



## Evaluation of Drought Tolerance and Susceptibility Indices of Rapeseed Genotypes under Conditions of late Irrigation Interruption of Growing Season

Hana Aboodeh<sup>1</sup> | Abdelmehdi Bakhshandeh<sup>2</sup> | Mohammad Reza Moradi Telavat<sup>3</sup> |  
Seyed Ata Siadat<sup>4</sup> | Seyed Amir Moosavi<sup>5</sup>

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. E-mail: [phd.aboodeh.hana@asnruk.ac.ir](mailto:phd.aboodeh.hana@asnruk.ac.ir)
2. Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. E-mail: [amehdibakhshandeh@asnruk.ac.ir](mailto:amehdibakhshandeh@asnruk.ac.ir)
3. Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. E-mail: [Moraditelavat@asnruk.ac.ir](mailto:Moraditelavat@asnruk.ac.ir)
4. Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. E-mail: [seyedatasiadat@asnruk.ac.ir](mailto:seyedatasiadat@asnruk.ac.ir)
5. Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran. E-mail: [amirmoosavi@asnruk.ac.ir](mailto:amirmoosavi@asnruk.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: December 07, 2021

Received in revised form:

July 01, 2022

Accepted: April 6, 2022

Published online: April 16, 2023

#### Keywords:

Average productivity,  
geometric mean productivity,  
grain yield,  
rapeseed,  
yield stability.

### ABSTRACT

In order to determine drought stress in the final stages of flowering up to 50% pods and pods until harvest tolerance in canola genotypes via yield-base stress tolerance indices, a split plot experiment has been conducted based on the randomized complete block design with three replications at the research farm of department of plant production and genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran during 2020-2021. The main plots include three irrigation treatments: the control (without any interruption of irrigation), interruption of irrigation in the beginning of flowering stage (phenology code 60) to the formation of 50% pods (phenology code 75), and interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest (Phenology code 99) in the main plots. Also, the genotypes (Long pod, Aram, RGS 003, Jankom, Solar, Hayola 4815, Mahtab, Julius, Agamax, and Sala) are arranged in sub-plots with respect to irrigation treatments. They are reliable indices to identify drought tolerant rapeseed cultivars. Indices MP, GMP, and STI are the most suitable ones to evaluate drought stress tolerance in different treatments. The highest grain yield of control treatment belongs to Hayola 4815, Long pod, Solar genotypes (2093.8, 1791 and 1700 kg / ha), and the lowest to Jankum genotype (832.1 kg / ha), in flowering Stress up to 50% pods. The highest grain yield is observed in Hayola 4815 (1563.9 kg / ha) and Lon gpod (1150.9 kg / ha) and the lowest grain yield in Jankum and Mahtab genotype (540, 935.5 kg / ha).

**Cite this article:** Aboodeh, H., Bakhshandeh, A. M., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., & Moosavi, S. A. (2023). Evaluation of Drought Tolerance and Susceptibility Indices of Rapeseed Genotypes under Conditions of late Irrigation Interruption of Growing Season. *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), 17-32.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.335213.2651>





## ارزیابی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل رشد

هنا عبوده<sup>۱</sup> | عبدالمهدی بخشنده<sup>۲</sup> | محمدرضا مرادی تلاوت<sup>۳</sup> | سید عطااله سیادت<sup>۴</sup> | سید امیر موسوی<sup>۵</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: [phd.aboodeh.hana@asnruk.ac.ir](mailto:phd.aboodeh.hana@asnruk.ac.ir)
۲. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: [amehdibakhshandeh@asnruk.ac.ir](mailto:amehdibakhshandeh@asnruk.ac.ir)
۳. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: [Moraditelavat@asnruk.ac.ir](mailto:Moraditelavat@asnruk.ac.ir)
۴. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: [seyedatasiadat@asnruk.ac.ir](mailto:seyedatasiadat@asnruk.ac.ir)
۵. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: [amirmoosavi@asnruk.ac.ir](mailto:amirmoosavi@asnruk.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۶</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷</p> <p>کلیدواژه‌ها: پایداری عملکرد، کلزا، عملکرد دانه، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی.</p>	<p>به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس کلزا به تنش خشکی در مراحل انتهایی گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت در شرایط مزرعه‌ای، آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱- شاهد (بدون قطع آبیاری)، ۲- قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی (کد فنولوژی ۶۰) تا تشکیل ۵۰ درصد خورجین (کد فنولوژی ۷۵) و ۳- قطع آبیاری در مرحله تشکیل خورجین تا برداشت (کد فنولوژی ۹۹)) در کرت‌های اصلی و فاکتور فرعی شامل ۱۰ ژنوتیپ (لانگ‌پاد، آرام، آرچی اس ۰۰۳، جانکوم، سولار، هایولا ۴۸۱۵، مهتاب، جولوس، آگامکس و سالا) بود. جهت‌گرایش مطلوب‌تر ژنوتیپ‌های متحمل کلزا می‌توان از شاخص‌های ذکر شده استفاده کرد. شاخص‌های MP (میانگین بهره‌وری)، GMP (میانگین بهره‌وری هندسی) و STI (شاخص تحمل تنش) مناسب‌ترین شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی در تیمارهای مورد مطالعه بود. بیش‌ترین عملکرد دانه تیمار شاهد از ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵، لانگ‌پاد و سولار به‌ترتیب (۲۰۹۳/۸، ۱۷۹۱ و ۱۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین از ژنوتیپ جانکوم (۸۳۲/۱ کیلوگرم در هکتار) و در تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی بیش‌ترین عملکرد دانه ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ (۱۵۶۳/۹ کیلوگرم در هکتار) و لانگ‌پاد (۱۱۵۰/۹ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین از ژنوتیپ جانکوم و مهتاب به‌ترتیب با عملکرد دانه (۵۴۰، ۹۳۵/۵ کیلوگرم در هکتار) بود.</p>

