌خیز کننده‌ای گفته می‌شود که شامل تعداد

کافی از یک یا چند گونه از موجودات زنده مفید خاک‌زی هستند که در بستری از مواد نگه‌دارنده قرار دارند. به عبارت دیگر، این نوع کودها که حاوی گونه‌های میکروبی مؤثر برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه هستند، بازده تولید در واحد سطح را افزایش می‌دهند (Ekram and Salem, 2010). تثبیت نیتروژن موجود در خاک، رهاسازی یون‌های فسفات، آهن، پتاسیم و . . . از ترکیبات نامحلول یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کودهای زیستی به شمار می‌روند. این ریزموجودات در اطراف ریشه گیاه مستقر شده و جذب عناصر غذایی در گیاه را افزایش می‌دهند (Rokhzadi *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2005).

بخشی از میکوریزا جایگاه تبادل فسفر و سایر عناصر غذایی متحرک از ریسه به ریشه گیاه می‌باشد (Smith and Read, 2008). آرباسکولار میکوریزا از نظر بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، قابلیت دست‌یابی به منابع فسفر یا عناصر غیرمتحرک دیگر را فراهم می‌کند. این سازوکار ممکن است منجر به اسیدی شدن ریزوسفر، افزایش فعالیت فسفاتاز ریشه و ترشح ترکیبات همبند شود (Brundrett, 2002). میکوریزا قادر است فسفر غیرقابل جذب در خاک را به‌صورت فسفر قابل استفاده برای گیاه درآورد که آن را می‌توان به فعالیت آنزیم‌های فسفاتازی در میکوریزا، به‌منظور تجزیه فسفات‌های آلی و پیروفسفات‌های غیر آلی نسبت داد (Kizhaeral *et al.*, 2011; Malakoti and Homayee, 2006).

مطالعه تأثیر همزیستی میکوریزا در کاهش اثرات تنش اسمزی گیاهان نشان داد این گیاهان با تغییرات مورفولوژیکی، آناتومیکی و فیزیولوژیکی به تنش‌های اسمزی پاسخ می‌دهند و از این طریق مقاومت به تنش در گیاه افزایش می‌یابد (Ruiz-Lozno, 2003). مطالعات سلولی همزیستی میکوریزا بیان داشت در گیاه میزبان همزیست به واسطه مسیر میکوریزایی، از طریق سلول‌های اپیدرم ریشه و تارهای کشنده ریشه می‌تواند در جذب فسفر به‌طور قابل توجهی تأثیر داشته باشد. نیتروژن قابل دسترس نیز از طریق مسیر میکوریزایی جذب گیاه می‌شود. در حالی که در ارتباط با نقش مسیر انتقال مستقیم و میکوریزایی در جذب نیتروژن کل، مطالعات بیشتر نیاز است (Smith and Smith, 2011).

گزارش شده است تلقیح کلزا با ازتوباکتر در شرایط محدودیت آب موجب افزایش عملکرد دانه کلزا شده است (Gaur, 2001). یساری و همکاران (Yasari *et al.*, 2009) اظهار داشتند با استفاده از ازتوباکتر و آزوسپریلیوم می‌توان مصرف کود شیمیایی را از ۱۵۰ به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش داد. در بررسی آنان با مصرف کودهای زیستی عملکرد دانه، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف، وزن هزار دانه و روغن افزایش و پروتئین کاهش یافت.

تلقیح ترکیبی باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس به طور قابل ملاحظه‌ای گره‌بندی و جذب مواد مغذی در نخود را بهبود می‌بخشد و به جذب بهتر نیتروژن و فسفر و توسعه بهتر ریشه کمک می‌کند. به‌کارگیری ترکیبی این باکتری‌ها سبب افزایش رشد گیاه و در نهایت سبب افزایش بارز عملکرد نخود می‌شود، که امیدی و همکاران (Omidi *et al.*, 2014) دلیل آن را اثرات سینرژیستی تلقیح با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده‌ی فسفات عنوان نموده‌اند. کادر و همکاران (Kader *et al.*, 2002) افزایش عملکرد در اثر تلقیح گندم با ازتوباکتر را تثبیت نیتروژن آمونیوم، فسفات، پتاسیم و آهن، بهبود

توزیع آب در گیاه و افزایش فعالیت نیترات رداکتاز اعلام نموده‌اند.

در مطالعه‌ای اثر متقابل بین قارچ میکوریزایی *G. mosseae* و باکتری *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum* بر رشد و تغذیه گیاه زیتون تلخ نشان داد تلقیح با قارچ میکوریزایی به همراه ازتوباکتر موجب افزایش زیست توده و جذب نیتروژن و فسفر شد (Valentine *et al.*, 2006). اثر مثبت تلفیق کودهای ورمی‌کمپوست و شیمیایی بر عملکرد هیبریدهای ذرت نیز مشاهده شده است (Amanolahi Baharvand *et al.*, 2014). صفات کیفی گلرنگ تحت تأثیر کاربرد ازتوباکتر و همزیستی میکوریزایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. اثر اصلی ازتوباکتر و قارچ گلوموس بر صفات در روغن دانه، عملکرد روغن دانه، درصد فسفر دانه، درصد کلونیزاسیون ریشه و وابستگی میکوریزایی در گلرنگ تأثیر معنی‌دار داشت (Omidi *et al.*, 2014).

در بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی و نیتروژن در کلزا معلوم شد ترکیب کودی تلقیح بذر با ازتوباکتر و آزوسپریلوم و کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن را تولید کرد که نسبت به تیمار شاهد یا عدم مصرف نیتروژن و عدم تلقیح بذر با باکتری ۱۷۰/۵۸٪ افزایش داشت (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016). در بررسی اثر کودهای زیستی فسفر بارور -۲ و شیمیایی فسفر در گلرنگ در شرایط تنش خشکی مشاهده شد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر مصرف بالای کود فسفر در تیمار عدم به کارگیری کود زیستی در شرایط تنش رویشی و زایشی افزایش یافت و باعث بهبود رشد و عملکرد دانه و روغن گردید (Heshmati *et al.*, 2016).

هدف از اجرای این آزمایش بررسی واکنش ارقام کلزا به کاربرد میکوریزا و ازتوباکتر به‌منظور مدیریت صحیح و پایدار تغذیه‌ای گیاه در دو منطقه معتدل و معتدل سرد بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش در دو منطقه معتدل خرم‌آباد و معتدل سرد الشتر سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. شهرستان خرم‌آباد دارای عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۱۹۵ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه بر اساس آمار هواشناسی ۳۵ ساله ۵۱۶ میلی‌متر و میانگین دمای دراز مدت ۱۶/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. شهرستان الشتر دارای عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۶۷ می‌باشد و با داشتن زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزو مناطق نیمه خشک کشور محسوب می‌گردد. آمار هواشناسی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ شامل دماهای حداکثر مطلق، میانگین حداکثر، میانگین ماهانه، میانگین حداقل و حداقل مطلق ماهانه در دو منطقه خرم‌آباد و الشتر در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۲ نیز آمار بارندگی ماهانه سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو منطقه خرم‌آباد و الشتر آورده شده است. مجموع بارندگی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در منطقه خرم‌آباد ۴۱۵/۵ و در منطقه الشتر ۵۰۷/۱ میلی‌متر بود (شکل ۲)، و بقیه نیاز آبی گیاه از طریق آبیاری تأمین شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد.

