نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۹۹
۸۷-۱۱۰
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2021.18408.2364

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های کلزا در تلقیح با قارچ اندوفیت *Priformospora indica* و باکتری *Arthrobacter siccitolerans* در شرایط تنش خشکی

علی نعمتی[۱]، علی‌اصغر علیلو[۲*]، محمد صدقی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
[۲] دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
[۳] استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مشکلات جهانی و کشور ما برای تولید محصولات کشاورزی تنش خشکی می‌باشد که برخورد حداقل یکی از مراحل مهم چرخه زندگی گیاهان با این نوع تنش، اجتناب ناپذیر است. از این‌رو، تکامل ژنوتیپ‌های زراعی مقاوم به خشکی و تولید بیشتر غذا از آب کم‌تر در شرایطی که عملاً توسعه اراضی کشاورزی مقدور نیست، موجب گردیده تا بیشتر نگاه‌ها به افزایش عملکرد در واحد سطح معطوف شود. از مولفه‌های اساسی افزایش عملکرد محصولات، مصرف بیشتر انواع نهاده‌ها، به ویژه کودهای شیمیایی است که کاربرد آن‌ها مشکلاتی را برای انسان، خاک و محیط زیست ایجاد می‌کند و راه حل فایق آمدن به این مشکلات استفاده از کودهای زیستی می‌باشد. بنابراین، با توجه به نیاز کشور به افزایش تولید دانه‌های روغنی، این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد برخی ژنوتیپ‌های کلزا با قارچ شبه میکوریزا *Piriformospora indica* و باکتری افزاینده رشد *Arthrobacter siccitolerans* در شرایط بدون تنش و تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵و ۹۷-۱۳۹۶در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ۱۰ کیلومتری شهرستان اردبیل به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح آبیاری به عنوان فاکتور اصلی (شامل آبیاری معمول براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (شاهد) و دیگری تنش خشکی به صورت قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (از مرحله خورجین‌دهی، کد شده به شماره ۵/۵ از جدول سیلوستر- برادلی) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (کد شماره ٦/۹)) و سه سطح تلقیح میکروبی (بدون تلقیح، تلقیح قارچ *P. indica* و تلقیح باکتری *A. siccitolerans* به‌عنوان فاکتور فرعی و ۱۰ ژنوتیپ کلزای پاییزه (کرج ۱، کرج ۲، کرج ۳، طلایه، زرفام، *Licord* ، *SLM-046*، *Modena*، *Opera*، *Okapi*) به عنوان فاکتور فرعی فرعی مجموعاً ٦۰ تیمار بود.

یافته‌ها: نتایج اثرات ساده تجزیه مرکب نشان داد که قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین، خورجین در بوته، وزن هزاردانه و ارتفاع بوته شد، اما اثر معنی‌داری بر تعداد ساقه‌های اصلی و شاخص برداشت نداشت. نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه و بیولوژیک مربوط به ژنوتیپ طلایه به ترتیب با عملکرد ۳۳۲۳/۵ و ۹۷٤۵ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط بدون تنش خشکی بوده و همین‌طور بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ اپرا با وزن ٤/۹ گرم بود. بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه

*مسئول مکاتبه: aliasghar.aliloo@gmail.com

در نتیجه اعمال تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ کرج-۲ با کاهش ٦٩٣/٢ و کاهش عملکرد بیولوژیک مربوط به ژنوتیپ مودنا با کاهش ٢٠٠٤/٣ کیلوگرم درهکتار و کاهش وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ زرفام با کاهش ١/٣٩ گرم بود. در مقابل بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه در نتیجه تلقیح بذرها با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans*، مربوط به ژنوتیپ اوکاپی به ترتیب با افزایش ٣٣٢/٠٨ و ٤٣٦/٢٥ کیلوگرم در هکتار و بیش‌ترین افزایش عملکرد بیولوژیک مربوط به ژنوتیپ مودنا با افزایش ١٢٣٩/٤١ تحت شرایط تلقیح با باکتری *A. siccitolerans* و افزایش ١٢٠٥/٥٨ تحت شرایط تلقیح با قارچ *P. indica* بود. در کل تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب به میزان ٢٤ و ٢٠/٥ درصد شد، اما عمل تلقیح با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* باعث بهبود عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش خشکی به ترتیب به میزان ٧ و ١٠ درصد و بهبود عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب به میزان ١٢/٦ و ١١ درصد شد. همچنین، تحت شرایط اعمال تنش خشکی، تلقیح بذرها با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* باعث بهبود عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ١٠/٥ و ١١ درصد و عملکرد بیولوژیک به ترتیب به میزان ١٥ و ١٦ درصد شد. نتایج نشان‌دهنده همبستگی بالای عملکرد دانه با تمامی صفات اندازه‌گیری شده و عملکرد بیولوژیک نیز با تمامی صفات اندازه‌گیری شده به غیر از شاخص عملکرد بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تلقیح ژنوتیپ‌های کلزا اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد تحت هر دو شرایط تنش و آبیاری کامل داشت و بین ژنوتیپ‌ها نیز ژنوتیپ طلایه بیش‌ترین عملکرد و اجزای عملکرد را نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها نشان داد.

واژه‌های کلیدی: خورجین‌دهی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، قطع آبیاری.

مقدمه

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین عواملی هستند که باعث پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاهان می‌شوند. عمدتاً این تغییر رفتار باعث دور شدن گیاه از شرایط معمول زندگی می‌شود که در نهایت سطوح تولید گیاه را کم می‌کند (٣٣). تنش‌های غیر زیستی مثل خشکی، شوری و دمای بالا، عامل اصلی کاهش عملکرد محصولات زراعی هستند که امنیت غذایی را در سراسر جهان تهدید می‌کنند (٤١). در میان تنش‌های غیرزیستی، تنش خشکی یکی از متداول‌ترین تنش‌های محیطی در دنیا است که علاوه بر کاهش رشد رویشی و تغییر در ساختارهای آناتومیکی گیاه، از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو، سبب تغییر در مسیرهای سنتز ترکیبات و متابولیت‌های ثانویه می‌شود (١). این نوع تنش یکی از مشکلات جهانی برای تولید محصولات کشاورزی است و از ویژگی‌های بارز جغرافیایی کشور ایران بوده و برخورد حداقل یکی از مراحل مهم چرخه زندگی گیاهان با این نوع تنش، اجتناب ناپذیر است (٧). از این‌رو، تکامل ژنوتیپ‌های زراعی مقاوم به خشکی (٤٠) و تولید بیشتر غذا از آب کم‌تر به چالش جدی بخش کشاورزی تبدیل شده است (٤). بر این اساس، در شرایطی که عملاً توسعه اراضی کشاورزی مقدور نیست، بیش‌تر نگاه‌ها به افزایش عملکرد در واحد سطح معطوف شده است. از مولفه‌های اساسی افزایش عملکرد محصولات، مصرف بیش‌تر انواع نهاده‌ها، به‌ویژه کودهای شیمیایی است که کاربرد آن‌ها مشکلاتی را برای انسان، خاک و محیط زیست ایجاد می‌کند، برای فایق آمدن به این مشکلات که علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی در حفظ توازن محیط زیست نیز نقش دارد، باید از کودهای زیستی استفاده شود. در قرن بیست و یکم، کشاورزی جهانی با دو مشکل اساسی مواجه است؛ اول، افزایش تولید مواد غذایی برای جمعیت در حال افزایش جهان همراه با کمبود منابع آب و دوم، منابع آب به تدریج به علت تغییرات اقلیمی در سراسر جهان، توسعه

جمعیت، آلودگی و مصرف بیش از حد آب از حالت تعادل و ثبات خارج می‌گردد (٤). از طرفی عدم بارندگی کافی و توزیع غیر یکنواخت آن در طول فصل رشد در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث شده است که کشت بیش‌تر محصولات کشاورزی فقط با آبیاری امکان‌پذیر گردد(٢٤). از آنجایی که گیاهان هرگز نمی‌توانند خود را از شرایط تنش‌زای محیطی دور نگه دارند، لذا از راهکارهای مختلف جهت سازش با عوامل نامساعد استفاده می‌کنند (٢٤). در سراسر جهان، تحقیقات گسترده‌ای در جهت توسعه استراتژی‌هایی برای مقابله با تنش‌های خشکی از جمله استفاده از روش تقویم زراعی، شیوه‌های مدیریت منابع انسانی و غیره انجام می‌شود و بسیاری از این فنّاوری‌های صورت گرفته نیز هزینه زیادی در بردارند (٢٧)؛ اما کاربرد روش‌های بیولوژیک با در نظر گرفتن هزینه کم آن‌ها می‌توانند راهکار مناسبی برای مقابله با تنش‌ها به‌ویژه تنش خشکی باشند (٤٤). برخی از محققان به انتخاب ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا در شرایط مطلوب و برخی در شرایط تنش اعتقاد دارند، اما گزارش‌های دیگری نشان می‌دهد که انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا تحت هر دو شرایط مطلوب و تنش در شناسایی ژنوتیپ‌ها مناسب و مقاوم موثرتر می‌باشد (٨). ژانگ و همکاران (٢٠١٥) نیز گزارش کردند که عملکرد دانه به وسیله کمبود آب به وجود آمده از گلدهی تا پایان پر شدن دانه تحت تاثیر قرار می‌گیرد و در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ های از کلزا که قادر باشند مقدار آب بیشتری را حفظ نمایند، دارای عملکرد دانه و در نتیجه روغن بیشتری می‌باشند (٤٦). خانی و همکاران (٢٠١٨) عنوان نمودند که تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی بر عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تأثیر زیادی داشته و مقادیر آن‌ها را به شدت کاهش داد (٢٦). در پژوهشی دیگر ایزانلو و همکاران (٢٠٠٥) عنوان نمودند که تنش خشکی در اواخر فصل باعث ریزش بیش از نیمی از خورجین‌ها در دو گونه *B rapa* L. و *B napus* L. گردید، درحالی‌که خورجین‌های باقی‌مانده دارای دانه‌های بیشتر و سنگین‌تری بودند (٢٥). اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاهان مختلف در بهبود رشد گیاه و درنتیجه افزایش توان تحمل گیاه به تنش‌های اسمزی نسبت به حالت بدون همزیستی توسط والر و همکاران (٢٠٠٥) نیز گزارش‌شده است (٤٢). این قارچ با تشکیل کلونیزاسیون منجر به بهتر شدن عملکرد و کارایی گیاه در همه جهات به‌ویژه گسترش رشد ریشه و افزایش ترشح اسیدهای آلی، باعث افزایش جذب عناصر غذایی مغذی و بهبود رشد و عملکرد محصول می‌گردد. علاوه بر این *P. indica* با بهبود اجزای سیستم دفاعی و افزایش تولید و ترشح آنتی‌اکسیدان باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر بیماری‌های قارچی و ویروسی می‌گردد (٢٠). این قارچ قادر به بهبود رشد، افزایش زیست‌توده و عملکرد دانه، بهبود کیفیت محصول و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی است (١٨). همچنین، در بین ریز جانداران خاک که فعالیت آن ها بر رشد و تغذیه گیاه تأثیر مثبتی داشته و کاربرد آن‌ها به‌عنوان کود زیستی مورد توجه محققان قرارگرفته است، می‌توان به انواع باکتری‌های ریزوسفری اشاره کرد که به‌عنوان باکتری‌های افزاینده رشد گیاه نامیده می‌شوند (٣٨). این اصطلاح در ابتدا برای باکتری‌های *Pseudomonas* spp. به‌کار برده شد، اما امروزه معنای گسترده‌تری پیدا نموده و برای بسیاری از باکتری‌های فعال در ناحیه ریزوسفر مانند *Erwi*، *Rhizobium*، *Bacillus*، *Burkholderia*، *Azospirillum*، *Arthrobacter siccitolerans* و *Serratia* نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (٩). مطالعات اولیه در زمینه