استناد: عبوده، هـ، بخشنده، ع. م، مرادی تلاوت، م. ر، سیادت، س. ع. و موسوی، س. ا. (۱۴۰۲). ارزیابی شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل رشد. به‌زراعی کشاورزی، ۲۵ (۱)، ۱۷-۳۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/10.22059/jci.2022.335213.2651>



## ۱. مقدمه

اثر کمبود رطوبت بر عملکرد به مرحله رشدی گیاه و محتوای رطوبت خاک بستگی دارد. در گیاهان زراعی مختلف، حساسیت مراحل نمو زایشی به تنش خشکی مورد توجه قرار گرفته است. مراحل گلدهی و نمو خورجین در کلزا از نظر نیاز آبی جزو حساس‌ترین مراحل بوده و اعمال تنش در مراحل ذکر شده موجب کاهش عملکرد دانه شده است (Shirani *et al.*, 2010).

همواره هدف از تهیه ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی، معرفی ژنوتیپ‌هایی بود که به طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کنند و در شرایط یکسان، افت عملکرد کم‌تری داشته باشند (Chaghakaboodi *et al.*, 2012). بنابراین ارقامی که در شرایط تنش و بدون تنش عملکرد یکسان و یا تفاوت عملکرد کمی دارند، تحمل نسبی به تنش خشکی دارند (Naghavi *et al.*, 2013). در این خصوص شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آن‌ها ارائه شده است. معیارهای انتخاب به‌طور عمده براساس انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی پیشنهاد شده‌اند (Kamrani *et al.*, 2015) که در این خصوص می‌توان به متوسط بهره‌وری (MP)، معیار تحمل (TOL) و حساسیت به تنش (SSI) اشاره کرد.

براساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی با تنش یا بدون تنش می‌توان ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه دسته‌بندی کرد؛ گروه A ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در دو محیط تنش و غیرتنش دارند، گروه B ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط غیرتنش دارند، گروه C ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در محیط تنش دارند، گروه D ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایین در هر دو محیط دارند. همچنین مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تنش خشکی از میان شاخص‌های تحمل، معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌های دیگر باشد (Fernandez *et al.*, 1992). وی جهت شناسایی ارقام گروه A شاخص تحمل تنش (STI) را معرفی کرد. مقدار بالای شاخص ذکر شده برای یک ژنوتیپ نشان‌دهنده‌ی تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد بالقوه بالای ژنوتیپ است.

برخی شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی نسبت به سایر شاخص‌ها برتری دارند. انتخاب شاخص‌ها براساس عملکرد ژنوتیپ در دو شرایط تنش و بدون تنش باعث گزینش ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود (Goel *et al.*, 2019). طی پژوهشی که روی ژنوتیپ‌های بهاره گلرنگ صورت گرفت شاخص STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص متحمل به تنش پیشنهاد شد (Aboodeh *et al.*, 2019). طی پژوهش Jahangiri & Kahriz (2015) شاخص SSI و TOL را برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی مناسب دانستند. همچنین شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP)، متوسط عملکرد (MP) و شاخص تحمل تنش (STI) را نسبت به سایر شاخص‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی با توجه به همبستگی بالاتر آن‌ها با عملکرد دانه معرفی کردند (Farshadfar *et al.*, 2015; Aliakbari *et al.*, 2014).

مطالعات مختلفی به‌منظور ارزیابی عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا نسبت به تنش خشکی انجام گرفته است. از جمله، در یافته‌های پژوهشی Qasemian Ardestani *et al.* (2019) طی دو سال تنش خشکی بر ارقام کلزا مشخص شد، ارقام جولوس و هایولا ۴۸۱۵ بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری را داشت. همچنین رقم هایولا ۴۸۱۵ سازگاری مناسبی نیز به شرایط تنش خشکی داشت، لذا ارقام جولوس و هایولا ۴۸۱۵ را به‌دلیل داشتن عملکرد دانه و روغن بالاتر تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش جهت کاشت توصیه کردند. در ارزیابی پایداری عملکرد ۱۷ ژنوتیپ کلزا رقم جرومینو را به‌عنوان رقم پر محصول و با پایداری عملکرد معرفی نمودند (Mortazavian & Azizi-Nia, 2014).

این آزمایش با هدف ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نسبت به تنش خشکی و همچنین بررسی عملکرد دانه با شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل و حساس انجام گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و با ۲۲ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۶۲ میلی‌متر در سال و میانگین حداکثر درجه حرارت ۳۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل آن ۹/۵ درجه سانتی‌گراد است. شهرستان اهواز از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. ویژگی‌های شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول (۱) و شرایط آب‌وهوایی ایستگاه محل اجرای آزمایش در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق خاک	هدایت الکتریکی	نیترژن ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	فسفر قابل جذب ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	پتاس قابل جذب ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	pH	بافت خاک
۳۰-۰	۲/۸۱	۰/۰۵	۹/۳۶	۱۳۸	۷/۵	رسی سیلتی

جدول ۲. آمار هواشناسی ایستگاه محل اجرای آزمایش سال (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