عامل‌ها شامل کود زیستی (کاربرد میکوریزا، ازتوباکتر، کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کود زیستی) و رقم (گابریلا، نپتون، اکاپی و اکس‌پاور) بودند. ارقام مورد استفاده در این آزمایش از ارقام اصلاح شده تولید داخل بودند. ارقام گابریلا و اکاپی آزاد گرده‌افشان و ارقام نپتون و اکس‌پاور هیبرید می‌باشند.

قبل از اجـرای آزمایش از خاک مزرعه نمونه‌برداری شد. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزارع آزمایشی دو منطقه خرم‌آباد و الشتر (عمق ۳۰-صفر سانتی‌متر) در جداول ۱ و ۲ آمده است. در تیمار شاهد، تنها از کود شیمیایی از منبع فسفات آمونیوم به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار طبق آزمون خاک مصرف گردید. مایه تلقیح میکوریزایی به‌صورت اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و ریشه) و به همراه ازتوباکتر استفاده گردید. بذرها قبل از کاشت با ترکیبات بیولوژیک مذکور تلقیح شدند. کشت به‌صورت مسطح بود و هر کرت شامل شش ردیف کـاشت به فاصله ۶۰ سانتی‌متر و طول ۶ متر در نظر گرفته شد. فاصله تکرارها ۲ متر و فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۱/۵ متر در نظر گرفته شد.

کود سرک نیتروژن از منبع اوره در دو مرحله روزت و ساقه‌دهی و سولفات آمونیوم در مرحله گلدهی هر بار به میزان ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت سرک مصرف شد. کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ با استفاده از علف‌کش سوپر گالانت با غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله روزت صورت پذیرفت.

در زمان برداشت، نمونه‌ای شامل ۱۰ بوته از هر کرت برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک برداشت شد. عملکرد دانه نیز با برداشت چهار ردیف وسط هر کرت با رعایت نیم‌متر حاشیه از طرفین اندازه‌گیری گردید. صفات اندازه‌گیری شده در گیاه کلزا شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین بودند. درصد روغن با استفاده از دستگاه سوکسوله با روش یانیو و همکاران (Yaniv *et al*., 1999) و درصد نیتروژن دانه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر با روش برمنر و مالوانی (Bremner and Mulvaney, 1982) روی نمونه‌های ارسال شده به آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. عملکرد روغن و عملکرد پروتئین به‌ترتیب از حاصل‌ضرب درصد روغن و درصد پروتئین دانه در عملکرد دانه به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: ارتفاع بوتـه تحـت تـأثیر عوامـل آزمایـشی قـرار نگرفـت (جـدول ۳)، امـا مقایـسه میانگین‌ها نشان داد متوسط ارتفاع بوته در منطقه خرم‌آباد (۱۶۵/۰ سـانتی‌متـر) برتـری معنـی‌داری نسبت به منطقه الشتر (۱۵۳/۰ سانتی‌متر) داشـت (جدول ۴). علت ارتفاع بیشتر در منطقه خرم‌آبـاد را می‌توان به شرایط مطلوب‌تر آب و هـوایی بـرای رشد رویشی کلزا در مقایسه با الـشتر نـسبت داد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، درجـه حرارت‌های ماهانه در منطقه معتـدل سـرد الـشتر کمتر از منطقه معتدل خرم‌آبـاد بـود، کـه خـود مـی‌توانـد موجـب بـروز تـنش سـرما و در نهایـت کاهش سرعت رشد و درنتیجـه افـت خـصوصیاتی مانند ارتفاع بوته در کلزا گردد. برای مثال، حداقل

درجه حرارت مطلق که در بهمن ماه حادث شد، در خرم‌آباد ۱۱/۵- درجه سلسیوس و در الشتر ۲۱/۲- درجه سلسیوس بود که تفاوتی حدود ۱۰ درجه سلسیوس را نشان داد (شکل ۱).

در میان سطوح کود زیستی، بیشترین ارتفاع بوته به کاربرد ازتوباکتر (۱۶۳/۳ سانتی‌متر) و کمترین آن به کاربرد جداگانه میکوریزا و ازتوباکتر (۱۵۷/۰ سانتی‌متر) تعلق داشت (جدول ۴). تأثیر مثبت کود زیستی در رشد و ارتفاع بوته توسط دیگر محققان عنوان شده است (Mostafavian *et al.*, 2008).

اجزای عملکرد: در این آزمایش، تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر کود زیستی قرار گرفت، اما تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه تحت تأثیر عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۳). اگرچه اثر منطقه بر اجزای عملکرد دانه معنی‌دار نبود، لیکن بر اساس مقایسه میانگین‌ها، متوسط تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در منطقه خرم‌آباد (به‌ترتیب ۲۷۱/۹ و ۲۸/۸ عدد) برتری معنی‌داری نسبت به منطقه الشتر (به‌ترتیب ۲۲۹/۴ و ۲۶/۷ عدد) داشت (جدول ۴). با توجه به آمار هواشناسی (شکل ۱) مرحله زایشی در خرم‌آباد با درجه حرارت‌های بالاتری در مقایسه با منطقه معتدل سرد الشتر مواجه بوده که منجر به افزایش این دو جزء عملکرد دانه در خرم‌آباد گردیده است. در میان سطوح کود زیستی، بیشترین تعداد دانه در غلاف به کاربرد جداگانه میکوریزا و ازتوباکتر (به ترتیب ۲۸/۱ و ۲۸/۲ عدد) و کمترین آن به کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کود زیستی (۲۷/۲ عدد) تعلق داشت (جدول ۴). تعداد دانه در غلاف یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد کلزا می‌باشد. هرچه تعداد دانه در بوته افزایش پیدا کند، مخزن بزرگ‌تری برای مواد فتوسنتزی تولید شده توسط گیاه ایجاد می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌شود. عکس‌العمل کلزا به شرایط محیطی از جمله شرایط آب و هوایی منطقه، نوع خاک، رطوبت خاک و همچنین ژنوتیپ مشهود است (Ozer, 2003)، که مؤید نتایج تحقیق حاضر است. نقش مثبت کود زیستی در افزایش تعداد دانه پیش از این گزارش شده است (Mostafavian *et al.*, 2008). به‌نظر می‌رسد دلیل کاهش تعداد دانه در غلاف با کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر ناشی از ایجاد توازن با دیگر اجزای عملکرد دانه باشد.

وزن هزار دانه تحت تأثیر عوامل آزمایشی قرار نگرفت، اما مقایسه میانگین ارقام نشان داد حداکثر وزن هزار دانه بدون تفاوت معنی‌دار از ارقام اکس‌پاور و گابریلا (به‌ترتیب ۲/۹۱ و ۲/۸۶ گرم) حاصل و حداقل آن بدون تفاوت معنی‌دار از ارقام نپتون و اکاپی (به‌ترتیب ۲/۶۹ و ۲/۷۲ گرم) به‌دست آمد (جدول ۴). ملاحظه می‌گردد واکنش ارقام از نظر وزن هزار دانه متفاوت بوده است که ناشی از اثر ژنتیک و ایجاد توازن با دیگر اجزای عملکرد دانه می‌باشد. بین ارقام کلزا از نظر عملکرد و اجزای عملکرد دانه تفاوت معنی‌دار گزارش شده است (Zlatko and Zdenko, 2006).