باکتری‌های محرک رشد، تنها روی ریشه گیاهانی مانند سیب‌زمینی و چغندرقند (١٠). انجام شد، اما بررسی‌های اخیر محدوده وسیعی از گیاهان میزبان شامل غلات، بقولات و حتی درختان را در بر می‌گیرد (١٦). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که کاربرد سویه‌هایی از *P. fluoresence* و *P. putida* طول ریشه و اندام‌های هوایی را در کلزا، گوجه‌فرنگی و همچنین، عملکرد را در برنج، گندم و چغندرقند افزایش داده است (١٣). نتایج استفاده از گونه‌های *Arthrobacter* بر رشد و عملکرد گیاهان یونجه و فلفل نشان داد که استفاده از این باکتری به طور واضح باعث افزایش وزن شاخه‌های یونجه و فلفل می‌گردد (٥). بنابراین، با توجه به نیاز کشور به تولید و افزایش تولید دانه‌های روغنی این پژوهش با هدف بررسی اثر تلقیح ژنوتیپ‌های مختلف کلزا با قارچ شبه میکوریزا *P. indica* و باکتری محرک رشد *A. siccitolerans* در شرایط بدون تنش و تنش خشکی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا در شرایط مزرعه‌ای طی دو سال زراعی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط مزرعه‌ای طی دو سال زراعی ٩٦-١٣٩٥و ٩٧-١٣٩٦در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ١٠ کیلومتری شهرستان اردبیل با شرایط هواشناسی ارائه شده در جدول ١، براساس طرح کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. قبل از کشت و اجرای طرح، آزمون خاک انجام و نتایج آن در جدول ٢ ارایه شده است. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی (شامل آبیاری معمول بر اساس ٨٠ میلی‌متر تبخیر از سطح تبخیر کلاس A (شاهد) و دیگری تنش خشکی به صورت قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (از مرحله خورجین‌دهی، کد شده به شماره ٥/٥ از جدول سیلوستر- برادلی) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (کد شماره ٦/٩)) (٤١) و سه سطح تلقیح میکروبی (بدون تلقیح، تلقیح قارچ *Piriformospora indica* و تلقیح باکتری *Arthrobacter siccitolerans* به‌عنوان فاکتور فرعی و ١٠ ژنوتیپ کلزای پاییزه (کرج ١، کرج ٢، کرج ٣، طلایه، زرفام، *Licord*، *SLM-046*، *Modena*، *Opera*، *Okapi*) بودند. پس از آماده سازی مزرعه، کودهای نیتروژن‌دار از منبع اوره، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم برای تمام کرت‌ها بر اساس آزمون خاک به‌ترتیب به میزان ١٥٠، ١٠٠ و ٦٠ کیلوگرم در هکتار، اضافه شد. پس از آماده شدن مزرعه، بذر گواهی شده ژنوتیپ‌های کلزا از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و جدایه قارچ اندوفیت *P. indica* به صورت کشت خالص از آزمایشگاه بیولوژی دانشگاه مراغه تهیه و بر اساس روش دشموخ و همکاران (٢٠٠٦) سوسپانسیون آن برای بیوپرایمینگ بذرها آماده شد (١١). همچنین، آرتروباکتر نیز در آزمایشگاه بیولوژی دانشکده کشاورزی مراغه فرموله و سپس بر اساس روش صدیق و شوکت (٢٠٠٤) سوسپانسیون باکتری نیز به منظور بیوپرایمینگ بذرها تهیه گردید (٣٦). در شرایط استریل یک گرم از بذرهای استریل شده با یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری شامل 10^7 باکتری در هر میلی لیتر در داخل تشتک‌های پتری تلقیح و به منظور اعمال تیمار قارچ نیز بذرها کلزا در پتری دیش استریل و با محلول اسپور قارچ که شامل $10^7 \times 5$ اسپور در هر میلی‌لیتر بود، عمل تلقیح انجام و به‌مدت ٤ ساعت روی هم‌زن دورانی با سرعت ١٢٠ دور در دقیقه قرار گرفت (٢١). پس از آماده شدن بذرهای تلقیح شده و بدون تلقیح و بر اساس نقشه طرح آزمایش، کرت‌ها به ابعاد ٥ × ٢/٤ متر، شامل شش

ردیف و فاصله ردیف‌ها از هم ۳۰ سانتی‌متر جهت کشت کلزا ایجاد و عملیات کشت بذرهای تلقیح شده با قارچ *P. indica* و آرتروباکتر انجام گردید. تیمار عدم تلقیح بذر با باکتری و قارچ در آب مقطر استریل جوانه‌دار و در کرت‌های مشخص شده کشت گردید. پس از اتمام کشت، برای بررسی صحت تلقیح گیاهچه‌ها با باکتری و قارچ، دو هفته پس از کشت نمونه‌هایی به‌صورت تصادفی از ریشه گیاهچه‌ها برداشت و بعد از آزمایش‌های مختلف، صحت تلقیح تایید شد.

جدول ۱- برخی معیارهای هواشناسی محل آزمایش طی سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶.

Table 1- Some meteorological criteria of the experimental site during the crop year 2017-18 and 2018-19.

معیارها (Criteria)	ماه‌ها Months									
	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
بارندگی (میلی‌متر) ۹۶-۱۳۹۵ 2017-18 Rainfall (mm)	6.4	4.8	40.2	28.9	3.4	35.2	9.4	23.8	32.9	2.4
بارندگی (میلی‌متر) ۹۷-۱۳۹۶ 2018-19 Rainfall (mm)	0.1	43.6	9.7	6.5	16.5	54.7	26.5	9.3	60.3	28.2
دما (سلسیوس) ۹۶-۱۳۹۵ 2017-18 Tempreture (°C)	18.5	12.2	7.1	-0.6	0.4	-4	4	8.2	14.4	17.3
دما (سلسیوس) ۹۷-۱۳۹۶ 2018-19 Tempreture (°C)	20	11.8	11.7	3	4.6	0.6	7	9	12.2	16.8
رطوبت نسبی (درصد) ۹۶-۱۳۹۵ 2017-18 relative humidity (%)	67	76	75	65	64	82	69	69	64	68
رطوبت نسبی (درصد) ۹۷-۱۳۹۶ 2018-19 relative humidity (%)	57	72	64	70	67	77	73	66	71	71
ساعات آفتابی۹۶-۱۳۹۵ 2017-18 Sunshine	282	201	151	170.8	210	120.9	209	202.7	232.6	331
ساعات آفتابی۹۷-۱۳۹۶ 2018-19 Sunshine	317.6	201.3	166.5	177.3	165.4	128.7	157.5	170.9	196.3	248.6

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 2- Some physical and chemical charactristics of the studied soil.

ویژگی (parameter)	شوری (mmhos /cm) EC	فسفر قابل جذب (میلی گرم/ کیلوگرم) (Available Phosphorus) (mg/kg)	ماده آلی (درصد) (organic mater) (%)	بافت خاک (soil texture)	نیتروژن (درصد) (Nitrogen) (%)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم/ کیلوگرم) (Available potassium) (mg/kg)	pH اسیدیته
مقدار (Value)	1.2	13	0.8	لوم رسی (clay loam)	0.12	150	7.2

دوره داشت شامل آبیاری، کوددهی سرک نیتروژن باقی‌مانده (۷۵ کیلوگرم در هکتار) در مرحله ساقه‌دهی و مبارزه با علف‌های هرز بود. در طول دوره کشت، آبیاری در دو سطح، شامل آبیاری معمول بر اساس ۸۰

میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (شاهد) و دیگری تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (از مرحله خورجین‌دهی، کد شده به شماره ۵/۵ از جدول سیلوستر -برادلی) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (کد شماره ٦/٩) بود. پس از کامل شدن پوشش گیاهی و رسیدگی کامل (کد شماره ٦/٥) جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و شاخص سطح برگ، تعداد ساقه‌های اصلی و طول خورجین اندازه‌گیری شد. از میانگین ارتفاع ۷ بوته که به‌طور تصادفی انتخاب شده بود، ارتفاع بوته محاسبه گردید. همچنین، برای تعیین وزن هزار دانه، نمونه‌هایی از دانه‌های تیمارهای مختلف انتخاب و با استفاده از دستگاه بذر شمار، شمارش و سپس، وزن خشک هزار دانه با ترازوی دیجیتالی توزین گردید. همچنین، از شاخص‌های عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین اندازه‌گیری شدند و در نهایت به منظور تعیین عملکرد دانه از هر کرت آزمایشی به طور جداگانه بوته‌ها کف‌بر و جهت خشک شدن نهایی و رسیدن رطوبت به ۱۲درصد، به مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری و پس از جداسازی دانه‌ها از خورجین، وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. درنهایت برای اندازه‌گیری عملکرد زیست‌توده، پس از کف‌بر نمودن بوته‌های هر کرت آزمایشی و قبل از جدا کردن دانه از خورجین، وزن کل بوته‌ها تعیین و عملکرد بیولوژیک در هکتار تعیین شد و از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت به‌دست آمد. تجزیه‌های آماری (تجزیه واریانس) با استفاده از نرم افزارهای SAS و SPSS انجام شد. سپس با استفاده از آزمون LSD، میانگین داده‌ها در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: در این مطالعه شاخص سطح برگ تحت تاثیر تنش، سال، میکروارگانیسم و ژنوتیپ‌های مختلف قرار گرفت و نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده نشان داد که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد طی دو سال و در سطح احتمال یک درصد در اثر اعمال تنش و میکروارگانیسم بین ژنوتیپ‌های مختلف برای این صفت مشاهده گردید. همچنین، نتایج ترکیب تیمارها نیز نشان داد که اثرات متقابل تنش در ژنوتیپ، تنش در سال و تنش در میکروارگانیسم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، اما بین بقیه ترکیبات تیماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش و ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ طلایه تحت شرایط آبیاری معمول با میانگین ٤/٢٢ بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ و کم‌ترین مقدار تحت همین شرایط مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* با میانگین ۳/٤ بود. تحت شرایط تنش بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به ژنوتیپ اکاپی با میانگین ۳/۹۷ و کم‌ترین مقدار مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* با میانگین ۲/٦۲ بود (جدول ۵). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش و میکروارگانیسم نیز نشان داد که بیش‌ترین میانگین این شاخص در شرایط آبیاری کامل و استفاده از میکروارگانیسم *A. siccitolerans* با میانگین ۳/۹٤ به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار نیز از شرایط تنش بدون استفاده از میکروارگانیسم با میانگین ۲/۸۱ به‌دست آمد (جدول ٦). کاهش در سطح برگ، می‌تواند ناشی از فرایندهایی باشد که عمدتاً مربوط به فتوسنتز است، این فرایندها موجب تولید برگ‌های کوچک‌تر در شرایط تنش خشکی می‌شوند و از طرف دیگر، موجبات زوال برگ‌ها را زودتر از موعد فراهم می‌نماید. کارایی مصرف نور با توزیع بهتر تشعشع فعال

فتوسنتزی در کانوپی گیاه تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد و تاثیر تنش خشکی بر کاهش عملکرد از طریق کاهش سطح برگ و تسریع پیری برگ‌ها بسیار مهم‌تر از تاثیرگذاری آن بر فتوسنتز است (٦). گاناسکرا و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند کمبود آب در مرحله پر شدن دانه کلزا باعث کاهش سریع سطح برگ شده که نتیجه آن کاهش تعداد شاخه‌های جانبی، کاهش تعداد خورجین در هر شاخه و کوچک شدن دانه بود (۲۲). همچنین، باکتری‌های محرک رشد گیاه نیز با تاثیر بر تولید ایندول استیک اسید موجب افزایش سطح برگ در گیاه می شوند (۳۰).