ماه	درجه حرارت		درصد رطوبت نسبی		میزان تبخیر (mm)	میزان بارندگی (mm)
	حداقل	حداکثر	متوسط	حداقل		
آبان	۱۳/۷	۲۹/۰	۲۱/۴	۳۳/۰۹	۷۹/۷۱	۶۳/۷۴
آذر	۱۱/۷	۲۰/۷	۱۶/۲	۶۵/۷	۹۱/۴	۸۱/۶
دی	۶/۲	۲۰/۳	۱۳/۲	۴۷/۶	۹۱/۷	۶/۳
بهمن	۸/۲	۲۲/۴	۱۵/۳	۳۶/۱	۸۲/۷	۱۰/۶
اسفند	۱۰/۳	۳۴/۲	۱۷/۲	۳۰/۵	۷۵/۲	۵/۴
فروردین	۱۵/۵	۳۱/۹	۲۳/۷	۱۸/۲	۶۱/۷	۰
اردیبهشت	۲۱/۶	۴۰/۸	۳۱/۲	۱۶/۱	۵۸/۶	۰

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. شیوه آبیاری به‌روش کرتی انجام شد تا میزان آب موردنیاز کلزا در مراحل رشد اولیه کامل تأمین شود (۱۵۳ میلی‌متر). سپس فاکتور اصلی شامل تنش قطع آبیاری در سه سطح (شاهد (بدون قطع آبیاری)، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی (کد فنولوژی ۶۰) تا تشکیل ۵۰ درصد خورجین (کد فنولوژی ۷۵) و قطع آبیاری در مرحله تشکیل ۵۰ درصد خورجین تا برداشت (کد فنولوژی ۹۹) (Moradi Telavat & Siadat, 2012) و فاکتور فرعی شامل ۱۰ ژنوتیپ (لانگ‌پاد، آرام، آر جی اس ۰۰۳، جانکوم، سولار، هایولا ۴۸۱۵، مهتاب، جولوس، آگامکس و سالا) بود.

آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح در اوایل آبان‌ماه انجام شد. قبل از انجام عملیات خاک‌ورزی در زمین محل اجرای آزمایش عملیات ماخار (آبیاری قبل از کاشت) با هدف تحریک جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز مدفون شده در خاک و سبزشدن به‌منظور کنترل مطلوب‌تر آن‌ها و تأمین رطوبت مناسب جهت انجام عملیات شخم صورت گرفت. بعد از آبیاری و رسیدن رطوبت به حد ظرفیت مزرعه، زمین توسط گاواهن برگردان‌دار شخم و بعد از زدن دو دیسک عمود بر هم و خردشدن کلوخه‌ها، کرت‌بندی انجام شد.

بذر ژنوتیپ‌ها از مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند (جدول ۲). روش کاشت به صورت خطی و مسطح بود. طول و عرض هر کرت به ترتیب ۳ و ۲ متر و هر کرت شامل شش خط کاشت به فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ۴ سانتی‌متر بودند. فاصله بین کرت فرعی و اصلی به ترتیب یک و دو پشته نکاشت در نظر گرفته شد. ژنوتیپ‌ها به صورت کپه‌ای با عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر با حفظ تراکم و فاصله ردیف مناسب کشت شدند. کودهای شیمیایی سوپرفسفات‌تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به زمین اضافه شد هم‌چنین نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در طی دو مرحله چهاربرگی و بعد از اتمام عملیات تنک و مرحله دوم در شروع غنچه‌دهی استفاده شدند (Moradi Telavat *et al.*, 2008).

از زمان کاشت تا مرحله استقرار کامل گیاهچه (تقریباً زمان شروع ساقه‌دهی) آبیاری به صورت معمول و تأمین صد درصد نیاز آبی گیاه انجام شد. با رسیدن به هر کدام از مراحل در سه سطح (شاهد (بدون قطع آبیاری)، قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی (کد فنولوژی ۶۰) تا تشکیل ۵۰ درصد خورجین (کد فنولوژی ۷۵)، تنش قطع آبیاری در مرحله تشکیل ۵۰ درصد خورجین تا برداشت (کد فنولوژی ۹۹) انجام گرفت. در زمان اعمال تیمار قطع آبیاری نیز به دلیل احتمال بارندگی، از محافظ نایلونی باران با استفاده از شلتر و از نایلون در زمان احتمال وقوع بارش (به منظور حفظ دوره‌های آبیاری ذکر شده)، استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری تعداد خورجین در بوته، تعداد پنج بوته از هر کرت آزمایشی در زمان رسیدگی فیزیولوژیک به صورت تصادفی انتخاب و صفت مذکور اندازه‌گیری شد.

جدول ۳. ویژگی ژنوتیپ‌ها

نام ژنوتیپ	رقم / لاین	تیب رشدی	طول دوره رویشی	مبدأ
لانگ پاد	لاین	بهاره	دیررس	ایران
آرام	رقم	بهاره	متوسطرس	ایران
آرچی اس ۰۰۳	رقم	بهاره	متوسطرس	آلمان
جانکوم	رقم	بهاره	دیررس	آلمان
سولار	رقم	بهاره	متوسطرس	آلمان
هایولا ۴۸۱۵	رقم	بهاره	زودرس	استرالیا
مهتاب	رقم	بهاره	متوسطرس	ایران
جولیوس	رقم	بهاره	دیررس	آلمان
آگامو (آگامکس)	رقم	بهاره	زودرس	آلمان
سالا	رقم	بهاره	متوسطرس	آلمان