عملکرد دانه: عملکرد دانه در این بررسی به‌طور معنی‌داری تحت اثر ساده کود زیستی و اثر متقابل سه گانه منطقه در رقم در کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه منطقه در کود زیستی در رقم نشان داد حداکثر عملکرد دانه در منطقه معتدل سرد الشتر از رقم گابریلا و کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر با میانگین ۵۲۱۱/۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد، که تفاوت معنی‌داری با رقم اکس‌پاور و کاربرد ازتوباکتر در منطقه معتدل خرم‌آباد با میانگین

۵۰۲۰/۰ کیلوگرم در هکتار نداشت. حداقل عملکرد دانه در منطقه معتدل سرد الشتر از رقم اکاپی و عدم کاربرد کود زیستی با میانگین ۳۰۲۷/۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۵). علت تولید بیشترین عملکرد دانه در منطقه الشتر را می‌توان به شرایط مطلوب‌تر آب و هوایی برای گلدهی و پر شدن دانه رقم گابریلا در شرایط کاربرد توأم کودهای زیستی در مقایسه با خرم‌آباد نسبت داد، زیرا به‌نظر می‌رسد میانگین درجه حرارت‌های حداکثر و حداکثر مطلق در این مراحل نموی برای رقم گابریلا در خرم‌آباد محدود کننده‌تر بوده اما درجه حرارت‌های حداقل محدود کننده نبوده‌اند. به‌عبارت دیگر، اگرچه درجه حرارت‌های حداقل و حداقل مطلق در طول دوره رویشی در منطقه معتدل سرد الشتر (شکل ۱) محدودیت بیشتر ایجاد می‌کند، لیکن این منطقه شرایط دمایی مناسب‌تری در مراحل زایشی و پر شدن دانه برای رقم گابریلا فراهم می‌سازد. بالعکس، رقم اکس‌پاور با کاربرد ازتوباکتر در منطقه معتدل خرم‌آباد واکنش بهتری به درجه حرارت‌های حداکثر در بهار نشان داد و عملکرد دانه بیشتری نسبت به منطقه معتدل سرد الشتر تولید نمود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد رقم گابریلا سرما دوست‌تر از رقم اکس‌پاور می‌باشد. در کل، متوسط عملکرد دانه در منطقه خرم‌آباد (۴۲۶۵/۷ کیلوگرم در هکتار) با منطقه الشتر (۴۱۶۸/۰ کیلوگرم در هکتار) فاقد تفاوت معنی‌دار بود. در میان ارقام، بیشترین عملکرد دانه به رقم گابریلا (۴۵۹۹/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن به رقم اکاپی (۳۸۴۹/۶ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت. برآیند اجزای عملکرد تعیین کننده عملکرد دانه می‌باشد. کاهش در اجزای عملکرد دانه ناشی از محدودیت در رشد رویشی و زایشی، منجر به افت عملکرد دانه در واحد سطح می‌گردد. در میان اجزای عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته بالاتر در رقم گابریلا و برآیند مناسب دو جزء دیگر موجب برتری این رقم نسبت به سایر ارقام گردید.

در میان سطوح کود زیستی، بیشترین عملکرد دانه به کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر (۴۴۰۸/۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن به عدم کاربرد کود زیستی (۳۹۷۳/۰ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت. در تحقیق اصلانی و همکاران (Aslani *et al.*, 2011) همزیستی با قارچ میکوریزایی، عملکرد ماده تر و خشک گیاه را هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش افزایش داد. این افزایش عملکرد به بهبود رشد رویشی گیاه در نتیجه بهبود روابط آبی و تغذیه گیاه، به‌ویژه فسفر نسبت داده شده است. اثر مثبت و مستقیم باکتری ازتوباکتر و کاربرد توأم کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بر عملکرد کلزا (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016; Yasari *et al.*, 2009; Gaur, 2001)، ذرت و ارزن (Martin *et al.*, 2011)، آفتابگردان (Soleimanzadeh *et al.*, 2010) نیز گزارش شده است. افزایش عملکرد در اثر تلقیح با ازتوباکتر ناشی از تثبیت نیتروژن آمونیوم، فسفات، پتاسیم و آهن، بهبود توزیع آب در گیاه و افزایش فعالیت نیترات ریدوکتاز اعلام شده است (Kader *et al.*, 2002). دلیل افزایش عملکرد در اثر کاربرد توأم کودهای زیستی اثرات هم‌افزایی آنها ذکر شده است (Omidi *et al.*, 2014).

شاخص برداشت: شاخص برداشت که سهم عملکرد دانه از عملکرد بیولوژیک می‌باشد، تحت تأثیر اثرات متقابل دوگانه منطقه در رقم، منطقه در کود زیستی و رقم در کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). در میان ارقام، بیشترین شاخص

برداشت به رقم گابریلا (۲۷٪) بدون تفاوت معنی‌دار با رقم اکس‌پاور و کمترین آن به رقم اکاپی (۲۵٪) تعلق داشت، که ناشی از اثر ژنتیک است. عملکرد دانه بالا در ارقام گابریلا و اکس‌پاور و همچنین نسبت بالاتر عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک موجب افزایش شاخص برداشت این ارقام در مقایسه دو رقم نپتون و اکاپی شد. در میان سطوح کود زیستی، بیشترین شاخص برداشت در تیمار کاربرد توأم مایکوریزا و ازتوباکتر (۲۷٪) به‌دست آمد و کمترین آن در تیمار کاربرد میکوریزا (۲۵٪) مشاهده شد.

مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در رقم نشان داد حداکثر شاخص برداشت از رقم گابریلا در منطقه معتدل سرد الشتر (۲۷/۱٪) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاخص برداشت همین رقم در خرم‌آباد و رقم اکاپی در هر دو منطقه خرم‌آباد و الشتر نداشت و حداقل آن از رقم اکس‌پاور در منطقه معتدل سرد الشتر (۲۴/۴٪) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با شاخص برداشت رقم نپتون در منطقه خرم‌آباد نداشت (شکل ۳). ملاحظه می‌گردد واکنش ارقام گابریلا و اکاپی در دو منطقه از نظر شاخص برداشت یکسان بود، ولی واکنش ارقام اکس‌پاور و نپتون در دو منطقه تفاوت داشت. این موضوع نشان‌دهنده نسبت بالاتر عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک دو رقم گابریلا و اکاپی در شرایط متفاوت دو منطقه است، اما این نسبت برای ارقام اکس‌پاور و نپتون تابع منطقه بود. بین ارقام کلزا از نظر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت تفاوت معنی‌دار گزارش شده است (Zlatko and Zdenko, 2006).

مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در کود زیستی نشان داد حداکثر شاخص برداشت از کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر در منطقه معتدل سرد الشتر (۲۷/۲٪) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاخص برداشت تیمار کاربرد ازتوباکتر در هر دو منطقه خرم‌آباد و الشتر و عدم کاربرد کود زیستی در خرم‌آباد نداشت و حداقل آن از کاربرد میکوریزا در هر دو منطقه خرم‌آباد و الشتر (به‌ترتیب ۲۵/۱٪ و ۲۴/۸٪) به‌دست آمد (شکل ۴). هم‌افزایی اثر کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر در افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک موجب ایجاد حداکثر شاخص برداشت در منطقه معتدل سرد الشتر گردید، لیکن کاربرد میکوریزا موجب افزایش بیشتر عملکرد بیولوژیک نسبت به عملکرد دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت در هر دو منطقه گردیده است.

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در کود زیستی نشان داد حداکثر شاخص برداشت از رقم اکاپی با کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کود زیستی (به‌ترتیب ۲۷/۲٪ و ۲۷/۶٪) حاصل شد و حداقل آن از رقم اکس‌پاور با کاربرد میکوریزا و عدم کاربرد کود زیستی (به‌ترتیب ۲۲/۷٪ و ۲۳/۶٪) به‌دست آمد (شکل ۵).