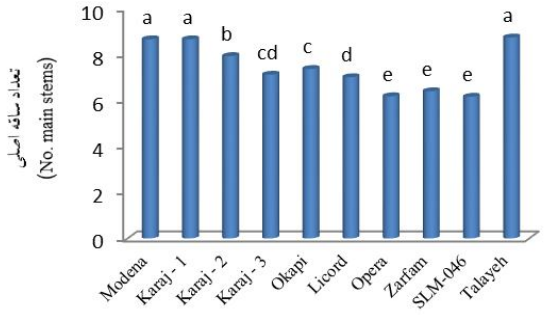
تعداد دانه در خورجین: نتایج تجزیه واریانس مرکب اثرات ساده نشان داد که اثر سال بر تعداد دانه در خورجین در سطح احتمال پنج درصد و اثرات تنش، میکروارگانیسم و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و همچنین، اثر متقابل تنش در میکروارگانیسم، تنش در ژنوتیپ و تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ درسطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش و ژنوتیپ نیز نشان داد که ژنوتیپ مودنا با میانگین ۲۵/۳۹ تحت شرایط بدون تنش و ژنوتیپ اکاپی با میانگین ۲۱/۳۹ تحت شرایط تنش خشکی بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین را داشتند و کم‌ترین تعداد دانه در خورجین مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* تحت شرایط تنش خشکی با میانگین ١٦/٧ دانه در خورجین بود. همچنین، ژنوتیپ مودنا با ٢٤/٥ درصد بیش‌ترین کاهش و ژنوتیپ کرج-۱ با ١١/٦ درصد کم‌ترین کاهش تعداد دانه در خورجین را نشان دادند (جدول ٥). نتایج تجزیه مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش و میکروارگانیسم نیز نشان داد که بیش‌ترین میانگین تعداد دانه در خورجین مربوط به شرایط آبیاری کامل و استفاده از میکروارگانیسم *A. siccitolerans* با میانگین ۲۳/۲۵ و کم‌ترین مقدار از شرایط تنش بدون استفاده از میکروارگانیسم با میانگین ۱۸/۳ به‌دست آمد. همچنین، تنش خشکی باعث کاهش ١٤درصدی تعداد دانه در خورجین و تلقیح بذرها با باکتری *A. siccitolerans* و قارچ *P. indica* تحت شرایط تنش باعث بهبود عملکرد به ترتیب به میزان ۹ و ٥/٤ درصد نسبت به شرایط بدون استفاده از میکروارگانیسم گردید و تحت شرایط بدون اعمال تنش نیز تلقیح بذرها با باکتری *A. siccitolerans* و قارچ *P. indica* باعث بهبود عملکرد به‌ترتیب به میزان ۹ و ٤/٨ درصد نسبت به شرایط بدون استفاده از میکروارگانیسم گردید (جدول ٦). همچنین، نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین مربوط به ژنوتیپ طلایه تحت شرایط بدون تنش خشکی و بدون استفاده از میکروارگانیسم با میانگین ۲۷ بوده و کم‌ترین تعداد مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* تحت شرایط تنش خشکی و بدون استفاده از میکروارگانیسم با میانگین ١٤/٨٣ بود (جدول ۷). این نتایج با یافته‌های سیناکی و همکاران (۲۰۰۷) که بیان داشتند تنش رطوبتی باعث کاهش ۹/۹ درصدی تعداد دانه در خورجین می‌گردد (۳۷) مطابقت داشت. همچنین، با نتایج سیرجانی و همکاران (۲۰۱۱) که گزارش نمودند تلقیح بذرها با باکتری‌های محرک رشد در گندم باعث افزایش تعداد دانه در سنبله به میزان ٢٣/٦ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (۳۹)، مطابقت داشت. در کلزا تعداد دانه در خورجین از عوامل موثر و تعیین‌کننده عملکرد دانه است و هر عاملی که تعداد دانه در خورجین را افزایش دهد، سبب بالا رفتن عملکرد دانه نیز می‌شود (۱۷). تعداد دانه در خورجین در واقع ظرفیت مخزن‌های گیاه را مشخص می‌کند، هر چه تعداد دانه‌ها بیشتر باشند، گیاه دارای تعداد مخزن‌های بیشتری برای مواد پرورده

تولید شده است و هر عاملی که این جزء را افزایش دهد باعث افزایش عملکرد نیز خواهد شد. احتمالاً باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید باعث گسترش ریشه و اشغال حجم بیشتری از خاک شده و با افزایش سطح جذب، تاثیر مثبتی در افزایش تولید خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین کلزا دارند (۳۰). نتایج کلی این صفت نشان می‌دهد که تنش با تاثیر بر پوکی خورجین‌ها باعث کاهش تعداد دانه در خورجین و تلقیح نیز احتمالاً با تاثیر بر تولید هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید و دیگر فرایندها باعث بهبود تعداد دانه در خورجین شد.

طول خورجین: نتایج نشان داد که اثر ساده سال در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده تنش، استفاده از میکروارگانیسم‌ها و ژنوتیپ‌های متفاوت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثرات متقابل ترکیب تیمارها نیز نشان داد که اثرات متقابل تنش در ژنوتیپ، تنش در میکروارگانیسم و میکروارگانیسم در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و مابقی اثرات متقابل غیر معنی‌دار می‌باشند (جدول ۳). اثر تلقیح بذر با قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* به‌ترتیب باعث افزایش طول خورجین به میزان ۱۱ و ۱۵ درصد نسبت به عدم استفاده از میکروارگانیسم‌ها شدند (جدول ٤). مقایسات میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و تنش رطوبتی نیز نشان داد که ژنوتیپ مودنا تحت هر دو شرایط آبیاری معمول و تنش به ترتیب با طول خورجین ۷/۰٦ و ٦/۲۷ سانتی‌متر بزرگ‌ترین خورجین را داشت و ژنوتیپ *SLM-046* نیز تحت هر دو شرایط با طول خورجین ٥/٤٦ و ٤/٦ سانتی‌متر کوچک‌ترین خورجین را داشت (جدول ٥). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش و میکروارگانیسم نیز نشان داد که بالاترین میانگین طول خورجین از ترکیب تیماری آبیاری معمول تلقیح با *A. siccitolerans* و پایین‌ترین میانگین طول خورجین از ترکیب تیماری تنش بدون استفاده از میکروارگانیسم به‌دست آمد (جدول ٦). سطح خورجین به عنوان یک سطح فتوسنتز کننده فعال و نزدیک‌ترین منبع به دانه‌ها نقش موثری در عملکرد دانه کلزا دارد، خورجین‌های بزرگ‌تر معمولاً دارای بذرها با اندازه بزرگ‌تر و تعداد دانه بیشتری می‌باشند. بنابراین، انتخاب رقم و شرایطی که باعث ایجاد خورجین بزرگتری شود، می تواند در عملکرد موثر باشد. نتایج این تحقیق با یافته‌های احمدی و همکاران (۲۰۰۹) که بیان داشتند تنش خشکی از طریق کاهش مواد فتوسنتزی و کاهش جایگاه توسعه خورجین‌ها، باعث کوچک‌تر ماندن خورجین‌ها می‌شود (۲)، مطابقت داشت. همچنین، نتایج این تحقیق با نتایج حسن‌زاده و همکاران (۲۰۰۵) که گزارش نمودند قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی باعث کاهش طول خورجین می‌گردد (۲۳)، مطابقت داشت.

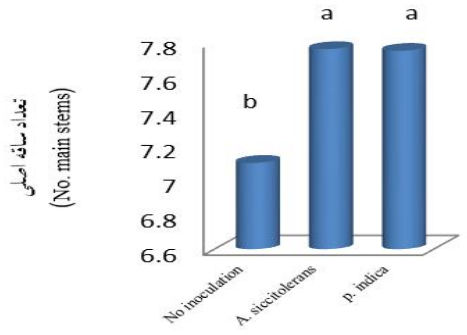
تعداد خورجین در بوته: تعداد خورجین در بوته را می‌توان یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد به حساب آورد، زیرا خورجین‌ها حاوی دانه‌ها بوده و در مراحل اولیه پر شدن دانه از طریق فتوسنتز در رشد و تکامل دانه‌ها مشارکت می‌کنند. در این آزمایش تعداد خورجین در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش، میکروارگانیسم و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت، اما اثر سال معنی‌دار نبود. همچنین، اثرات متقابل تنش در ژنوتیپ، میکروارگانیسم در ژنوتیپ و تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و دیگر اثرات متقابل غیر معنی‌دار شدند (جدول ۳). بررسی نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و تلقیح بذرها با قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* نشان داد که بیش‌ترین تعداد

خورجین در بوته با میانگین ۱۰٤/۱ مربوط به ژنوتیپ طلایه تحت شرایط استفاده از میکروارگانیسم *A. siccitolerans* بود (جدول ٤). اثرات تنش روی تعداد خورجین در بوته ژنوتیپ‌ها نیز منفی بوده و باعث کاهش این صفت در تمام ژنوتیپ‌ها شد طوری‌که ژنوتیپ کرج-۱ با کاهش ۱۳ درصدی بیش‌ترین کاهش و ژنوتیپ اپرا با کاهش ۸ درصدی کم‌ترین کاهش را داشتند (جدول ۵). گزارش‌های دیگری نیز مبنی بر تاثیر منفی تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی بر تعداد خورجین در بوته ارایه شده است (۳۷). به نظر می‌رسد کمبود عرضه مواد فتوسنتزی در شرایط تنش، باعث عدم تامین مواد فتوسنتزی به میزان کافی برای خورجین‌ها و در نتیجه ریزش آن‌ها و در نهایت کاهش تعداد خورجین شد. همچنین، با توجه به اینکه طی مرحله زایشی کمبود آب موجب کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی می‌شود و همین عامل در افت تعداد گل‌های بارور در گیاه و در نتیجه تعداد خورجین در بوته موثر می‌باشد. پژوهشگران عامل اصلی کاهش عملکرد طی تنش خشکی در دو مرحله گل‌دهی و نمو خورجین‌ها را کاهش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین‌ها بیان کردند (۱۲).



شکل ۱- اثر ژنوتیپ بر میانگین تعداد ساقه‌های اصلی کلزا.

Figure 1- Effect of Cultivar on No. main stems.



شکل ۲. اثر میکروارگانیسم‌ها بر میانگین تعداد ساقه‌های اصلی کلزا.

Figure 2- Effect of Microorganisms on No. main stems.

تعداد ساقه‌های اصلی: تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال برای صفت تعداد ساقه اصلی در سطح احتمال پنج درصد و اثر میکروارگانیسم و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر تنش و اثرات متقابل تمامی ترکیب‌های تیماری غیر معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسات میانگین ژنوتیپ‌های کلزا از نظر تعداد ساقه‌های اصلی نشان داد که ژنوتیپ‌های طلایه، مودنا و کرج-۱ به‌ترتیب با میانگین‌های ۸/۷۵، ۸/٦۷ و ۸/٦۷ بیش‌ترین تعداد و رقم SLM-046 با میانگین ٦/۱۷ کم‌ترین تعداد ساقه اصلی را داشت (شکل ۱). همچنین، نتایج مقایسات میانگین تلقیح بذرها با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* نشان داد که استفاده از میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش تعداد ساقه‌های اصلی به میزان نه درصد نسبت به شرایط عدم استفاده از میکروارگانیسم شد (شکل ۲). این نتایج با یافته‌های مولا و همکاران (۲۰۱۲) که بیان داشتند گیاه گوجه فرنگی تلقیح شده با قارچ *T. harzianum* باعث بهبود صفات مورفولوژیکی به ویژه تعداد شاخه گردید مطابقت داشت (۲۹). معمولاً کاهش تعداد ساقه اصلی در شرایط تنش خشکی کلزا یکی از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه به شمار می آید ولی در آزمایش اخیر، اعمال تنش پس از تشکیل ساقه اصلی انجام شد که بدلیل وجود رطوبت کافی در خاک، اثر آن برتعداد ساقه اصلی غیر معنی‌دار بود.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و میکرو ارگانیسم‌ها بر طول خورجین، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه ژنوتیپ ها مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Table 4- Mean comparison interaction effects of Cultivar and Microorganisms on pods length, number of pods per plant and 1000-seed weight of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping years.