جدول ۴. شاخص‌های مورد استفاده جهت بررسی مقاومت در ژنوتیپ‌ها

$SSI = [1 - (YS/YP)] / [1 - (Y'S - Y'P)]$	(Fischer & Maurer, 1978)
$TOL = YP - YS$	(Rosielle & Hamblin, 1981)
$MP = (YP + YS) / 2$	(Rosielle & Hamblin, 1981)
$HM = (2YP \cdot YS) / (YP + YS)$	(Rosielle & Hamblin, 1981)
$GMP = (YP \cdot YS) / 2$	(Fernandez <i>et al.</i> , 1992)
$STI = (YS \cdot YP) / Yp^2$	(Fernandez <i>et al.</i> , 1992)
$YI = YS / Y'S$	(Gavuzzi <i>et al.</i> , 1997)
$SDI = [(YS \cdot YP) / Y'P]^{1/2}$	(Gavuzzi <i>et al.</i> , 1997)
$YSI = YS / YP$	(Bousslama & Schapaugh, 1984)
$YRI = [(YP - YS) / YP] \cdot 100$	(Chogan <i>et al.</i> , 2006)
$MSTI1 = (YP^2 / Y'P^2) \cdot STI$	(Naderi <i>et al.</i> , 1999)
$MSTI2 = (YS^2 / Y'S^2) \cdot STI$	(Naderi <i>et al.</i> , 1999)
$RI = \sum R_n$	(Nassar & Huhn, 1987)

در روابط بالا،  $Y_p$  میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط بدون تنش،  $Y_s$  میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش،  $Y'_p$  میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش،  $Y'_s$  میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش را نشان می‌دهند.

تعداد ۲۰ خورجین از پنج بوته انتخاب و جهت تعیین تعداد دانه در خورجین در نظر گرفته شد. برداشت نهایی محصول نیز با توجه به نوع ژنوتیپ در بازه زمانی ۱۴۰۰/۰۱/۲۰ تا ۱۴۰۰/۰۲/۸ انجام شد. در آزمایش حاضر به‌منظور بررسی اثر شاخص‌های تنش بر ژنوتیپ‌های کلزا، تنها صفت عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت. بعد از جدانمودن دانه‌ها از خورجین در بوته‌های برداشتی از سطح یک مترمربع در هر کرت، عملکرد دانه با رطوبت ۹ درصد محاسبه شد. هم‌چنین ۵۰ سانتی‌متر از بالا و پایین هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه حذف شد. جهت ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های کلزا به شرایط تنش خشکی از شاخص‌های ذیل استفاده شد. در مطالعه حاضر شاخص‌های کمی متحمل به تنش خشکی شامل حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هارمونیک (HM)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، میانگین بهره‌وری هندسی (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص خسارت تنش (SDI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب (MSTI1) و شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب (MSTI2) و شاخص کاهش عملکرد (YRI) برای عملکرد دانه با استفاده از روابط ارائه‌شده در جدول (۴) محاسبه شد. داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش با نرم‌افزار SAS (نسخه 9.4) تجزیه و تحلیل آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. هم‌چنین جهت ترسیم نمودارهای لازم از نرم‌افزار Excel استفاده شد. در این آزمایش صفت عملکرد دانه به روش برش‌دهی فیزیکی انجام شد.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمارهای تنش، ژنوتیپ‌های کلزا و برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد دانه و تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود. از طرفی اثر تنش خشکی انتهایی فصل رشد و ژنوتیپ برای تعداد دانه در خورجین معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۵).

نتایج مقایسات میانگین ارائه‌شده در جدول (۶) بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته مربوط به تیمار بدون قطع آبیاری (۲۶۴/۵) و کم‌ترین آن با مقدار (۲۱۹/۵) از تنش در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی بود. مقایسه میانگین ژنوتیپ بر تعداد کپسول در بوته نشان داد که بیش‌ترین مقدار تعداد کپسول در بوته مربوط به ژنوتیپ‌های سولار، لانگ-پاد و هایولا ۴۸۱۵ و کم‌ترین آن مربوط به ژنوتیپ آرام، جانکوم و مهتاب بود (جدول ۶). طی پژوهشی Jafarzadeh *et al.* (2015) گزارش دادند که صفت تعداد خورجین در بوته در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون قطع آبیاری می‌تواند به‌عنوان صفتی برای انتخاب غیرمستقیم در جهت بهبود عملکرد دانه کلزا واقع شود.

جدول ۵. تجزیه واریانس اجزای عملکرد و عملکرد دانه

منبع تغییرات	درجه آزادی	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	عملکرد دانه
تکرار	۲	۱/۶ <sup>ns</sup>	۲۷۴۷/۹۵ <sup>ns</sup>	۵۵۷۵۴/۵۱ <sup>ns</sup>
تنش	۲	۲۱/۸۴ <sup>*</sup>	۱۵۷۶۵/۶۵ <sup>*</sup>	۱۵۳۱۸۵۲/۶۴ <sup>**</sup>
خطای اصلی	۴	۳/۰۳	۲۲۰۹/۴۸	۴۸۲۹۹/۱۹ <sup>ns</sup>
ژنوتیپ	۹	۲۳/۱۱ <sup>**</sup>	۲۵۰۴۴/۵۴ <sup>**</sup>	۷۱۲۸۲۰/۶۸ <sup>**</sup>
اثرات متقابل	۱۸	۴/۱۵ <sup>ns</sup>	۵۱۶۴/۰۱ <sup>**</sup>	۴۸۶۴۸/۶۹ <sup>*</sup>
خطای فرعی	۵۴	۳/۵۴	۱۴۱۳/۸۶	۲۸۲۶۶/۲۴
ضریب تغییرات (%)		۷/۶۹	۱۵/۷۴	۱۳/۴۴

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در قطع آبیاری انتهایی فصل رشد