یافته‌های کاپور و همکاران (Karpour *et al.*, 2004)، یساری و همکاران (Yasari *et al.*, 2009)، حسن‌زاده قورت تپه و جوادی (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016) نیز مؤید هم‌افزایی اثر کاربرد توأم کودهای زیستی بود. دلیل کاهش در شاخص برداشت ناشی از کاربرد میکوریزا و عدم کاربرد کود زیستی را می‌توان در افزایش بیشتر عملکرد بیولوژیک همراه با عملکرد دانه و در نتیجه کاهش نسبت آن دو جستجو نمود. بنابر اظهارات کارپور و همکاران (Karpoor *et al.*, 2004) و گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 2002)، بهبود جذب آب و عناصر

معدنی در گیاهان میزبان میکوریزایی اغلب منجر به پاسخ‌های رشدی مثبت در این گیاهان می‌شود که عمدتاً در افزایش رشد و عملکرد بیولوژیک خود را نشان می‌دهد.

درصد روغن: درصد روغن در این بررسی به‌طور معنی‌داری تحت اثر متقابل سه گانه منطقه در رقم در کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). متوسط درصد روغن در هر دو منطقه خرم‌آباد و الشتر ۴۱۵/۵٪ بود. در میان ارقام، بیشترین درصد روغن به رقم گابریلا (۴۱/۸٪) و کمترین آن به رقم نپتون (۴۱/۳۶ ٪) تعلق داشت (جدول ۵)، که ناشی از اثر ژنتیک است. در میان سطوح کود زیستی، بیشترین درصد روغن به کاربرد توأم کودهای زیستی (۴۱/۵۵ ٪) و کمترین آن به کاربرد میکوریزا (۴۱/۴۶ ٪) بدون تفاوت معنی‌دار تعلق داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه منطقه در کود زیستی در رقم نشان داد در منطقه خرم‌آباد درصد روغن رقم نپتون واکنش معنی‌داری به سطوح کود زیستی نشان نداد. درصد روغن رقم اکس‌پاور کاربرد ازتوباکتر پایین و کاربرد توأم کودهای زیستی بالا بود. درصد روغن رقم اکاپی در سطوح کود زیستی پایین و در تیمار شاهد بالا بود. اما حداکثر درصد روغن از رقم گابریلا و کاربرد ازتوباکتر با میانگین ۴۳/۵٪ به‌دست آمد و حداقل درصد روغن از رقم اکاپی با کاربرد توأم کودهای زیستی با میانگین ۳۹/۶٪ حاصل شد (جدول ۵). در منطقه سرد الشتر واکنش درصد روغن به کاربرد کود زیستی متفاوت بود. حداکثر درصد روغن در منطقه سرد الشتر از رقم گابریلا و عدم کاربرد کود زیستی با میانگین ۴۳/۷٪ و حداقل آن از رقم نپتون و عدم کاربرد کود زیستی با میانگین ۳۸/۴٪ حاصل شد. درصد روغن رقم اکاپی واکنش معنی‌داری به سطوح کود زیستی نشان نداد (جدول ۵).

بنابر اظهارات یساری و همکاران (Yasari *et al.*, 2009)، حسن‌زاده قورت تپه و جوادی (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016) و گائور (Gaur, 2001) با مصرف ازتوباکتر، درصد روغن در کلزا افزایش یافت.

درصد پروتئین دانه: درصد پروتئین دانه در این بررسی به‌طور معنی‌داری تحت اثر متقابل سه گانه منطقه در رقم در کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه منطقه در کود زیستی در رقم نشان داد در منطقه خرم‌آباد درصد پروتئین رقم گابریلا واکنش معنی‌داری به سطوح کود زیستی نشان نداد. درصد پروتئین ارقام اکاپی و اکس‌پاور با کاربرد توأم کودهای زیستی پایین آمد. اما حداکثر درصد پروتئین از رقم نپتون و کاربرد میکوریزا یا ازتوباکتر با میانگین ۲۴/۸٪ به‌دست آمد و حداقل درصد پروتئین از رقم اکاپی با کاربرد توأم کودهای زیستی با میانگین ۲۱/۷٪ حاصل شد (جدول ۵). در منطقه سرد الشتر واکنش درصد پروتئین به کاربرد کود زیستی متفاوت بود. درصد پروتئین ارقام اکاپی و اکس‌پاور با کاربرد توأم کودهای زیستی پایین آمد ولی درصد پروتئین ارقام گابریلا و نپتون با کاربرد توأم کودهای زیستی بالا رفت. حداکثر درصد پروتئین دانه در منطقه سرد الشتر از رقم گابریلا و کاربرد توأم کود زیستی با میانگین ۲۵/۱٪ به‌دست آمد و حداقل درصد پروتئین دانه در این منطقه از رقم اکاپی و عدم کاربرد کود زیستی با میانگین ۲۱/۶٪ حاصل شد (جدول ۵).

یساری و همکاران (Yasari *et al.*, 2009) اظهار داشتند با استفاده از کودهای زیستی

ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در کلزا درصد روغن افزایش و پروتئین کاهش یافت. در این بررسی واکنش ارقام به سطوح مختلف کودی در دو منطقه متفاوت بود که با اظهارات طوسی و همکاران (Tousi *et al.*, 2015) مطابقت دارد.

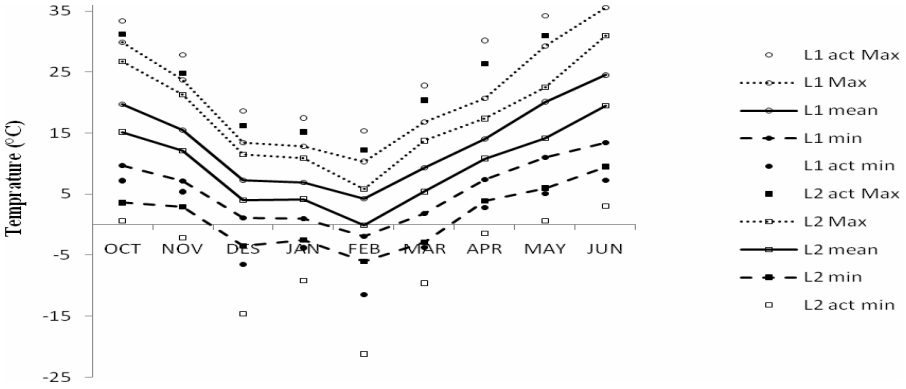
عملکرد روغن: عملکرد روغن به‌طور معنی‌داری تحت اثر ساده رقم و اثر متقابل سه گانه منطقه در رقم در کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه منطقه در کود زیستی در رقم نشان داد حداکثر عملکرد روغن در منطقه معتدل سرد الشتر از رقم گابریلا و کاربرد توأم کود زیستی با میانگین ۲۱۵۱/۷ کیلوگرم در هکتار بدون تفاوت معنی‌داری با رقم اکس‌پاور با کاربرد ازتوباکتر در منطقه معتدل خرم‌آباد (۲۰۱۲/۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و حداقل عملکرد روغن در منطقه معتدل سرد الشتر از رقم اکاپی و عدم کاربرد کود زیستی با میانگین ۱۲۹۶/۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۵). متوسط عملکرد روغن در منطقه معتدل خرم‌آباد ۱۷۶۹/۶ کیلوگرم در هکتار و در منطقه الشتر معتدل سرد ۱۷۳۰/۱ کیلوگرم در هکتار بود. در میان ارقام، بیشترین عملکرد روغن به رقم گابریلا (۱۹۲۳/۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن به رقم اکاپی (۱۵۹۱/۰ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت. در میان سطوح کود زیستی، بیشترین عملکرد روغن متعلق به کاربرد توأم کودهای زیستی (۱۸۳۱/۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن متعلق به عدم کاربرد کودهای زیستی (۱۶۵۰/۱ کیلوگرم در هکتار) بود. عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به‌دست آمد. هر عاملی که روی این دو جزء تأثیر گذارد، بر عملکرد روغن که هدف اصلی کشت دانه روغنی کلزا می‌باشد تأثیر می‌گذارد. تغییرات عملکرد روغن تحت تأثیر عوامل آزمایشی در این بررسی عمدتاً مشابه عملکرد دانه بود، که با اظهارات گائور (Gaur, 2001)، یساری و همکاران (Yasari *et al.*, 2009)، حسن‌زاده قورت تپه و جوادی (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016) مبنی بر اثر مثبت مصرف ازتوباکتر بر درصد روغن در کلزا مطابقت دارد. به‌گزارش امیدی و همکاران (Omidi *et al.*, 2014) هم‌افزایی کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر موجب افزایش عملکرد روغن در گلرنگ گردید.