میکروارگانیسم‌ها (Microorganisms)	ژنوتیپ (Cultivar)	طول خورجین (سانتی‌متر) Pod length (cm)	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-Seed weight(g)
بدون تلقیح (No inoculation)	مودنا (Modena)	6.35 ef	91.33 lmno	3.85 cd
	کرج – ١ (Karaj - 1)	5.53 l	89.75 qr	3.86 cd
	کرج – ٢ (Karaj - 2)	5.49 lm	90.75 n-q	3.63 g-j
	کرج – ٣ (Karaj - 3)	5.45 lmn	89.25 rs	3.69 f-i
	اکاپی (Okapi)	6.35 ef	92.16 j-m	3.70 e-i
	لیکورد (Licord)	6 g	93.75 gh	3.68 f-j
	اپرا (Opera)	4.99 p	92.25 jkl	3.57 ij
	زرفام (Zarfam)	5.00 p	88.40 s	3.32 k
	SLM-046	4.76 q	86.83 t	3.29 k
	طلایه (Talayeh)	6.34 ef	98.25 c	4.19 b
Arthrobacter siccitolerans	مودنا (Modena)	6.90 a	94.75 fg	4.08 b
	کرج – ١ (Karaj - 1)	5.92 gh	93.80 gh	3.79 c-f
	کرج – ٢ (Karaj - 2)	5.80 ij	93.40 hi	3.75 d-g
	کرج – ٣ (Karaj - 3)	5.85 hi	91.83 k-n	3.74 defgh
	اکاپی (Okapi)	6.65 cd	97.3 cd	3.82 cde
	لیکورد (Licord)	6.43 ef	98.25 c	3.79 c-f
	اپرا (Opera)	5.45 lmn	95.80 ef	3.63 g-j
	زرفام (Zarfam)	5.41 mn	92.40 ijkl	3.63 g-j
	SLM-046	5.27 o	91.08 m-p	3.56 j
	طلایه (Talayeh)	5.67 k	104.10 a	4.42 a
piriformospora indica	مودنا (Modena)	6.58 d	93.40 hi	3.90 c
	کرج – ١ (Karaj - 1)	5.71 jk	93.17 hij	3.77 def
	کرج – ٢ (Karaj - 2)	5.69 k	92.90 h-k	3.71 e-h
	کرج – ٣ (Karaj - 3)	5.78 ijk	91.83 k-n	3.74 d-h
	اکاپی (Okapi)	6.57 d	96.50 de	3.74 d-h
	لیکورد (Licord)	6.45 e	97.83 c	3.85 cd
	اپرا (Opera)	5.29 o	94.83 fg	3.72 e-h
	زرفام (Zarfam)	5.37 no	90.25 o-r	3.60 hij
	SLM-046	5.05 p	90.00 pqr	3.57 ij
	طلایه (Talayeh)	6.69 bc	101.67 b	4.47 a

میانگین ها دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح ٥ درصد می باشند (LSD).

In each colomn means with the same letters are not significantly different at 5% probabiliy level (LSD).

ادامه جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و میکروارگانیسم‌ها بر ارتفاع بوته، شاخص برداشت و عملکرد بیوماس و دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Table 4- Mean comparison interaction effects of cultivar and microorganisms on plant height, harvest index and biological and grain yield of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping years.

میکروارگانیسم‌ها (Microorganisms)	ژنوتیپ (Cultivar)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	عملکرد بیوماس (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield(kg h^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg h^{-1})	شاخص برداشت(درصد) Harvest index (%)
بدون تلقیح (No inoculation)	مودنا (Modena)	100.17^{d}	7189.17^{gh}	2681.42^{j}	37.47^{def}
	کرج – ۱ (Karaj - 1)	95.70^{f-i}	6649.58^{m}	2454.00^{l}	36.85^{f-j}
	کرج – ۲ (Karaj - 2)	94.25^{ij}	6224.17^{n}	2376.58^{mn}	38.20^{d}
	کرج – ۳ (Karaj - 3)	89.60^{n}	5969.75^{o}	2302.30^{o}	38.55^{cd}
	اکاپی (Okapi)	94.80^{hij}	6623.67^{m}	2613.75^{hi}	39.45^{c}
	لیکورد (Licord)	91.30^{lm}	6304.90^{n}	2653.58^{gh}	42.29^{ab}
	اپرا (Opera)	91.16^{lmn}	6274.16^{n}	2386.00^{mn}	38.13^{de}
	زرفام (Zarfam)	90.90^{n}	6266.40^{n}	2240.17^{p}	35.75^{j-m}
	SLM-046	86.58^{o}	5580.00^{p}	2124.08^{q}	38.18^{d}
	طلایه (Talayeh)	102.20^{c}	8209.17^{d}	2885.17^{e}	35.14^{l-o}
Arthrobacter siccitolerans	مودنا (Modena)	107.00^{b}	8394.75^{cd}	3008.58^{b}	36.28^{g-k}
	کرج – ۱ (Karaj - 1)	99.25^{de}	7548.10^{ef}	2772.17^{f}	36.67^{f-j}
	کرج – ۲ (Karaj - 2)	96.40^{fg}	7207.30^{gh}	2603.42^{hij}	36.00^{g-l}
	کرج – ۳ (Karaj - 3)	93.50^{jk}	6852.17^{kl}	2533.30^{k}	36.95^{f-i}
	اکاپی (Okapi)	100.17^{d}	7731^{e}	3050.00^{ab}	39.39^{c}
	لیکورد (Licord)	95.16^{ghi}	6902.58^{f-j}	2953.25^{c}	42.80^{a}
	اپرا (Opera)	95.60^{f-i}	7022.25^{h-k}	2532.75^{k}	36.06^{g-l}
	زرفام (Zarfam)	96.50^{fg}	7158.5^{ghi}	2409.58^{lmn}	33.57^{q}
	SLM-046	91.05^{lmn}	6397.75^{n}	2364.75^{n}	37.05^{e-h}
	طلایه (Talayeh)	107.40^{a}	9177.4^{a}	3099.17^{a}	33.79^{pq}
piriformospora indica	مودنا (Modena)	105.70^{b}	8428.58^{c}	2910.50^{cde}	34.55^{n-q}
	کرج – ۱ (Karaj - 1)	98.60^{e}	7356^{fg}	2612.83^{hi}	35.50^{k-n}
	کرج – ۲ (Karaj - 2)	96.90^{f}	7093.10^{h-i}	2549.50^{jk}	35.94^{h-l}
	کرج – ۳ (Karaj - 3)	92.58^{kl}	6781.17^{lm}	2551.75^{jk}	37.58^{def}
	اکاپی (Okapi)	98.60^{e}	7476.40^{f}	2945.83^{cd}	39.45^{c}
	لیکورد (Licord)	95.70^{f-i}	6962.67^{i-l}	2894.67^{cde}	41.60^{b}
	اپرا (Opera)	96.08^{fgh}	6970.75^{i-l}	2590.33^{ij}	37.04^{e-h}
	زرفام (Zarfam)	96.40^{fg}	7122.50^{hi}	2426.25^{lm}	34.07^{opq}
	SLM-046	91.30^{lm}	6390.10^{n}	2289.25^{op}	35.84^{i-m}
	طلایه (Talayeh)	106.70^{ab}	8940.83^{b}	3092.42^{a}	34.70^{m-p}

میانگین ها دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد می باشند (LSD).

In each colomn means with the same letters are not significantly different at 5% probabiliy level (LSD).

وزن هزار دانه: یکی از اجزای مهم عملکرد دانه، وزن هزاردانه است. دانه‌های قوی و سنگین تضمین‌کننده عملکرد زیاد بوده و برای کاشت مناسب هستند (٣٤). در این بررسی اثرات ساده سال، تنش، ژنوتیپ و میکروارگانیسم بر وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثرات متقابل تمامی ترکیب‌های تیماری به غیر از تنش در ژنوتیپ و میکروارگانیسم در ژنوتیپ غیر معنی‌دار شد (جدول ٣). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و میکروارگانیسم نشان داد که بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ طلایه تحت هر سه شرایط بدون تلقیح و تلقیح بذر با قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* بود و کم‌ترین مقدار وزن هزاردانه نیز تحت هر سه شرایط مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* بود (جدول ٤). تاثیر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر وزن هزاردانه محصولات دیگری از جمله ذرت و ارزن گزارش شده است (٢٨). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و تنش آبی نشان داد که تحت شرایط آبیاری کامل ژنوتیپ طلایه با ٤/٦٤ گرم بیش‌ترین وزن هزار دانه و کم‌ترین وزن هزار دانه با ٣/٧١ گرم مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* بود. همچنین، تحت شرایط تنش ژنوتیپ طلایه با ٤/٠٨ گرم بیش‌ترین وزن هزاردانه و ژنوتیپ *SLM-046* با مقدار ٣/٢٤ گرم کم‌ترین وزن هزاردانه را داشت (جدول ٥). نتایج نشان‌دهنده این است که اندازه نهایی دانه را تا حدود زیادی ژنوتیپ‌ها و نیز شرایط محیطی تعیین می‌کنند. بر اساس گزارش گریگوری (٢٠٠٧)، وقتی که رشد دانه‌ها کامل نشده باشد، تنش خشکی به دانه‌ها خسارت می‌زند و گیاه سعی می‌کند به طور غیر مستقیم برای دانه‌هایی که در حال پر شدن هستند، غذا تهیه کند (٢١). در این شرایط در خورجین‌ها هیچ نشانه ظاهری از تنش دیده نمی‌شود، اما دانه‌های تحت تنش به طور آشکاری در داخل خورجین چروکیده می‌شوند (٢١). حتی اگر چروکیدگی دانه آشکار نباشد، به خاطر کمبود مواد غذایی، اندازه دانه‌ها کوچک‌تر شده و قسمت اعظم دانه‌ها، پوشش بذر چروکیده خواهند داشت.

ارتفاع بوته: همان‌گونه که در جدول ٣ قابل مشاهده است، اثرات ساده و ترکیب تیماری تمامی اثرات متقابل به غیر از اثرات متقابل سال اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه در سطح احتمال پنج و یک درصد داشتند. ترکیب تیماری میکروارگانیسم و ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ طلایه تلقیح شده با *A. siccitolerans* با میانگین ١٠٧/٤ و کم‌ترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* با ارتفاع ٨٦/٥٨ بود (جدول ٤). انیس و همکاران (٢٠١١) نیز در پژوهش خود روی گیاه فلفل سیاه نشان دادند که مایه‌زنی هم‌زمان قارچ‌های تریکودرما شبه میکوریزا باعث افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، وزن تر ساقه و وزن خشک ساقه گیاه گردید (٣). ارتفاع بیش‌تر می‌تواند دلیلی بر وجود تعداد برگ و طول ساقه و در نتیجه سطح فتوسنتز کننده ژنوتیپ نیز نشان داد که ژنوتیپ طلایه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش با میانگین ١١٠/٦ و ١٠٠/٣٣ سانتی‌متر بیش‌ترین مقدار ارتفاع و کم‌ترین مقدار ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* در هر دو شرایط بدون تنش و تنش با میانگین ارتفاع ٩٦/٤٩ و ٨٢/٨ سانتی‌متر بود (جدول ٥).