تنش خشکی	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته
بدون قطع آبیاری (شاهد)	۲۵/۳۲a	۲۶۴/۱۵a
تنش در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین دهی	۲۴/۴۶ab	۲۱۹/۵۸b
تنش در مرحله خورجین دهی تا برداشت	۲۳/۶۳b	۲۳۲/۵۴ab
LSD	۱/۲۴	۳۳/۶۹
ژنوتیپ	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته
لانگ‌پاد	۲۶/۰۱ab	۲۵۳/۴۴bc
آرام	۲۲/۱۲d	۱۹۱/۱۷f
آرجی‌اس ۰۰۳	۲۴/۷۳bc	۲۳۶/۳۹cde
جانکوم	۲۱/۸۱d	۱۸۴/۰۲f
سولار	۲۵/۶۲ab	۲۸۲b
هایولا ۴۸۱۵	۲۶/۵۵a	۲۴۰cd
مهتاب	۲۴/۷۶bc	۲۰۲/۵def
جولیوس	۲۳/۱۵cd	۲۲۷/۸۳cde
آگامو (آگامکس)	۲۴/۹۰abc	۲۴۰cd
سالا	۲۵/۱۰ab	۲۰۷/۷۸def
LSD	۱/۷۷	۳۵/۵۳

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین مربوط به تیمار بدون قطع آبیاری و به مقدار ۲۵/۳۳ دانه در خورجین و کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین دهی و به مقدار ۲۳/۶۳ دانه در خورجین بود (جدول ۶)؛ تعداد دانه در خورجین در نهایت منجر به کاهش تعداد دانه در بوته شده و این جزو عملکرد نقش مهمی در تعیین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دارد.

از آنجایی که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث عقیم‌شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه‌ها می‌شود که می‌تواند دلیلی بر کاهش تعداد دانه در خورجین باشد (Mokari et al., 2020). مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین متعلق به ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ (۲۶/۵۵)، لانگ‌پاد (۲۶/۰۱) و سولار (۲۵/۶۲) و کم‌ترین مقدار آن از ژنوتیپ دیررس جانکوم (۲۱/۸۱)، آرام (۲۲/۱۲) و جولیوس (۲۳/۱۵) حاصل شد. کم‌تر بودن تعداد دانه در خورجین در ژنوتیپ جانکوم و جولیوس می‌تواند به دلیل دیررس بودن ژنوتیپ ذکر شده همچنین مصادف بودن زمان گلدهی آن با دمای بالا و در نتیجه سقط تعدادی از دانه‌ها می‌باشد (جدول ۶).

بر اساس مقادیر عملکرد دانه ارائه‌شده در جدول (۷)، کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) و اعمال قطع آبیاری به ترتیب از ژنوتیپ جانکوم و هایولا ۴۸۱۵ حاصل شده است. تأثیر منفی تنش بر عملکرد دانه از طریق تأثیر بر اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه می‌باشد. در بررسی مشخص شد که اعمال قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی و گلدهی به بعد به ترتیب باعث کاهش ۳۳ و ۵۸ درصدی عملکرد دانه می‌شود (Qasemian Ardestani et al., 2019).

به علت استفاده چندین مرتبه از یک صفت و ترکیب آن در قالب یک فرمول است که سبب تکرار خطا در فرمول شده و ارزش شاخص‌های MSTI1، MSTI2، TOL و YRI را کم نموده است. در حالی که شاخص‌هایی که ضریب تغییرات کم‌تر از ۳۰ دارند ( $CV \leq 30$ )، از نظر دقت برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل برای منطقه، می‌توان از آن‌ها استفاده کرد (Aboodeh et al., 2019).

ژنوتیپ‌های آزمایش حاضر از نظر شاخص‌های PM، SDI و HM به ترتیب در مراحل تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت با ضریب تغییرات (۱۲/۰۶، ۸/۸۷، ۱۲/۵۵)، (۸/۶۷، ۱۲/۵۵)، (۸/۶، ۱۳/۲۰) و (۸/۶، ۱۲/۵۵) از نظر دقت نسبت به سایر شاخص‌ها برتری دارند. شاخص MSTI2، MSTI1 و TOL و YRI به ترتیب در مراحل تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت با مقادیر (۳۹/۲۸، ۴۵/۱۴)، (۳۳، ۴۹/۹)، (۵۱/۱۵) و (۳۳/۸۶، ۸۷/۹۳) دارای ضریب تغییرات بالایی بوده که از ماهیت شاخص‌های ذکر شده می‌باشد (جدول ۸). با توجه به معنی‌دار شدن هر دو تنش اعمال شده در مرحله‌ی گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت، لذا ارزیابی حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی در هر دو مرحله و به صورت جداگانه انجام گرفت.

جدول ۷. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کلزا در تنش خشکی انتهای فصل رشد بر عملکرد دانه ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

ژنوتیپ	تنش خشکی	
	بدون قطع آبیاری (شاهد)	قطع آبیاری گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی
لانگ‌پاد	۱۷۹۱b	۱۱۵۰/۹b
آرام	۱۴۸۰cde	۱۰۲۰/۸b
آرجی‌اس ۰۰۳	۱۳۶۳de	۱۰۶۱/۸b
جانکوم	۸۳۲/۱۴	۵۴۰c
سولار	۱۷۰۰bc	۱۰۳۱/۴b
هایولا ۴۸۱۵	۲۰۹۳/۸a	۱۵۶۳/۹a
مهتاب	۱۵۸۹/۵bcd	۹۳۵/۵b
جولیوس	۱۲۰۸/۹e	۱۱۱۵/۵b
آگامو (آگامکس)	۱۴۴۲/۲cde	۱۰۷۵b
سالا	۱۴۶۱/۳cde	۱۰۲۳/۹b