عملکرد پروتئین: عملکرد پروتئین در این بررسی به‌طور معنی‌داری تحت اثر متقابل سه گانه منطقه در رقم در کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه منطقه در کود زیستی در رقم نشان داد حداکثر عملکرد پروتئین در منطقه معتدل معتدل سرد الشتر از رقم گابریلا و کاربرد توأم کود زیستی با میانگین ۱۳۰۷/۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و حداقل عملکرد پروتئین در منطقه معتدل سرد الشتر از رقم اکاپی و عدم کاربرد کود زیستی با میانگین ۶۶۱/۹ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۵). متوسط عملکرد پروتئین در منطقه خرم‌آباد (۹۸۲/۵ کیلوگرم در هکتار) فاقد تفاوت معنی‌دار با منطقه الشتر (۹۸۵/۷ کیلوگرم در هکتار) بود. در میان ارقام، بیشترین عملکرد پروتئین به ارقام گابریلا و اکس‌پاور (به‌ترتیب ۱۰۵۹/۴ و ۱۰۲۶/۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن به ارقام نپتون و اکاپی (۹۵۱/۶ و ۸۹۹/۵ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت. در میان سطوح کود زیستی، بیشترین عملکرد پروتئین متعلق به کاربرد توأم کودهای زیستی (۱۰۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن متعلق به عدم کاربرد

کودهای زیستی (۹۳۰/۱ کیلوگرم در هکتار) بود. عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه به‌دست آمد. هر عاملی که روی این دو جزء تأثیر گذارد، بر عملکرد پروتئین که محصول جنبی دانه روغنی کلزا می‌باشد و در تغذیه دام و طیور کاربرد دارد تأثیر می‌گذارد، که با اظهارات گائور (Gaur, 2001) و حسن‌زاده قورت تپه و جوادی (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016) مطابقت دارد. اختلافات ژنتیکی معنی‌داری در عملکرد و کارایی مصرف کود بین ارقام کلزا وجود دارد (Zlatko and Zdenko, 2006). عکس‌العمل کلزا به کود بستگی به شرایط محیطی از جمله شرایط آب و هوایی منطقه، نوع خاک، رطوبت خاک و همچنین ژنوتیپ دارد (Ozer, 2003). یساری و همکاران (Yasari *et al.*, 2009) اظهار داشتند با استفاده از کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپریلیوم در کلزا درصد روغن افزایش و پروتئین کاهش یافت. در این بررسی، واکنش ارقام به سطوح مختلف کودی در دو منطقه متفاوت بود و تغییرات عملکرد پروتئین مشابه عملکرد دانه بود که با اظهارات طوسی و همکاران (Tousi *et al.*, 2015) مطابقت دارد.

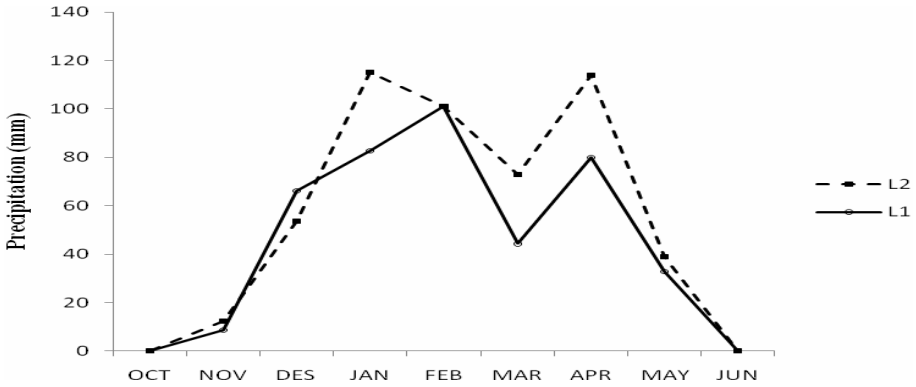
نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش نشان دادند شرایط دمایی منطقه معتدل خرم‌آباد نسبت به منطقه معتدل سرد الشتر برای رشد و عملکرد دانه، روغن و پروتئین در کلزا مناسب‌تر بوده و گیاه در طول چرخه زندگی خود کمتر با درجه حرارت‌های بحرانی و محدود کننده مواجه می‌شود. در میان ارقام نیز رقم گابریلا به‌واسطه برآیند مناسب‌تر اجزای عملکرد از تولید بالاتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بود. کاربرد توأم کودهای زیستی نیز به‌دلیل اثر هم‌افزایی در جذب آب و عناصر غذایی، نقش بارزی در بهبود کمّی و کیفی تولید کلزا داشت. در مجموع، با توجه به اثر متقابل سه گانه عامل‌ها، رقم گابریلا همراه با کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر برای معتدل سرد الشتر و رقم اکس‌پاور همراه با کاربرد ازتوباکتر برای منطقه معتدل خرم‌آباد و مناطق مشابه قابل توصیه است.



شکل ۱- درجه حرارت ماهانه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵. L1 و L2: به‌ترتیب مناطق خرم‌آباد و الشتر

Figure 1- Monthly temprature in agronomic year 2016-17. L1 and L2: Khoramabad and Aleshtar locations, respectively



شکل ۲- متوسط بارندگی ماهانه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵. L1 و L2: به‌ترتیب مناطق خرم‌آباد و الشتر

Figure 2- Monthly mean precipitation in agronomic year 2016-17. L1 and L2: Khoramabad and Aleshtar locations, respectively.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک

Table 1- Chemical characteristics of soil

Location منطقه	K mg kg^{-1}	P mg kg^{-1}	OC (%)	Zn mg kg^{-1}	Fe mg kg^{-1}	Cu mg kg^{-1}	OC (%)	T. N.V (%)	pH	EC × 10^3 (ds m^{-1})
Khorramabad خرم آباد	248	3.5	0.95	0.45	18	2.0	0.95	37.1	7.3	0.51
Aleshtar الشتر	315	2.2	0.96	0.32	21	1.8	0.96	34.3	7.8	0.74

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک

Table 2- Physical characteristics of soil

Location منطقه	Sand شن (%)	Silt سیلت (%)	Clay رس (%)	بافت خاک Soil Texture	F.C (%)	P.W.P (%)
Khorramabad خرم آباد	19	46	35	Silty- Clay	28	13
Aleshtar الشتر	22	40	31	Silty- Clay	25	11