به‌طور کلی، در دسترس بودن آب و عناصر غذایی ضروری گیاه، از طریق افزایش طول میان گره‌ها ارتفاع گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (٣٥). کاربرد قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* تحت شرایط بدون تنش به ترتیب باعث افزایش ٥/٣ و ٤/٦ درصدی ارتفاع بوته گردید. همچنین، تحت شرایط تنش به ترتیب باعث افزایش ٤/٢ و ٤/١ درصدی ارتفاع بوته شد که نشان دهنده تاثیر مثبت میکروارگانیسم‌های

محرک رشد گیاه تحت هر دو شـرایط تـنش و بـدون تنش می‌باشد (جدول ٦). می‌توان بیان کرد که باکتری‌ها و قارچ‌ها با تاثیر بر روی سیستم ریشه سبب افـزایش جذب آب و مواد غذایی در گیاه شده و همچنـین، از طریق تولید هورمون‌هایی مثل جبرلین کـه روی رشـد طولی سلول‌ها به ویژه میانگره‌های سـاقه و اکسـین و سیتوکنین که روی تقسـیم سـلولی نقـش دارنـد، اثـر گذاشته که نتیجه آن افزایش ارتفاع در گیاه است (١٤). نتایج ضرایب همبستگی این تحقیق نیز نشـان داد کـه ارتفاع گیاه همبستگی بالایی با تمام صفات اندازه‌گیری شده به ویژه شاخص سـطح بـرگ، طـول خـورجین، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک داشت، اما با شاخص عملکرد همبستگی منفی داشت (جدول ٨).

جدول ٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و ژنوتیپ‌ها بر شاخص سطح برگ، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین و تعداد خورجین در بوته ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Table 5- Mean comparison interaction effects of stress and Cultivar on Leaf area index, number of seeds per pod, pod length and number of pods per plant of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping years.

شرایط رطوبتی (Moisture conditions)	ژنوتیپ (Cultivar)	شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per pod	طول خورجین (سانتی‌متر) Pod length(cm)	تعداد خورجین در بوته number of pods per plant
بدون تنش (non-stress)	مودنا (Modena)	4.02 b	25.39 a	7.04 a	99.05 c
	کرج – ١ (Karaj - 1)	3.85 cd	21.7 c	6.15 e	98.44 cd
	کرج – ٢ (Karaj - 2)	3.73 ef	21 def	6.05 fg	97.16 e
	کرج – ٣ (Karaj - 3)	3.7 f	20.78 efg	6.09 ef	95.89 f
	اکاپی (Okapi)	3.8 cde	24.5 b	6.77 b	100.11 b
	لیکورد (Licord)	3.77 def	24.2 b	6.6 c	100.55 b
	اپرا (Opera)	3.76 ef	21.6 cd	5.6 i	98 de
	زرفام (Zarfam)	3.87 c	20.5 fg	5.7 h	95.27 f
	SLM-046	3.4 g	19.1 hi	5.46 j	93.67 g
	طلایه (Talayeh)	4.22 a	24.2 b	7.06 a	106.7 a
تنش (stress)	مودنا (Modena)	3.03 i	20.39 fg	6.25 d	87.28 j
	کرج – ١ (Karaj - 1)	3.05 i	19.44 h	5.3 k	86.05 k
	کرج – ٢ (Karaj - 2)	3 i	18.67 i	5.27 k	87.55 i
	کرج – ٣ (Karaj - 3)	2.85 j	17.94 j	5.3 k	86.05 k
	اکاپی (Okapi)	2.97 i	21.39 cde	6.27 d	90.55 i
	لیکورد (Licord)	2.99 i	20.89 efg	5.97 g	92.67 h
	اپرا (Opera)	2.97 i	18.7 i	4.87 l	90.6 i
	زرفام (Zarfam)	2.98 i	17.39 jk	4.83 l	85.44 kl
	SLM-046	2.65 k	16.7 k	4.6 m	85 l
	طلایه (Talayeh)	3.27 f	20.22 g	6.14 e	96 f

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد می باشند (LSD).

In each colomn means with the same letters are not significantly different at 5% probabiliy level (LSD).

ادامه جدول ٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و ژنوتیپ‌ها بر وزن هزاردانه، ارتفاع بوته، شاخص برداشت و عملکرد بیوماس و دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Table 5- Mean comparison interaction effects of stress and Cultivar on 1000-seed weight, Plant height, Harvest index and Biological and Grain yield of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping years.

شرایط رطوبتی Moisture conditions	ژنوتیپ (Cultivar)	وزن هزار دانه(گرم) 1000-seed weight (g)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height(cm)	عملکرد بیوماس (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield(kg h^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم برهکتار) Grain yield (kg h^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
بدون تنش (non-stress)	مودنا (Modena)	4.17 b	109 b	9006.3 b	3118.2 b	34.7 i
	کرج – ١ (Karaj - 1)	4.107 bc	103.5 c	7828.17 c	2890.39 c	36.94 def
	کرج – ٢ (Karaj - 2)	4.101 bc	101.6 d	7672.27 cd	2856.4 c	37.29 cde
	کرج – ٣ (Karaj - 3)	4.1 bc	97.77 g	7325.7 e	2785.5 d	38.05 c
	اکاپی (Okapi)	4.034 c	102.67 cd	7825.2 c	3113.5 b	39.8 b
	لیکورد (Licord)	4.033 c	99.7 ef	7337.94 e	3047.22 b	41.87 a
	اپرا (Opera)	3.9 d	99.28 ef	7365.1 e	2722.5 e	36.98 def
	زرفام (Zarfam)	3.72 e	98.9 fg	7539.67 d	2623.2 f	34.8 i
	SLM-046	3.71 e	96.49 h	6784.3 g	2476.1 g	36.5 efg
	طلایه (Talayeh)	4.64 a	110.6 a	9745 a	3323.5 a	34.14 i
تنش (Stress)	مودنا (Modena)	3.74 e	99.6 ef	7002 f	2615.4 f	37.5 cd
	کرج – ١ (Karaj - 1)	3.5 f	92.17 j	6540.94 h	2335.6 h	35.77 gh
	کرج – ٢ (Karaj - 2)	3.303 hi	90.11 j	6010.77 i	2163.2 j	36.14 fg
	کرج – ٣ (Karaj - 3)	3.35 h	86.05 l	5743 j	2139.4 j	37.3 cde
	اکاپی (Okapi)	3.48 fg	93.05 j	6728.8 g	2626.2 f	39.07 b
	لیکورد (Licord)	3.52 f	88.39 k	6108.8 i	2593.4 f	42.6 a
	اپرا (Opera)	3.38 gh	89.28 jk	6146.3 i	2283.56 i	37.17 cde
	زرفام (Zarfam)	3.33 hi	90.28 j	6158.6 i	2094.1 k	34.11 i
	SLM-046	3.24 i	82.8 m	5460.89 j	2042.6 l	37.5 cd
	طلایه (Talayeh)	4.08 bc	100.33 e	7806.89 c	2727.67 e	34.96 hi

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد می باشند (LSD).

In each colomn means with the same letters are not significantly different at 5% probabiliy level (LSD).

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده سال، تنش، میکروارگانیسم و ژنوتیپ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در تمامی مقایسات اثرات ساده در سطح احتمال یک درصد بود. اثر متقابل تمامی سطوح تیماری نیز همانند اثرات ساده به غیر از اثرات متقابل سال، تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک داشتند (جدول ٣). نتایج مقایسه میانگین ترکیب تیماری تنش و ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مربوط به ژنوتیپ طلایه با عملکرد ٩٧٤٥ کیلوگرم در شرایط بدون تنش و ٧٨٠٦/٨٩ کیلوگرم تحت شرایط تنش خشکی بود. همچنین، کم‌ترین عملکرد بیولوژیک تحت هر دو شرایط مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* با عملکرد ٦٧٤٨/٣ کیلوگرم در شرایط بدون تنش و ٥٤٦٠/٨٩ کیلوگرم تحت شرایط تنش بود، اما بیش‌ترین کاهش عملکرد تحت شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری معمول مربوط به

ژنوتیپ مودنا با کاهش ۲۰۰٤/۳ کیلوگرم و کم‌ترین کاهش مربوط به ژنوتیپ اکاپی با کاهش ۱۰۸٦/٤ کیلوگرم بود (جدول ۵). نتایج استفاده از باکتری آرتروباکتر و قارچ *P. indica* بر روی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نشان داد که ژنوتیپ طلایه تلقیح شده با آرتروباکتر با عملکرد ۹۱۷۷/٤ کیلوگرم بیش‌ترین عملکرد و ژنوتیپ *SLM-046* با عملکرد ۵۵۸۰ کیلوگرم در شرایط بدون استفاده از میکروارگانیسم کم‌ترین عملکرد را داشت (جدول ۵). یافته‌های این تحقیق با نتایج آنتونیو که گزارش نمودند استفاده از گونه‌های *Arthrobacter* به طور واضح باعث افزایش وزن شاخه‌های یونجه و فلفل می‌گردد (۵) مطابقت داشت. مقایسه نتایج حاصل از اثرات متقابل تنش و میکروارگانیسم نشان داد که بیش‌ترین عملکرد با میزان ۸۱۸۷/۷ کیلوگرم تحت شرایط آبیاری معمول و تلقیح با آرتروباکتر به‌دست آمد و کم‌ترین عملکرد تحت شرایط تنش بدون تلقیح با عملکرد ۵۷۷۲/۳۷ کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ٦). مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ طلایه تحت شرایط بدون تنش خشکی با میانگین عملکرد ۱۰۱۷۹/۵ و ۹۹۹۲/۱۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب تحت شرایط استفاده از میکروارگانیسم *A. siccitolerans* و قارچ *P. indica* بیش‌ترین عملکرد را داشت و کم‌ترین عملکرد بیولوژیک نیز با میانگین ٤۹۰٦/۳ مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* تحت شرایط تنش خشکی و بدون استفاده از میکروارگانیسم بود (جدول ۷).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و میکرو ارگانیسم‌ها بر شاخص سطح برگ، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین و ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Table 6- Mean comparison interaction effects of stress and Microorganisms on on Leaf area index, number of seeds per pod, pod length and Plant height of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping years.

شرایط رطوبتی (Moisture conditions)	میکروارگانیسم‌ها (Microorganisms)	شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per pod	طول خورجین (سانتی‌متر) Pod length (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height(cm)
بدون تنش (Non-stress)	بدون تلقیح (No inoculation)	3.62 b	21.3 c	5.92 c	98.6 b
	Arthrobacter siccitolerans	3.94 a	23.25 a	6.5 a	103.9 a
	piriformospora indica	3.89 a	22.33 b	6.34 b	103.2 a
تنش (Stress)	بدون تلقیح (No inoculation)	2.81 e	18.3 f	5.34 f	88.7 d
	Arthrobacter siccitolerans	3.1 c	19.9 d	5.58 d	92.46 c
	piriformospora indica	3.02 d	19.3 e	5.52 e	92.4 c

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند (LSD).

In each colomn means with the same letters are not significantly different at 5% probabiliy level (LSD).

ادامه جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و میکروارگانیسم‌ها بر شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک و دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Table 6- Mean comparison interaction effects of stress and Microorganisms on Harvest index and Biological and Grain yield of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping years.

شرایط رطوبتی (Moisture conditions)	میکروارگانیسم‌ها (Microorganisms)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield ($kg\ h^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield ($kg\ h^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
بدون تنش (Non-stress)	بدون تلقیح (No inoculation)	7285.8 [c]	2739.57 [c]	37.7 [b]
	Arthrobacter siccitolerans	8187.7 [a]	3019.85 [a]	37.06 [c]
	piriformospora indica	8055.3 [b]	2935.67 [b]	36.57 [c]
تنش (Stress)	بدون تلقیح (No inoculation)	5772.37 [e]	2203.85 [e]	38.3 [a]
	Arthrobacter siccitolerans	6690.6 [d]	2445.55 [d]	36.65 [c]
	piriformospora indica	6649.07 [d]	2437 [d]	36.69 [c]

میانگین ها دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی دار در سطح ٥ درصد می باشند (LSD).