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ژنوتیپ‌های کلزا از نظر تحمل و حساسیت به تنش خشکی انتهای فصل رشد

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		YSI	HM	MP	TOL	SSI	YS
تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی	۲	۱۴۹۱۵۷/۴*	۳۱۴۲۶/۳ <sup>ns</sup>	۵۱۶۹۶/۹ <sup>ns</sup>	۱۰۶۵۴۵/۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۷۵۰۹/۰۱ <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی	۹	۳۵۵۸۸۵/۲**	۲۲۲۷۷۵/۴**	۲۴۲۷۷۵/۴**	۱۱۰۲۷۴/۶*	۰/۶۶**	۱۸۴۸۰۲/۹**
ضریب تغییرات (%)	۱۸	۲۵۱۸۷/۱	۲۳۳۲۲/۷	۲۳۳۲۲/۷	۴۸۰۷۰/۰۸	۰/۰۸	۳۵۴۹۳/۳
تنش خورجین‌دهی تا برداشت	۲	۱۴۹۱۵۷/۴*	۲۸۶۶۹/۹ <sup>ns</sup>	۳۴۵۴۴/۳ <sup>ns</sup>	۱۷۲۷۸۲/۰۷*	۱/۸۷*	۶۳۲۲/۱ <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی	۹	۳۵۵۸۸۵/۲**	۲۷۸۷۶۲/۳**	۲۸۱۱۴۶/۷**	۱۴۴۳۵۴/۹*	۱/۴۱*	۲۷۸۵۸۵/۷**
ضریب تغییرات (%)	۱۸	۲۵۱۸۷/۱	۱۲۸۹۵/۲	۱۴۱۷۸/۰۹	۵۴۴۳۲/۸	۰/۶۰	۲۰۳۸۵/۴
میانگین	۱۲/۶۸	۱۲/۶۸	۱۲/۶۸	۱۲/۶۸	۱۲/۶۸	۱۲/۶۸	۱۲/۶۸

ادامه جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ژنوتیپ‌های کلزا از نظر تحمل و حساسیت به تنش خشکی انتهای فصل رشد

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		YRI	MSTI2	MSTI1	YI	SDI	STI
تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی	۲	۴۰۴۹۹/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۵۱*	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۲۷/۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۵۶ <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی	۹	۲۳۵۳۹۶/۰۷**	۲/۰۱**	۲/۰۱**	۰/۱۶**	۱۵۹/۰۰۱**	۰/۳۱**
ضریب تغییرات (%)	۱۸	۲۳۳۱۲/۹	۰/۳	۰/۱	۰/۰۳	۱۶/۴	۰/۰۲
تنش خورجین‌دهی تا برداشت	۲	۳۱۲۵۱/۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۵۵*	۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۲۱/۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۳ <sup>ns</sup>
خطای آزمایشی	۹	۲۷۹۳۳۵/۰۱**	۵/۴۹	۲/۸۶**	۰/۱۹**	۱۸۸/۶**	۰/۴۸**
ضریب تغییرات (%)	۱۸	۱۳۳۴۴/۷	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۰۱۴	۸/۹۴	۰/۰۲
میانگین	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۸/۶

<sup>ns</sup> و <sup>\*</sup> و <sup>\*\*</sup>: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



براساس جدول (۹) بیش‌ترین میزان شاخص حساسیت به تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی (۱/۱۶) و کم‌ترین (۰/۲۹) و بیش‌ترین میزان شاخص حساسیت به تنش خورجین‌دهی تا برداشت (۱/۹۸) و کم‌ترین (۰/۳۵) در هر دو تنش به‌ترتیب توسط ژنوتیپ لانگ‌پاد و جولیوس به‌دست آمد. با توجه به نتایج ژنوتیپ لانگ‌پاد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها، در شرایط تنش در مقایسه با شرایط مطلوب حساسیت بالاتر و هم‌چنین تحمل تنش کم‌تری داشت. پایین‌بودن مقدار شاخص SSI، به معنای بالاتر بودن عملکرد در هر دو شرایط تنش و نرمال نیست. از آنجایی که پژوهش‌های Morovati *et al.* (2021) نشان داد که ژنوتیپ‌های سویا 8-L.65-3266 و Roanak با وجود حساسیت کم به تنش کم‌آبی، پتانسیل عملکرد پایین داشتند. لذا ژنوتیپ‌های ذکرشده فقط حساسیت کم به تنش داشتند و از لحاظ عملکرد بالقوه مناسب نبودند. شاخص (TOL) میزان تحمل ژنوتیپ‌ها را در شرایط مناسب و نامناسب نشان می‌دهد. در تنش مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی کم‌ترین میزان شاخص تحمل (۹۳/۴) توسط ژنوتیپ جولیوس و بیش‌ترین (۶۶۹/۱) توسط ژنوتیپ سولار مشاهده شد از طرفی در تنش مرحله ۵۰ درصد خورجین‌دهی تا برداشت بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شاخص (TOL) به‌ترتیب به ژنوتیپ لانگ‌پاد (۶۴۹/۵) و جولیوس (۶۷/۵) تعلق داشت (جدول ۹). هرچه مقدار شاخص (TOL) کم‌تر باشد، ژنوتیپ تحمل بالاتر دارد. هم‌چنین در یافته‌های Raman (2012) مقادیر بالاتر شاخص تحمل نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ نسبت به شرایط تنش بود. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، ژنوتیپ جولیوس متحمل‌ترین ژنوتیپ ارزیابی شد. شاخص (TOL) نشان‌دهنده تغییر حاصل از اعمال تنش است و ژنوتیپ‌های با شاخص (TOL) پایین‌تر، در محیط تنش تغییر کم‌تری دارد. Jahangiri & Kahrizi (2015) شاخص حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش (TOL) را جهت‌گزینش ژنوتیپ متحمل به خشکی در کلزا نامناسب شناخته‌اند.