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده در کلزا

Table 3- Combined analysis of variance of measured traits in canola

S.O.V. منابع تغییرات	df درجه آزادی	Height ارتفاع	pod per plant تعداد غلاف	Grain per pod دانه در غلاف	1000-grain weight وزن هزار دانه	Grain yield عملکرد دانه	Harvest Index شاخص برداشت
Location (L) منطقه	1	3466.08	43296.42	116.92	0.3626	228771	0.0137
Replication (R) تکرار	4	709.34	2876.57	29.74	0.3542	896834	1.8193
Variety (V) رقم	3	89.06	1432.82	3.29	0.2682	2500918**	20.0271
Bio-fertilizer (BF) کود زیستی	3	226.56	127.84	7.35*	0.6511	785805	12.8097
L × V	3	378.42	626.16	1.46	0.2644	63726	4.8710*
L × BF	3	102.36	1354.90	0.50	0.1135	237524	5.2452*
V × BF	9	116.09	1266.56	5.09	0.1947	211693	8.1662**
L × V × BF	9	120.61	956.23	10.19	0.0868	442302**	1.0402
Error خطا	60	106.32	1845.81	6.13	0.0560	69360	1.8388
C.V.% ضریب تغییرات		6.48	17.14	8.95	8.46	16.25	5.21

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪و ۱٪.

ns,* and **: Not significant and significant at at p<0.05 and P<0.0.1, respectively.

ادامه جدول ۳-

Table 3- Continued

S.O.V. منابع تغییرات	Df درجه آزادی	Grain Oil روغن دانه	Grain Protein پروتئین دانه	Oil Yield عملکرد روغن	Protein Yield عملکرد پروتئین
Location (L) منطقه	1	0.0704	6.6150	37344	241.98
Replication (R) تکرار	4	1.2742	0.0763	159599	50932.55
Variety (V) رقم	3	0.9992	1.7515	489765*	125211.32
Bio-fertilizer (BF) کود زیستی	3	0.0364	0.0449	134749	41212.29
L × V	3	15.2651	9.7483	24150	29221.98
L × BF	3	0.3618	3.3633	41872	30896.65
V × BF	9	4.0894	5.8478	24979	33015.11
L × V × BF	9	8.0447**	2.8307**	82551**	28974.98**
Error خطا	60	1.2973	0.2889	15246	3428.03
C.V.% ضریب تغییرات		12.74	12.30	17.06	15.95

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪و ۱٪.

ns,* and **: Not significant and significant at at p<0.05 and P<0.0.1, respectively.

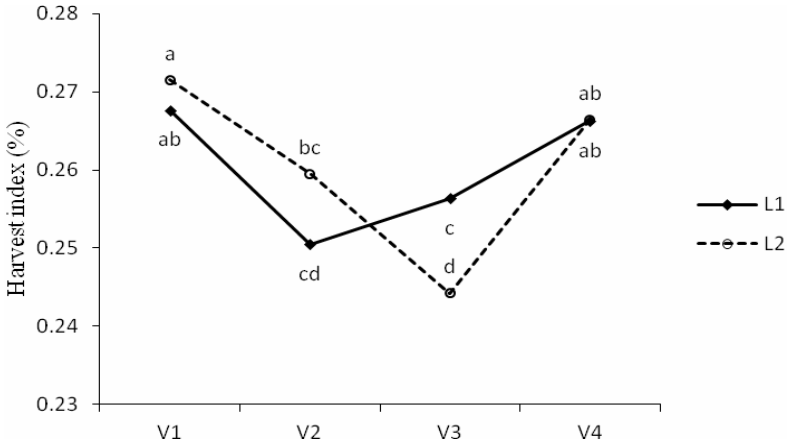
جدول ۴- مقایسه میانگین اثر منطقه، رقم و کود زیستی بر ارتفاع، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه

Table 4- Mean comparison of effect of location, variety and bio-fertilizer on height, pod number per plant, grain number per pod and 1000-grain weight

Treatment تیمار		ارتفاع Height (cm)	تعداد غلاف Pod number per plant	دانه در غلاف Grain number per pod	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)
Location منطقه	Khorramabad خرم آباد	165.0a	271.8a	28.77a	2.73a
	Aleshtar الشتر	153.0b	229.3b	26.56b	2.86a
Variety رقم	Gabriella گابریلا	160.5a	262.0a	27.3a	2.86a
	Nepton نپتون	156.8a	248.6a	27.3a	2.72b
	Okapi اکاپی	160.8a	245.4a	27.9a	2.69b
	XPower اکس پاور	157.9a	246.3a	28.0a	2.91a
Bio-fertilizer کود زیستی	Mycorrhiza میکوریزا	157.1b	251.5ab	28.1a	2.83b
	Azotobacter ازتوباکتر	163.3a	249.6ab	28.1a	2.75b
	Mycorrhiza + Azotobacter	156.6b	247.9b	27.2b	2.99a
	Non-application of bio-fertilizer عدم مصرف	158.9ab	253.2a	27.1b	2.60c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Dancan's Multiple Range Test.

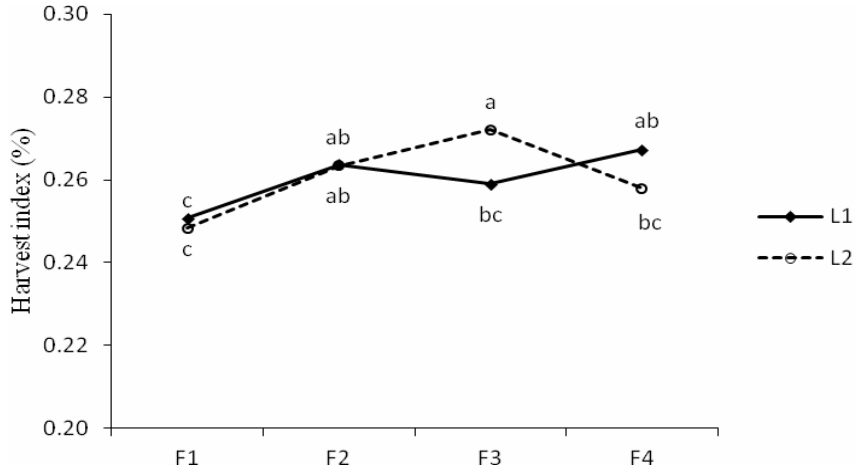


شکل ۳- مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در رقم بر شاخص برداشت

Figure 3- Mean comparison of location × variety interaction on harvest index of canola

L1 و L2: به‌ترتیب منطقه خرم‌آباد و الشتر؛ V1 الی V4: به‌ترتیب ارقام گابریلا، نپتون، اکاپی و اکس‌پاور.