In each colomn means with the same letters are not significantly different at 5% probabiliy level (LSD).

تنش آبی به واسطه کاهش پتانسیل آب خاک و کاهش توانایی جذب آب توسط گیاه موجب تنش و کاهش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌گردد، اما نتایج فوق نشان‌دهنده تاثیر مثبت تلقیح ژنوتیپ‌های کلزا با قارچ *P. indica* و *A. siccitolerans* می‌باشد که در هر دو شرایط تنش و آبیاری معمول باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه احتمالاً با بهبود وضعیت ریشه و همچنین، تغییر شرایط pH خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر شد. تاثیر تلقیح انواع بذرها با میکروارگانیسم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات توسط محققین مختلف گزارش شده است. برای مثال، هنری و همکاران (٢٠٠٨) نیز اظهار داشتند استفاده از باکتری‌ها علاوه بر افزایش قابلیت جذب عناصر نامحلول خاک، از طریق ترشح هورمون و فاکتورهای تحریک‌کننده رشد، روی رشد و نمو گیاهان تاثیر می‌گذارند (٢٤). رامانجانلو و همکاران (٢٠١٠) نیز بیان کردند که کاربرد ازتوباکتر به همراه باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش وزن خشک علوفه سورگوم شد (٣٢). احتمالاً افزایش سطح و گسترش ریشه گیاه در اثر تلقیح با میکروارگانیسم‌ها و همچنین، تاثیرات هورمونی بر روی رشد و توسعه اندام‌های هوایی و تامین شرایط جدید برای ریزوسفر به کمک تغییر اسیدیته ناشی از اثرات باکتری و قارچ باشد که نه تنها باعث تامین مناسب عناصر ماکرو می‌گردد، بلکه به نظر می‌رسد با قابلیت تنظیم کنندگی رشد و تامین هم‌زمان عناصر محدودکننده میکرو باعث افزایش بیش‌تر صفات گیاه و به دنبال آن افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه کلزا می‌گردد. نتایج ضریب همبستگی عملکرد بیولوژیک با صفات اندازه‌گیری، نشان‌دهنده همبستگی بالای این صفت با با تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده به غیر از شاخص برداشت بود (جدول ٨).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ، میکروارگانیسم و تنش بر تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته، ارتفاع بوته، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک و دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Table 7- Mean comparison interaction effects of Cultivar, Microorganisms and stress on number of seeds per pod, number of pods per plant, Plant height, Harvest index and Biological and Grain yield of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping year.

شرایط رطوبتی (Moisture conditions)	میکروارگانیسم‌ها (Microorganisms)	ژنوتیپ (Cultivar)	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per pod	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield(kg h^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg h^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
بدون تنش (Non-stress)	بدون تلقیح (No inoculation)	مودنا (Modena)	24.17 ^{de}	96.67 $^{i-n}$	104.5 ^{cd}	8254.00 ^{d}	2995.67 ^{d}	36.28 $^{k-n}$
		کرج-۱ (Karaj-1)	21.17 $^{i-n}$	95.17 $^{n-r}$	101.00 $^{e-h}$	7373.17 ^{ijk}	2762.33 ^{ej}	37.48 $^{g-k}$
		کرج-۲ (Karaj-2)	20.33 $^{l-r}$	96.67 $^{j-n}$	99.83 $^{f-i}$	7098.50 $^{k-n}$	2717.00 $^{g-l}$	38.28^{f-k}
		کرج-۳ (Karaj-3)	20.17 $^{m-s}$	94.33 ^{pqr}	95.00 $^{l-o}$	6819.83 ^{nop}	2637.67 ^{klm}	38.68^{f-j}
		اکاپی (Okapi)	22.83 ^{fgh}	96.83 $^{i-n}$	97.50 ^{ijk}	7143.50 ^{klm}	2850.85^{ef}	39.95^{d-h}
		لیکورد (Licord)	22.83 ^{fgh}	98.17 ^{hij}	96.33 ^{jkl}	6951.67 $^{l-o}$	2835.58^{ef}	41.11^{cd}
		اپرا (Opera)	20.83 $^{j-p}$	95.50 $^{m-r}$	95.50 $^{k-n}$	6908.30 $^{l-o}$	2576.30^{mno}	37.32 $^{g-k}$
		زرفام (Zarfam)	19.50 $^{p-t}$	92.67 $^{q-t}$	95.33 $^{k-n}$	6992.30 $^{l-o}$	2495.00 ^{no}	35.68 ^{opq}
		SLM-046	18.00 $^{u-x}$	90.67^{r-u}	93.33 $^{l-p}$	6253.67 st	2337.50 ^{qrs}	37.38^{g-k}
		طلایه (Talayeh)	23.50 ^{ghi}	102.33 ^{c}	108.00 ^{b}	9063.33 ^{c}	3187.67 ^{b}	35.16 $^{r-u}$
	Arthrobacter siccitolerans	مودنا (Modena)	27.00 ^{a}	100.83^{c-f}	111.83 ^{a}	9619.83 ^{b}	3204.17 ^{b}	33.31 ^{xy}
		کرج-۱ (Karaj-1)	21.83 $^{h-k}$	100.3^{def}	105.17 ^{c}	8098.5 ^{de}	3072.17 ^{cd}	37.95 $^{f-k}$
		کرج-۲ (Karaj-2)	21.50^{h-m}	96.67^{i-l}	102.33 ^{def}	8005.17 ^{def}	2979.00 ^{d}	37.23^{g-k}
		کرج-۳ (Karaj-3)	21.33 $^{i-m}$	96.50 $^{j-o}$	99.67 ^{ghi}	7652.30 ^{ghi}	2854.50 ^{ef}	37.3 $^{g-k}$
		اکاپی (Okapi)	26.17 ^{ab}	102.50^{c}	105.83 ^{c}	8239.30 ^{d}	3339.68 ^{a}	40.50^{def}
		لیکورد (Licord)	26.00 ^{abc}	101.6 ^{cde}	101.33 ^{efg}	7557.67 ^{hi}	3221.17 ^{b}	42.61^{ab}
		اپرا (Opera)	22.50 ^{ghi}	100.0^{efg}	101.67 ^{efg}	7629.30 ^{ghi}	2792.67 ^{ej}	36.62 $^{j-m}$
		زرفام (Zarfam)	21.00 $^{j-o}$	96.83 $^{i-n}$	101.67 ^{efg}	7717.00 ^{fgh}	2696.00 $^{h-l}$	34.93 $^{s-v}$
		SLM-046	20.33 $^{l-r}$	95.83^{m-q}	97.63 ^{ijk}	7180.83 ^{klm}	2618.17 ^{lm}	36.47^{j-m}
		طلایه (Talayeh)	24.83 ^{cd}	110.5 ^{a}	112.50 ^{a}	10179.50 ^{a}	3421.07 ^{a}	33.06 ^{xyz}
	piriformospora indica	مودنا (Modena)	25.00 ^{bcd}	99.67^{fgh}	110.67 ^{a}	9145.13 ^{c}	3154.83 ^{bc}	34.50 $^{u-y}$
		کرج-۱ (Karaj-1)	22.17 ^{hij}	99.83^{fg}	104.33 ^{cd}	8012.83 ^{def}	2836.67 ^{ef}	35.55 $^{o-r}$
		کرج-۲ (Karaj-2)	21.17 $^{i-n}$	97.17^{i-m}	103.67 ^{def}	7913.17 ^{efg}	2873.30 ^{e}	36.35 $^{k-n}$
		کرج-۳ (Karaj-3)	20.83 $^{j-p}$	96.83 $^{i-n}$	98.67 ^{hij}	7505.00 ^{hij}	2864.30 ^{e}	38.16 $^{f-k}$
		اکاپی (Okapi)	24.50 ^{de}	101.00^{c-f}	104.67 ^{cd}	8092.80 ^{de}	3150.00 ^{bc}	38.91^{f-j}
		لیکورد (Licord)	22.83 ^{fgh}	101.8^{cd}	101.5 ^{efg}	7506.5 ^{hij}	3165.80 ^{bc}	42.17 ^{bc}
		اپرا (Opera)	21.50^{h-m}	98.5 ^{ghi}	100.67 $^{e-h}$	7557.67 ^{hi}	2798.50 $^{e-h}$	37.02 $^{h-l}$
		زرفام (Zarfam)	21.00 $^{j-o}$	96.33 $^{j-n}$	99.83 $^{f-i}$	7909.67 ^{efg}	2678.67 $^{j-m}$	33.85 ^{uxy}
		SLM-046	19.00 $^{r-u}$	94.50^{pqr}	98.50 ^{ghi}	6918.50 $^{l-o}$	2472.67 ^{op}	35.75 ^{opq}
		طلایه (Talayeh)	24.33 ^{de}	107.33 ^{b}	111.30 ^{a}	9992.17^{a}	3361.83 ^{a}	33.97 ^{xy}

ادامه جدول ٧- مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ، میکروارگانیسم و تنش بر تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته، ارتفاع بوته، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک و دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی.

Continue the table 7- Mean comparison interaction effects of Cultivar, Microorganisms and stress on number of seeds per pod, number of pods per plant, Plant height, Harvest index and Biological and Grain yield of different rapeseed cultivars under stress and non-stress conditions and microorganisms during two cropping year.

شرایط رطوبتی (Moisture conditions)	میکروارگانیسم ها (Microorganisms)	ژنوتیپ (Cultivar)	دانه در خورجین No. of seeds per pod	تعداد خورجین در بوته number of pods per plant	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	عملکرد بیوماس (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield(kg h^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg h^{-1})	شاخص برداشت (درصد) (%) Harvest index
		مودنا (Modena)	19.83^{n-t}	86.00^{wxy}	95.83^{kl}	6124.03^{stu}	2367.16^{pqr}	38.67^{f-j}
		کرج-١ (Karaj-1)	18.83^{s-v}	84.30^{yz}	90.33^{p-t}	5926.00^{uv}	2145.67^{uvw}	36.23^{lmn}
		کرج-٢ (Karaj-2)	18.50^{t-w}	84.83^{xyz}	88.67^{tu}	5349.83^{xyz}	2036.17^{xy}	38.11^{f-k}
	بدون تلقیح (No inoculation)	کرج-٣ (Karaj-3)	17.17^{wx}	84.17^{yz}	84.33^{y}	5119.67^{xyz}	1967.00^{yz}	38.42^{f-j}
		اکاپی (Okapi)	20.50^{k-r}	87.50^{tuv}	92.17^{o-q}	6103.83^{stu}	2376.67^{pq}	38.97^{f-j}
		لیکورد (Licord)	20.17^{m-s}	89.33^{r-u}	86.33^{xy}	5658.17^{vwx}	2471.50^{op}	43.76^{a}
		اپرا (Opera)	17.33^{wx}	89.00^{stu}	86.83^{xy}	5640.00^{v-y}	2195.67^{t-w}	38.95^{f-j}
		زرفام (Zarfam)	16.83^{x}	84.17^{yz}	88.50^{xy}	5640.50^{v-y}	1985.33^{yz}	35.83^{nop}
		SLM-046	14.83^{y}	83.00^{z}	79.83^{z}	4906.30^{z}	1910.68^{z}	38.98^{f-j}
		طلایه (Talayeh)	19.00^{r-u}	94.17^{qrs}	96.50^{jkl}	7355.00^{ijk}	2582.46^{mn}	35.11^{r-u}
		مودنا (Modena)	21.17^{i-n}	88.67^{stu}	102.33^{def}	7169.33^{klm}	2813.00^{efg}	39.25^{e-i}
		کرج-١ (Karaj-1)	19.83^{n-t}	87.33^{t-w}	93.33^{l-p}	6997.67^{l-o}	2472.17^{op}	35.38^{p-s}
تنش (stress)		کرج-٢ (Karaj-2)	19.50^{p-t}	89.17^{stu}	90.50^{p-t}	6409.50^{qrs}	2227.87^{tuv}	34.76^{t-w}
	Arthrobacter siccitolerans	کرج-٣ (Karaj-3)	18.83^{s-v}	87.17^{t-w}	87.33^{ux}	6052.00^{tu}	2212.17^{t-w}	36.58^{j-m}
		اکاپی (Okapi)	21.67^{i-n}	92.17^{r-u}	94.50^{lmn}	7227.67^{jkl}	2760.33^{e-j}	38.25^{f-k}
		لیکورد (Licord)	21.50^{h-m}	94.83^{o-r}	89.00^{tu}	6249.5st	2685.33^{i-m}	42.98^{ab}
		اپرا (Opera)	19.50^{p-t}	91.67^{r-u}	89.50^{tu}	6415.67^{qrs}	2272.83^{rst}	35.50^{o-r}
		زرفام (Zarfam)	17.83^{u-x}	88.00^{s-v}	91.33^{o-s}	6600.00^{pqr}	2123.17^{vwx}	32.21^{z}
		SLM-046	17.83^{u-x}	86.33^{u-x}	84.50^{y}	5614.67^{v-y}	2111.3^{wx}	37.75^{g-k}
		طلایه (Talayeh)	21.50^{h-m}	97.83^{ijk}	102.30^{def}	8175.33^{de}	2777.3^{e-j}	33.97^{uxy}
		مودنا (Modena)	20.17^{m-s}	87.17^{t-w}	100.67^{e-h}	7712.00^{fgh}	2666.17^{j-m}	34.60^{t-x}
		کرج-١ (Karaj-1)	19.67^{o-u}	86.50^{u-x}	92.83^{l-p}	6999.17^{opq}	2389.00^{pq}	35.75^{opq}
	piriformospora indica	کرج-٢ (Karaj-2)	18.00^{u-x}	88.67^{stu}	91.16^{n-q}	6273.00st	2225.67^{tuv}	35.52^{o-r}