خسارت ناشی از تنش خشکی (SDI) در ژنوتیپ‌ها بین ۱۷/۳۲ تا ۴۶/۹ در تنش مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و در تنش مرحله خورجین‌دهی تا برداشت بین ۲۰/۳ تا ۵۱/۲ متغیر بود. در هر دو تنش اعمال‌شده در آزمایش حاضر ژنوتیپ‌های هایولا ۴۸۱۵ و جانکوم به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین خسارت نسبت به تنش انتهایی فصل به‌دست آمد (جدول ۱۰). از لحاظ شاخص پایداری عملکرد (YSI) در هر دو تنش مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و تنش خورجین‌دهی تا برداشت، ژنوتیپ جولیوس به‌ترتیب در هر دو تنش با میانگین (۰/۹۱ و ۱/۰۶) متحمل‌ترین ژنوتیپ و لانگ‌پاد با میانگین ۰/۵۴ درصد و مهتاب با میانگین ۰/۶۲ درصد به‌ترتیب حساس‌ترین ژنوتیپ در تنش مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت می‌باشد. در صورتی که در خصوص شاخص کاهش عملکرد (YRI) نتایج برعکس بود. به‌عبارتی، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار در تنش مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ لانگ‌پاد و جولیوس و در تنش مرحله خورجین‌دهی تا برداشت به‌ترتیب به ژنوتیپ مهتاب و جولیوس مربوط بود (جدول‌های ۸ و ۹). شاخص پایداری عملکرد در جهت شناسایی ژنوتیپ‌هایی است که با وجود شرایط محیطی متفاوت، عملکرد یکسان داشته باشند. در آزمایش حاضر ژنوتیپ جولیوس پایداری عملکرد بالایی را نشان داد، به‌عبارتی ژنوتیپ جولیوس به‌دلیل داشتن شاخص پایداری عملکرد بالا و داشتن حداقل شاخص کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی ثبات عملکرد بیش‌تری دارد. مقایسه میانگین نشان داد که در هر دو تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت رقم هایولا ۴۸۱۵ به‌ترتیب در هر دو تنش با میانگین (۱/۴۹ و ۱/۸۴) بیش‌ترین تحمل تنش (کم‌ترین حساسیت) و رقم جانکوم به‌ترتیب در هر دو تنش با میانگین (۰/۲۰ و ۰/۲۸) کم‌ترین تحمل تنش (بیش‌ترین حساسیت) نسبت به تنش خشکی انتهایی فصل را داشتند (جدول ۹). شاخص STI گویای آن است که هر چه مقدار عملکرد ژنوتیپ بالاتر باشد، آن ژنوتیپ میزان تحمل بالاتر و حساسیت کم‌تری را نشان می‌دهد. با توجه به این که ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ در شرایط تنش انتهایی فصل نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها میزان عملکرد دانه بالاتر داشت، بنابراین ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ از میزان تحمل بالاتر (حساسیت کم‌تر) در شرایط تنش خشکی داشت.

براساس شاخص تحمل تعدیل‌شده، در شرایط مطلوب ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ با مقدار (۳/۰۳) و جانکوم با مقدار (۰/۰۶) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین برآورد شد هم‌چنین در شرایط نامطلوب ناشی از هر دو تنش اعمال‌شده ژنوتیپ‌های هایولا ۴۸۱۵ و جانکوم به‌ترتیب با مقادیر (۳/۴۷ و ۰/۰۵) در تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و هم‌چنین با مقادیر (۳/۷۰ و ۰/۴۵) در تنش خورجین‌دهی تا برداشت مشاهده شدند. هم‌چنین مقایسه میانگین نشان داد که در هر سه شاخص میانگین هارمونیک، میانگین بهره‌وری و میانگین هندسی در هر دو تنش آزمایش حاضر ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ بیش‌ترین مقدار و ژنوتیپ جانکوم کم‌ترین مقدار مشاهده را داشتند (جدول ۱۰).

جدول ۹. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کلزا از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت نسبت به تنش خشکی انتهای فصل رشد ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

ژنوتیپ	YS	YP	MP	TOL	SSI	HM	YSI
لانگ‌پاد	۱۷۹۱ab	۱۵۶۳/۹b	۱۴۷۰/۹b	۶۴۰/۱ab	۱/۶۱a	۱۳۱۶/۶b	۰/۵۴c
آرام	۱۳۲۲/۴de	۱۰۲۰/۸b	۱۱۷۱/۶c	۳۰۱/۶abc	۰/۳۳c	۱۱۴۱/۳b	۰/۸۰ab
آرجی‌اس ۰۰۳	۱۳۶۳de	۱۰۶۱/۸b	۱۲۱۲/۴bc	۳۰۱/۲abc	۰/۷۴de	۱۱۹۰/۷b	۰/۷۸abc
جانکوم	۸۳۲/۱f	۵۴۰c	۶۸۶d	۲۹۲/۱bc	۱/۴۸ab	۶۴۸/۳c	۰/۶۶bcde
تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی	۱۷۰۰/۵bc	۱۰۳۱/۴b	۱۳۶۶cd	۶۶۹/۱a	۱/۳۴abc	۱۲۸۳/۶b	۰/۶۰ode
هایولا ۴۸۱۵	۲۰۹۳/۸a	۱۵۶۳/۹a	۱۸۲۸/۸a	۵۲۹/۸ab	۰/۷۱cd	۱۷۸۵/۱a	۰/۷۴abcd
مهتاب	۱۵۸۹/۵bcd	۹۳۵/۵b	۱۲۶۲/۵bc	۶۵۴ab	۱/۴۲ab	۱۱۷۷/۴b	۰/۵۸de
جولیوس	۱۲۰۸/۹c	۱۱۱۵/۵b	۱۱۶۲/۲c	۹۳/۴c	۰/۲۹c	۱۱۵۶/۱b	۰/۹۱a
آگامو	۱۴۴۲/۲cde	۱۰۷۵b	۱۲۵۸/۶bc	۳۶۷/۲abc	۰/۸۷cd	۱۲۵۸/۶bc	۰/۷۴abcd
سالا	۱۴۶۱/۳cde	۱۰۲۳/۱b	۱۲۴۲/۶bc	۴۳۷/۴abc	۱/۰۳bcd	۱۱۹۴/۴b	۰/۷۷abc