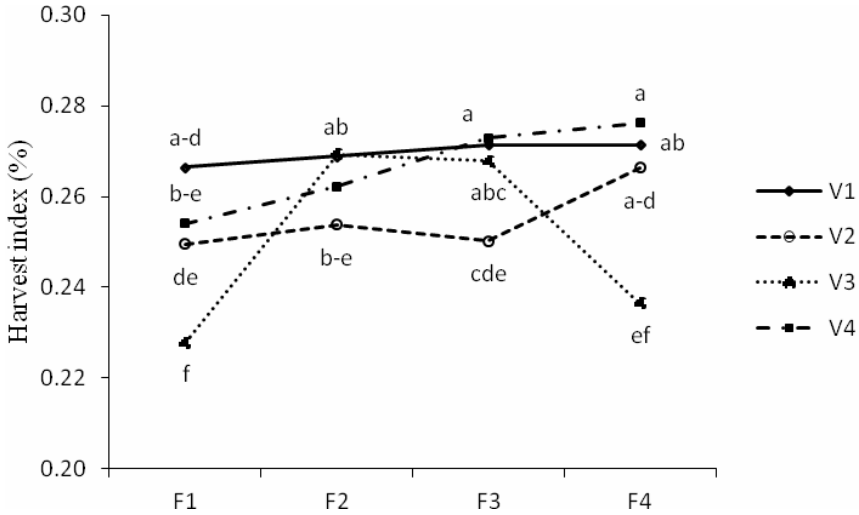
L1 and L2: Khoramabad and Aleshtar locations; V1 to V4: canola varitis viz. Gabriella, Nepton, XPower and Okapi, respectively.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در کود زیستی بر شاخص برداشت

Figure 4- Mean comparison of location × bio-fertilizer interaction on harvest index of canola

L1 و L2: به‌ترتیب منطقه خرم‌آباد و الشتر؛ F1 و F4: به‌ترتیب کاربرد میکوریزا، ازتوباکتر، کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کود زیستی.
L1 and L2: Khoramabad and Aleshtar locations; F1 to F4: application of mycorrhiza, azotobacter, mycorrhiza + azotobacter, and non-application of bio-fertilizer, respectively.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرمتقابل رقم در کود زیستی بر شاخص برداشت

Figure 5- Mean comparison of variety × bio-fertilizer interaction on harvest index of canola

V1 الی V4: به‌ترتیب ارقام گابریلا، نپتون، اکاپی و اکس‌پاور؛ F1 و F4: به‌ترتیب کاربرد میکوریزا، ازتوباکتر، کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کود زیستی.
V1 to V4: canola varitis viz. Gabriella, Nepton, XPower and Okapi; F1 to F4: application of mycorrhiza, azotobacter, mycorrhiza + azotobacter, and non-application of bio-fertilizer, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرمتقابل سه‌گانه منطقه در رقم در کود زیستی بر عملکرد دانه، روغن و پروتئین کلزا

Table 5- Mean comparison of location × variety × bio-fertilizer interaction on grain, oil and protein yield of canola

منطقه L	رقم V	کود زیستی F	عملکرد دانه Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)	روغن دانه Grain Oil (%)	پروتئین دانه Grain Protein (%)	عملکرد روغن Oil Yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد پروتئین Protein Yield ($kg.ha^{-1}$)
L1	V1	F1	4705.5bc	42.3ab	21.9a	1992.0abc	1033.6de
L1	V1	F2	4540.3b-f	43.5a	22.1a	1977.7abc	1003.1d-g
L1	V1	F3	4625.5bcd	41.1b	22.1a	1901.1b-e	1022.5def
L1	V1	F4	4489.2c-g	40.9b	23.4a	1837.5b-f	1052.1cd
L1	V2	F1	4357.5c-i	41.16a	23.1b	1794.3b-i	1005.1d-g
L1	V2	F2	4074.9e-j	42.56a	21.9c	1730.3d-j	894.7g-j
L1	V2	F3	4215.5c-j	43.03a	21.7c	1811.2b-g	914.8f-i
L1	V2	F4	4048.9f-k	41.46a	24.1a	1678.8e-k	975.9d-h
L1	V3	F1	3920.8h-k	40.1ab	24.7a	1572.2g-k	971.4d-h
L1	V3	F2	3900.8ijk	39.8b	24.8a	1554.1ijk	968.6d-h
L1	V3	F3	4281.6c-i	39.5b	24.5a	1695.1d-k	1048.8cde
L1	V3	F4	3673.0k	41.3a	21.8b	1516.7jk	800.6j
L1	V4	F1	4484.1c-g	42.0ab	23.3ab	1884b-e	1048.1cde
L1	V4	F2	5020.0ab	40.1b	23.2b	2012.6ab	1165.3b
L1	V4	F3	4263.3c-i	42.9a	21.9c	1831.0b-f	933.2e-i
L1	V4	F4	3649.7k	41.6ab	24.1a	1524.0jk	882.1hij
L2	V1	F1	4565.9b-f	41.63ab	22.6b	1902.0b-e	1031.3de
L2	V1	F2	4235.1c-i	39.93b	24.8a	1690.5d-k	1052.9cd
L2	V1	F3	5211.8a	41.26ab	25.1a	2151.7a	1307.8a
L2	V1	F4	4424.6c-h	43.66a	21.9b	1931.3a-d	971.6d-h
L2	V2	F1	3700.6k	42.3a	24.1ab	1565.7h-k	891.9g-j
L2	V2	F2	4279.3c-i	41.4ab	23.7bc	1770.4c-i	1017.4def
L2	V2	F3	4117.0d-j	40.5b	23.3c	1668.8e-k	960.5d-h
L2	V2	F4	3881.4ijk	38.4c	24.5a	1487.4kl	951.9d-h
L2	V3	F1	3725.5jk	43.167	22.2a	1607.6f-k	825.9ij
L2	V3	F2	4048.0f-k	41.933	21.6a	1702.1d-k	876.2hij
L2	V3	F3	4219.6c-h	42.267	24.7a	1783.6b-i	1042cde
L2	V3	F4	3027.8l	42.800	21.8a	1296.4l	661.9k
L2	V4	F1	4332.3c-i	38.9b	24.5ab	1688.9d-k	1063.8cd
L2	V4	F2	3997.1g-k	42.6a	23.7bc	1700.6d-k	949.4d-h
L2	V4	F3	4332.8c-i	41.6a	23.5c	1805.5b-h	1019.7def
L2	V4	F4	4589.6b-e	41.9a	25.0a	1928.7a-d	1146.6bc

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Dancan's Multiple Range Test.

L1 و L2: به‌ترتیب منطقه خرم‌آباد و الشتر؛ V1 الی V4: به‌ترتیب ارقام گابریلا، نپتون، اکاپی و اکس‌پاور؛ F1 تا F4: به‌ترتیب کاربرد میکوریزا، ازتوباکتر، کاربرد توأم میکوریزا و ازتوباکتر و عدم کاربرد کود زیستی.

L1 and L2: Khoramabad and Aleshtar locations; V1 to V4: canola varitis viz. Gabriella, Nepton, XPower and Okapi; F1 to F4: application of mycorrhiza, azotobacter, mycorrhiza + azotobacter, and non-application of bio-fertilizer, respectively.

References منابع مورد استفاده

- Amanolahi-Baharvand, Z., H. Zahedi, and M. Rafiee. 2014. Effect of vermicompost and chemical fertilizers on growth parameters of three corn cultivars. *Journal of Applied Science and Agriculture*. 9(9): 22-26.
- Aslani, Z., A. Hassani, M.H. Rasouli Sadaghiani, F. Sefidkan, and M. Brin. 2011. The effects of two species of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on the growth, chlorophyll content and phosphorus uptake of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research.* 53(3): 486-471. (In Persian)
- Bremner, J.M., and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624.
- Brundrett, M. 2002. Introduction to mycorrhizas. CSIRO Forestry and Forest Products. http://www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza/index.html
- Ekram, A.M., and A.M. Salem. 2010. Response of Canola (*Brassica napus* L.) to biofertilizers under Egyptian conditions in newly reclaimed soil. *International Journal of Agriculture Sciences*. 2(1): 12-17.
- Gaur, A.C. 2001. Effects of azotobacterization on the yield of canola (*Brassica napus* L.): Laboratory experiment. *Indian Society of Soil Science.* 40: 19-22.
- Gupta, M.L., A. Prasad, M. Rama, and S. Kumar. 2002. Effect of the vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Golomus fasicclatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crop of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresourcue Technology*. 81: 77-79.
- Hasanzadeh Ghorttapeh, A., and H. Javadi. 2016. Study on the effects of inoculation with biofirtilizers (azotobacter and azospirillum) and nitrogen application on oil, yield and yield components of spring canola in West Azerbaijan. *Journal of Crop Production and Processin*. 5(18): 39-50.
- Heshmati, S., M. Amini Dehaghi, and K. Fathi Amirkhiz. 2016. Effect of chemical and biological phosphorus on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crop Production and Processin.* 6(19): 203-214.
- Kader, M.A., M.H. Main, and M.S. Hoque. 2002. Effects of azotobacter inoculant on the yield nitrogen uptake by wheat. *Online Journal of Biological Sciences.* 2(4): 259-261.
- Kannayan, S. 2002. Biofertilizers for sustainable crop production, pp: 9-49.in: Biotechnology of biofertilizers. Es. Kannayam, Narosa publishing House, New Delhi, India.
- Kapoor, R., B. Giri, and K.G. Mukerjik. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality *Infoeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with p-fertiliser. *Biresourc Technology*. 93: 307-3110.