کرج-۳ (Karaj-3)	17.83 u-x	86.83 uvw	86.5 xy	6057.33 tu	2239.17 stu	37.00 h-l
اکاپی (Okapi)	22.00 hij	92.00 r-t	92.5 m-p	6860.00 m-p	2741.63 f-k	40.00 d-g
لیکورد (Licord)	21.00 j-o	93.83 q-t	89.83 tu	6418.83 qrs	2623.35 lm	41.00 cd
اپرا (Opera)	19.33 q-t	91.17 r-u	91.50 n-q	6383.83 rs	2382.17 pq	37.07 h-l
زرفام (Zarfam)	17.50 v-x	84.17 yz	93.00 l-p	6335.30 rst	2173.83 t-w	34.30 uxy
SLM-046	17.50 v-x	85.67 wxy	84.17 y	5861.67 uve	2105.83 wx	35.93 mno
طلایه (Talayeh)	20.17 m-s	96.00 l-p	102.17 d-g	7889.5 efg	2823.00 efg	35.80 nop

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می باشند (LSD).

In each colomn means with the same letters are not significantly different at 5% probabiliy level (LSD).

عملکرد دانه: با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول۳) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در عملکرد دانه کلزا در اثرات ساده سال، تنش، میکروارگانیسم و ژنوتیپ مشاهده گردید. همچنین، اثر متقابل تمامی ترکیب‌های تیماری به غیر از اثرات متقابل سال، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه داشتند. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و میکروارگانیسم‌ها نیز نشان داد که ژنوتیپ طلایه تحت شرایط تیمار با باکتری *A. siccitolerans* و قارچ *P. indica* به ترتیب با عملکرد ۳۰۹۹/۱۷ و ۳۰۹۲/٤۲ کیلوگرم در هکتار با بیش‌ترین عملکرد در یک گروه آماری قرار گرفتند و کم‌ترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* با عملکرد ۲۱۲٤/۰۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ٤). اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه نسبت به حالت بدون همزیستی توسط زالی و همکاران (۲۰۱٦) نیز گزارش شده است (٤٥). این قارچ احتمالاً با تشکیل کلونیزاسیون (*P. indica*- ریشه) منجر به بهتر شدن عملکرد و کارایی گیاه در همه جهات به‌ویژه گسترش رشد ریشه و افزایش ترشح استیک اسید که به نوبه خود باعث افزایش جذب عناصر غذایی مغذی و بهبود رشد و عملکرد محصول می‌گردد. اعمال تنش آبی بر روی ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ *SLM-046* با عملکرد ۲۰٤۲/٦ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد و ژنوتیپ طلایه در شرایط آبیاری کامل دارای بیش‌ترین عملکرد به میزان ۳۳۲۳/۵ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط تنش آبی نیز بیش‌ترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ طلایه با میانگین ۲۷۲۷/٦۷ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* با عملکرد ۲۰٤۲/٦ کیلوگرم در هکتار بود، اما بیش‌ترین کاهش عملکرد در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ کرج -۲ با ٦۹۳ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* با ٤۳۳/۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که عملکرد دانه به وسیله کمبود آب به وجود آمده از گل‌دهی تا پایان پر شدن دانه تحت اثر قرار می‌گیرد و در شرایط تنش کم آبی، ژنوتیپ‌هایی از کلزا که قادر باشند مقدار آب بیش‌تری را حفظ نمایند، دارای عملکرد دانه بیش‌تری خواهند بود (٤٦). این نتایج با نتایج کیفوما و همکاران (۲۰۰٦) که بیان نمودند تنش آبی در مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه تأثیر منفی بر عملکرد دارد (۳۱)، مطابقت داشت. از آنجایی که خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است، ضمن تعیین توزیع پوشش گیاهی باعث محدودیت تولید در بخش کشاورزی می‌گردد (٤۳). نتایج بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و استفاده و عدم استفاده قارچ و باکتری‌های محرک رشد گیاه نیز نشان داد که استفاده از باکتری

آرتروباکتر باعث افزایش عملکرد به میزان ۳۷ درصد در شرایط بدون تنش نسبت به شرایط تنش بدون تلقیح شد این میزان افزایش نسبت به شرایط بدون تنش بدون تلقیح به میزان ۱۰ درصد بود (جدول ٦). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ طلایه و اکاپی تحت شرایط بدون تنش خشکی و استفاده از میکروارگانیسم *A. siccitolerans* به ترتیب با میانگین ۳٤۲۱ و ۳۳۳۹/٦۷ کیلوگرم در هکتار و همچنین، ژنوتیپ طلایه تحت شرایط بدون تنش خشکی و استفاده از میکروارگانیسم *P. indica* با میانگین ۳۳٦۱/۸۳ کیلوگرم در هکتار بود که در یک گروه آماری قرار گرفتند. کم‌ترین عملکرد نیز مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* تحت شرایط تنش خشکی و بدون استفاده از میکروارگانیسم با میانگین ۱۹۱۰/٦۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۷). نتایج نشان داد ژنوتیپ‌هایی که طول خورجین بلندتری دارند عملکرد بیش‌تری نیز تولید می‌کنند. در کل برای دست‌یابی به ژنوتیپ‌هایی پرمحصول باید به دنبال گزینش ژنوتیپ‌هایی بود که از لحاظ طول خورجین، تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین در حد بالایی باشد. از آنجایی که صفات اندازه‌گیری شده از اجزای عملکرد کلزا بودند، عملکرد دانه همبستگی بالایی با تمامی صفات اندازه‌گیری شده نشان داد (جدول ۸). در کل، نتایج بیانگر آن است که به طور عمده تیمار تنش کم آبی به هنگام گل‌دهی و پرشدن دانه ها احتمالاً به دلیل عرضه کم‌تر مواد فتوسنتزی و مشکل تلقیح و ریزش گل و خورجین‌های در حال رشد باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد. در ضمن تنش از طریق کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌تواند باعث کاهش وزن هزار دانه شود، با کاهش این اجزا، عملکرد دانه نیز کاهش می‌یابد.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده طی دو سال انجام آزمایش.

Table 8- Correlation coefficient between characters measuring during two cropping years.

	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیوماس Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه 1000-Seed weight	تعداد ساقه های اصلی No. main stems	تعداد خورجین در بوته No. pods per plant	طول خورجین Pod length	دانه در خورجین No. seeds per pod	شاخص سطح برگ Leaf area index
عملکرد دانه Grain yield	1									
عملکرد بیوماس Biological yield	0.78**	1								
شاخص برداشت Harvest index	0.32**	-0.42**	1							
ارتفاع بوته Plant height	0.73**	0.88**	-0.31**	1						
وزن هزار دانه 1000-Seed weight	0.73**	0.69**	0.13*	0.7**	1					
تعداد ساقه های اصلی No. main stems	0.55**	0.69**	-0.27**	0.63**	0.61**	1				
تعداد خورجین در بوته No. pods	0.84**	0.72**	0.1ns	0.65**	0.65**	0.51**	1			
طول خورجین Pod length	0.89**	0.75**	0.14*	0.72**	0.65**	0.54**	0.77**	1		
دانه در خورجین No. seeds per pod	0.78**	0.63**	0.15*	0.58**	0.5**	0.4**	0.7**	0.78**	1	
شاخص سطح برگ Leaf area index	0.65**	0.77**	-0.26**	0.7**	0.59**	0.55**	0.66**	0.59**	0.53**	1

** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

** and * are mean significant at the level of 1 and 5%, respectively.

شاخص برداشت: شاخص برداشت معیاری از کارایی تخصیص مواد فتوسنتزی تولیده شده در گیاه به دانه است. نتایج مربوط به تجزیه واریانس مرکب شاخص برداشت (نسبت وزن خشک دانه به وزن خشک کل گیاه) در (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثرات ساده ژنوتیپ و میکروارگانیسم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند، اما اثرات ساده سال و تنش اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشتند. اثر متقابل تمامی ترکیب‌های تیماری به غیر از اثرات متقابل سال، تفاوت معنی‌داری درسطح احتمال یک درصد و پنج درصد بر شاخص برداشت داشتند. مقایسات میانگین نتایج اثرات متقابل تنش و ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ لیکورد تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب با میانگین ٤٢/٦ و ٤١/٨٧ درصد بیش‌ترین و ژنوتیپ طلایه، مودنا و زرفام تحت شرایط بدون تنش و زرفام تحت شرایط تنش به ترتیب با میانگین ٣٤/١٤، ٣٤/٧، ٣٤/٨ و ٣٤/١١ درصد ضمن قرار گرفتن در یک گروه آماری کم‌ترین شاخص برداشت را داشتند (جدول ۵). این نتایج با نتایج انجالبرت و همکاران (۲۰۱۳) که گزارش کردند که آغاز زودهنگام گلدهی، ارتفاع بوته نسبتاً کوتاه به همراه شاخص برداشت بالا از خصوصیات سازگاری بهتر با شرایط تنش در ژنوتیپ‌های کلزا است و تنها تولید ماده خشک زیاد و وزن هزار دانه بالا نمی‌تواند تضمین کننده عملکرد دانه مناسب باشد (۱۷)، مطابقت داشت. نتایج مقایسات میانگین ترکیب تیماری تلقیح و ژنوتیپ نشان داد که بالاترین میانگین شاخص برداشت مربوط به ترکیب تیماری لیکورد تلقیح شده با *A. siccitolerans* با میانگین ٤٢/٨ درصد و پایین‌ترین میانگین مربوط به ژنوتیپ زرفام تلقیح شده با *A. siccitolerans* با میانگین ٣٣/٥٧ درصد بود (جدول ۵). نتایج بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش و استفاده و عدم استفاده قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* محرک رشد گیاه نیز نشان داد که بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین ٣٨/٣ درصد مربوط به تیمار تنش بدون تلقیح و کم‌ترین میانگین مربوط به ترکیب تیماری بدون تنش تلقیح شده با قارچ *P. indica* با میانگین ٣٦/٥٧ درصد بود (جدول ٦). مهم‌ترین دلیل اثر پایین استفاده از *A. siccitolerans* بر شاخص برداشت می‌توان به تاثیر بیشتر این میکروارگانیسم بر عملکرد بیولوژیک نسبت به عملکرد دانه اشاره کرد که این امر باعث کاهش شاخص برداشت می‌گردد. این شاخص بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد دانه داشته و با صفات ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، تعداد ساقه‌های اصلی و شاخص سطح برگ همبستگی منفی داشت (جدول ۸).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان گفت که تنش خشکی، ژنوتیپ و تلقیح به شدت بر شاخص‌های رشد و عملکرد کلزا تاثیرگذار بود. نتایج نشان داد که ژنوتیپ طلایه تحت هر دو شرایط تنش خشکی و شرایط آبیاری معمول بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را داشت. ژنوتیپ کرج-۲ بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه را در اثر اعمال تنش خشکی نشان داد و کم‌ترین کاهش عملکرد دانه در اثر اعمال تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ *SLM-046* بود. تلقیح بذرهای کلزا با قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitoleran* باعث بهبود و افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نسبت به شرایط بدون تلقیح (شاهد) شد و تحت شرایط تلقیح با قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitoleran* بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه مربوط به رقم اکاپی و بیش‌ترین افزایش عملکرد بیولوژیک مربوط به ژنوتیپ مودنا بود. در کل تنش خشکی باعث کاهش

عملکرد دانه و بیولوژیک و در مقابل تلقیح بذرها با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* باعث بهبود عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شدند.

Refrences

1. Afsharmohammdian, M., Ghanati, F., Ahmadiani, S., and Sadrzamani, K. 2016. Effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes and soluble sugars content of pennyroyal (*Mentha pulegium* L. Nova Biol Reperta. 3: 3. 228-237. (In Persian)
2. Ahmadi, M., and Bahrani, M.J. 2009. Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. Am Eurasian J Agric Environ Sci. 5: 6. 755-761.
3. Anith, K.N., Faseela, K.M., Archana, P.A., and Prathapan K.D. 2011. Compatibility of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* as dual inoculants in black pepper (*Piper nigrum.* L). Symbiosis. 55: 1. 11-17.
4. Anjum, S. A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali, I., Tabassum, T., and Nazir, U. 2017. Growth and developmental responses of crop plants under drought stress: a review. Zemdirbyste Agriculture. 104: 3. 267-276.
5. Antonio, J., Gonzalez, F., Martinez, P., Jose, F., Diaz1, C., Pablo, J., Martinez-Molina, E., Toro, N., Susannah, G., and Manuel Fernandez, L. 2017. The rhizosphere microbiome of burned holm-oak: potential role of the genus Arthrobacter in the recovery of burned soils. Sci Rep.7: 1. 1-12.
6. Arraus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.O., and Royo, C. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for?. Annals of Botany. 89: 7. 925-940.
7. Barati, M., Majidi, M.M., Safari, M., Mirlohi, A., Zeinalinejad, K.H. 2017. Evaluation of drought tolerance indices andp traits in cultivated and wild barley. Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing. 7: 2. 1-18.
8. Betran, F.J., Beck, D., Banziger, M., and Edmeades, G.O. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. Crop Sci. 43: 3. 807-817.
9. Bushra, T., Anwar, K., Muhammad, T., and Memmona, R. 2017. Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. Appl. Soil Ecol. 121: 3. 102-117.
10. Cakmak, I., and Horst, W. 2006. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glysin max*). Physiol Plant. 83: 3. 463-468.
11. Deshmukh, S., Huckelhoven, R., Schafer, P., Imani, J., Sharma, M., Weiss, M., Waller, F., and Kogel, K. H. 2006. The root endophytic fungus *Piriformospora indica* requires host cell death for proliferation during mutualistic symbiosis with barley. Proc Natl Acad Sci. 10349.18457.
12. Din, J., Khan, S.U., Ali, I., and Gurmani, A.R. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. J. Anim Plant Sci. 21: 1. 78-82.
13. Egamberdiyevaa, D., Juraeva, D., Poberejskaya, S., Myachina, O., Teryuhova, P., Seydalieva, L., and Aliev, A. 2006. Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilizing bacteria: 26th Southern Conservation Tillage Conference.
14. Ehteshami, S.M.R., Kashani, M., and Yousefi Rad, M. 2014. Effect of Seed inoculation with Pseudomonas and Azotobacter bacteria on quantitative and qualitative yield of two sesame cultivars. J. of Seed Sci Res. 3: 3. 47-57. (In Persian)
15. Enjalbert, J.N., Zheng, S., Johnson, J.J., Mullen, J.L., Byrne, P.F., and McKay, J.K. 2013. Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality

traits under drought stress. Ind Crops Prod. 47: 3. 176-185.
16. Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M., and Gunes, A. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. Sci Hortic. 124: 1. 62-66.
17. Fallah Haki, M.H., Yadavi, A.R., Movahedi Dehnavi, M., and Bonyadi, M. 2012. Effect of planting date on physiologic and morphologic characteristics of four canola cultivars in Yasooj. Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing. 2: 4. 53-66. (In Persian)
18. Franken, P. 2012. The plant strengthening root endophyte *Piriformospora indica*: potential application and the biology behind. Appl Microbiol Biotechnol. 96: 6. 1455-1464.
19. Ghabooli, M., Khatabi, B., Farajolah, S.A., Sepehri, M., Mirzaei, M., Amirkhani, A., Jorrrn-Novo, J.V., and Hosseini Salekdeh, G. 2013. Proteomics study reveals the molecular mechanisms underlying water stress tolerance induced by *Piriformospora indica* in barley. J. Proteomics. 6: 94. 289-301.
20. Gill, S., Gill, R., Dipesh, K., Naser, A., Krishna, K., Mohammed, W., Abid, A., Atul, K., Ram Prasad, J., Pereira, P., Varma, A., and Tuteja, N. 2016. *Piriformospora indica* potential and significance in plant stress tolerance. Front Microbiol. 22: 7. 1-20.
21. Gregorie, T. 2007. Canola- high temperature and drought. http://www.ag.ndsu.edu. Accessed April. 15.
22. Gunasekara, C.P., Martin, L.D., French, R. J., Siddique, K.H.M., and Walton, G.H. 2003. Effects of water stress on water relations and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica napus* L.) 11th Australian Agronomy Conference, Geelong. Australia.
23. Hassanzadeh, M., Naderi M., and Shirani Rad, A. 2005. Effect of drought stress on yield and yield components of autumn canola varieties in Isfahan region. Iran Agric Res. 2: 2. 51-62. (In Persian)
24. Henri, F., Laurette, N.N., Annette, D., John, Q., Wolfgang, M., François-Xavier, E., and Dieudonne, N. 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. Afr J Microbiol Res. 2: 7. 171-178.
25. Izanlu, A., Zeynali Khanghah, H., Hossein-Zade, A.H., Majnun Hosseini, N., and Sabokdast, M. 2005. Evaluation of commercial soybean genotypes reflection in water stress conditions at terminal reproductive stage. Iran J Agric Sci. 36: 4. 1011- 1023.
26. 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. Iranian J Field Crops Res 15: 4. 914-924.(In Persian)
27. Krishna, Sh., Vurukonda, p., Vardharajula, s., and Shrivastava. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiol Res. 1: 184. 13-24.
28. Martin, X.M., Sumathi, C.S., and Kannan, V.R. 2011. Influence of agrochemicals and *Azotobacter* sp. application on soil fertility in relation to maize growth under nursery conditions. Eurasian Journal of BioSciences 5: 1. 19-28.
29. Molla, A.H., Haque, M., Haque, A., and Ilias, G.N.M. 2012. Trichoderma-enriched biofertilizer enhances production and nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and minimizes NPK fertilizer use. Agric Res. 1: 3. 265-272.
30. Patten, C.L. and Glick, B.R. 2002. Role of pseudomonas putida indoleacetic acid in development of host plant root system. Appl Environ Microbiol. 68: 8. 3795-3801.
31. Qifuma, Sh., Niknam, 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.

32. Ramanjaneyulu, A.V., Giri, G., and Kumar, S.R. 2010. Biofertilizers, nitrogen and phosphorus on yield and nutrient farming systems. Plant Soil. 349: 2. 89-120.
33. Sardhara, K., and Mehta, K. 2018. Effects of abiotic and biotic stress on the plant. J. Bot Sci. 1: 1. 5-9.
34. Sana, M.A., Ali, M., Asghar, M., Farrukh Saleem. M., and Rafiq. M. 2003. Comparative yield potential and oil contents of different canola cultivars (*Brassica napus* L.). J. Agron. 2: 1. 1-7.
35. Sarmadnia, G., and Koocheki, A. 2004. Phisiology of crop plants. Jihad Daneshgahi of Mashhad Publication. Mashhad, Iran, Pp: 223-267. (In Persian)
36. Siddiqui, I.A., and Shaukat, S.S. 2004. *Trichoderma harzianum* enhances the production of nematicidal compounds in vitro and improves biocontrol of *Meloidogyne javanica* by *Pseudomonas fluorescens* in tomato. Lett Appl Microbiol. 38: 2. 169-175.
37. Sinaki, J.M., Majidi Heravan, E., Shirani, A.H., Rad, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). Am Eurasian J. Agric Environ Sci. 2: 2. 417-424.
38. Sindhu, S., Suneja, S., Goel, S., Parmar, N.K., and Dadarwal, R. 2002. Plant growth promoting effects of *Pseudomonas* sp. on coinoculation with *Mesorhizobium* sp: Cicer strain under sterile and wilt sick soil conditions. Appl Soil Ecol. 19: 1. 57-64.
39. Sirjani, A., Farahbakhsh, H., Ravari, Z., Pasandipour, N., and Karami, A. 2011. Investigation the effect of biofertilizer consumption, zinc sulfate and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative yield of wheat. Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences). 25: 2. 125-135. (In Persian).
40. Sivamani, E., Bahieldin. A., Wraith, J.M., Al- Niemi, T., and Dyer, W.E. 2000. Improved biomass productivity and water use efficiency under water deficit conditions in transgenic wheat constitutively expressing the barley HVA1 gene. Plant Sci. 155: 1. 1-9.
41. Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., and Boyce, A.N. 2016. Role of plant growth promoting Rhizobacteria in agricultural sustainabilitya review. Molecules. 21: 5. 573.
42. Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Huckelhoven, R., Neumann, C., Wettstein, D., Franken, P., and Kogel, K. 2005. The endophytic fungus Piriformospora indica reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proc Natl Acad Sci. 102: 38. 13386-13391.
43. Walton, G.H., Gunasekera, C.P., Martin, L.D., and Siddique K.H.M. 2006. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*B. juncea* L.) and canola (*B. napus* L.) in Mediterranean-type environments: ICrop growth and seed yield. Eur J. Agron. 25: 1. 1-12.
44. Yari, P., Keshtkar, A.H., and Mazahery Laghab, H. 2016. Evaluation of water stress in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using tolerance indices in Hamedan region: J. Crop Breed. 8: 18. 88-96. (In Persian)
45. Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T. Asgharii, A., and Zeinalabedini, M. 2016. Drought stress effect on physiological parameter and amino acids accumulations in canola. J. Crop Breed. 8: 18. 191-203. (In Persian)
46. Zhang, J., Mason, A.S., Wu, J., Liu, S., Zhang, X., Luo, T., and Yan, G. 2015. Identification of putative candidate genes for water stress tolerance in canola (*Brassica napus*). Front Plant Sci. 6: 1. 1-13.