- Khan, A., M.I. Khan and S. Riaz. 2000. Correlation and path coefficient analysis contributing parameters in Brassica napus. *Pakistan Journal of Agricultural Research.* 16: 127-130.
- Kizhaeral, S.S., J.S. Virgine Tenshia, K. Jayalakshmi, and V. Ramachandran. 2011. Antioxidant enzyme activities in arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) fungus inoculated and non-inoculated maize plants under zinc deficiency. *Indian Journal of Microbiology.* 51(1): 37–43.
- Malakoti, M., and M. Homayee. 2006. Fertility dry land soil. Tarbyat Modaress University Press. Tehran. (In Persian).
- Martin, X.M., C.S. Sumathi, and V.R. Kannan. 2011. Influence of agrochemicals and *Azotobacter sp*. application on soil fertility in relation to maize growth under nursery conditions. *European Asian Journal of Biosciences.* 5: 19-28.
- Mostafavian, S.R., H. Pirdashti, M.R. Ramzanpour, A. Andarkhor, and A. Shahsavari. 2008. Effect of mycorrhizae, thiobacillus and sulfur nutrition on the chemical composition of soybean (*Glycine max* L.) seed. *Pakistan Journal of Biological Science.* 11(6): 826-835.
- Nosheen, A., A. Bano, and F. Ullah. 2013. Bioinoculants: A sustainable approach to maximize the yield of Ethiopian mustard (*Brassica carinata* L.) under low input of chemical fertilizers. *Toxicology and Industrial Health.* 29: 3-13.
- Omidi, A., M. Mirzakhani, and M.R. Ardakani. 2014. Evaluation of the qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by azotobacter and mycorrhizal symbiosis. *Journal of Agroecology.* 6(2): 324-338. (In Persian).
- Ozer, H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. *European Journal of Agronomy*. 19: 453-463.
- Rafiee, M. 2018. Seed bet preparation and planting of canola for farmers. Jahad-e-Keshavarzi education press. 53 p. (In Persian).
- Rokhzadi, A., A. Asgharzadeh, F. darvish, Gh. Nour-Mohammadi, and A. Majidi. 2008. Influence of plant growth promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under field condition. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science.* 3(2): 253-257.
- Ruiz-Lozno, J.M. 2003. Arbuscular mycorrhiza symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*. 13: 309-317.
- Sinaki, J.M., E. Majidi Heravan, A.H. Shirani Rad, Gh. Noormohamadi, and G. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agriculture Science.* 2: 417-422. (In Persian).
- Smith, S.E., and D. Read. 2008. Mycorrhiza symbiosis. Third Edition. Academic Press, San Diego.
- Smith, S.E., and F.A. Smith. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystems scales. *Annual Review of Plant Biology*. 63: 227–250

- Soleimanzadeh, H., D. Habibi, M.R. Ardakani, F. Paknejad, and F. Rejali. 2010. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with azotobacter under different nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science.* 7 (3): 265-268.
- Tousi, P., A. Atabaki, and A.R. Pirzad. 2015. Effect of different nitrogen levels on current rate of photosynthesis and dry matter remobilization in two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Production and Processin.* 5(17): 97-109.
- Valentine, A.J., P.E. Mortimer, A. Lintnaar, and R. Borga. 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhiza grapevines. *Symbiosis.* 41:127-133.
- Wu, S.C., Z.H. Cao, Z.G. Li, K.C. Cheung, and M.H. Wong. 2005. Effects of bio fertilizers containing N-fixer, P and K solubilizer and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma.* 125: 155-166.
- Yaniv, Z., E. Shabelsky, and D. Schafferman. 1999. Colocynt h: Potential arid land oilseed from on ancient cucurbit ASHS press. Alexandria, VA., 257-261.
- Yasari, E., M.R. Azadgoleh, S. Mozafari, and M. Alashti. 2009. Enhancement of growth and nutrient uptake of rapeseed (*Brassica napus* L.) by applying mineral nutrients and bio fertilizers. *Pakistan Journal of Biological Science.* 15: 12(2): 127-33.
- Zlatko, S., and R. Zdenko. 2006. Nitrogen fertilizer efficiency in canola cultivars at rain harvest. *Plant and Soil.* 283: 299-307.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2020.679068

The Effect of Mycorrhiza and Azotobacter Bio-Fertilizers on Quantitative and Qualitative Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Varieties

Zeinab Amanolahi Baharvand[1], Morteza Siavoshi[2*], Yosoof Niknezhad[3], Hormoz Fallah Amoli[3], and Masoud Rafiee[4]

Received: December 2019 , Revised: 11 March 2020, Accepted: 23 June 2020

Abstract

Application of Bio-fertilizers are the most important sustainable strategies for reduction of chemical fertilizers. To study the effect of mycorrhiza and azotobacter bio-fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of rapeseed cultivars, a factorial experiment based on a randomized complete block design with four replications were conducted in two temperate and semi temperate regions of Khorramabad and Aleshtar, Iran. The bio-fertilizer application consisted of application of mycorrhiza, application of azotobacter, combined application of mycorrhiza and azotobacter, and non-application of bio-fertilizer as control. Cultivars used in this study were: Gabriella, Nepton, X-Power and Okapi. Results showed that the average seed yields in two locations are 4265.7 and 4168.0 kg.ha^{-1} in Khorramabad and Aleshtar area, respectively. The highest seed and oil yields, were belonged to Gabriella (4599.7 and 1923.0 kg.ha^{-1}, respectively) and the least to Okapi (3849.6 and 1591.0 kg.ha^{-1}, respectively). The highest seed yield was attributed to the combined application of mycorrhiza and azotobacter (4408.0 and 1831.8 kg.ha^{-1}, respectively) and the least to the non-use of biological fertilizers (3849.6 and 1650.1 kg.ha^{-1}, respectively). As a whole, according to interaction of three factors, Gabriella cultivar with combined application of bio-fertilizers mycorrhiza and azotobacter and X-Power cultivar with azotobacter bio-fertilizer recommended to Khorramabad temperate region and Aleshtar semi temperate region, respectively.

Key words: Combined application of bio-fertilizers, Gabriella, Grain yield, Oil yield, X-Power.

1-Ph.D. Student International Ayat-o-llah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
2-Assistant Professor, Department of Agricultural Science, Payame Noor University, Iran.
3-Assistant Professor, International Ayat-o-llah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
4-Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Khoramm Abad, Iran.
**Corresponding Author: Morteza_siavoshi@yahoo.com*