ادامه جدول ۹. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کلزا از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت نسبت به تنش خشکی انتهای فصل رشد ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

ژنوتیپ	YS	YP	MP	TOL	SSI	HM	YSI
لانگ‌پاد	۱۷۹۱ab	۱۱۴۱/۵bcd	۱۴۶۶/۲bc	۶۴۹/۵a	۱/۹۸a	۱۳۸۱/۸bc	۰/۶۵cd
آرام	۱۳۲۲/۴de	۱۰۷۵/۷cd	۱۱۹۹/۰۴d	۲۴۶/۷bcd	۰/۷۹abcd	۱۱۷۳d	۰/۸۵abcd
آرجی‌اس ۰۰۳	۱۳۶۳de	۱۱۹۴/۲bcd	۱۲۷۸/۶cd	۱۶۸/۸cd	۰/۶۲bcd	۱۲۶۸/۹cd	۰/۸۸abc
جانکوم	۸۳۲/۱f	۷۳۴c	۷۸۷/۵c	۸۹cd	۰/۴۹cd	۷۸۱/۳c	۰/۹۰ab
تنش خورجین‌دهی تا ۵۰ برداشت	۱۷۰۰/۵bc	۱۳۲۲/۵b	۱۵۱۱/۵b	۳۷۸abc	۱/۱۳abc	۱۴۸۵b	۰/۷۸abcd
هایولا ۴۸۱۵	۲۰۹۳/۸a	۱۹۳۵/۶a	۲۰۱۴/۶a	۱۵۸/۲cd	۰/۳۸cd	۲۰۰۵/۲a	۰/۹۲ab
مهتاب	۱۵۸۹/۵bcd	۱۰۰۲/۶d	۱۲۹۶cd	۵۸۷ab	۱/۸۳ab	۱۲۲۳/۱cd	۰/۶۲d
جولیوس	۱۲۰۸/۹c	۱۲۷۶/۴bc	۱۲۴۲/۶d	۶۷/۵d	۰/۳۵d	۱۲۳۵/۲cd	۱/۰۶a
آگامو	۱۴۴۲/۲cde	۱۲۱۷/۶bcd	۱۳۲۹/۹bcd	۲۲۴/۶bcd	۰/۸۲abcd	۱۳۱۹/۸bcd	۰/۸۴abcd
سالا	۱۴۶۱/۳cde	۱۱۱۶/۹bcd	۱۲۸۹cd	۳۴۴/۴abc	۱/۰۹abc	۱۲۴۷/۲cd	۰/۷۹bcd

جدول ۱۰. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کلزا از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت نسبت به تنش خشکی انتهای فصل رشد ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

ژنوتیپ	GMP	STI	SDI	YI	YRI	MSTH	MSTI2
لانگ‌پاد	۱۴۲۲/۵b	۰/۹۲a	۳۶/۹b	۱/۰۹b	۴۵/۴a	۱/۴۲b	۱/۱۶b
آرام	۱۱۵۶/۲b	۰/۶۱b	۳۰/۰۵b	۰/۹۷b	۲۷/۲۲bc	۰/۵۶cd	۰/۵۸bc
آرجی‌اس ۰۰۳	۱۲۰۱/۵b	۰/۶۶b	۳۱/۲۲b	۱/۰۰۹b	۲۱/۴۹c	۰/۵۷cd	۰/۶۷bc
جانکوم	۶۶۶/۷c	۰/۲۰c	۱۷/۳۲c	۰/۵۱c	۳۳/۴۹abc	۰/۰۶d	۰/۰۵c
تنش در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین	۱۳۲۴/۱b	۰/۸۱b	۳۴/۴۱b	۰/۹۸b	۳۹/۰۱ab	۱/۱۴bc	۰/۸۱bc
هایولا ۴۸۱۵	۱۸۰۶/۸a	۱/۴۹a	۴۶/۹a	۱/۴۸a	۲۵/۳۶bc	۳/۰۳a	۰/۸۰bc
مهتاب	۱۲۱۹/۲b	۰/۶۸b	۳۱/۶۸b	۰/۸۸b	۴۱/۳ab	۰/۸۳bc	۰/۵۸bc
جولیوس	۱۱۵۹/۱b	۰/۶۲b	۳۰/۱۲b	۱/۰۶b	۱۱/۷۶d	۰/۴۳cd	۰/۸۰bc
آگامو	۱۲۴۵b	۰/۷۰b	۳۲/۳۵b	۱/۰۲b	۲۵/۳۸bc	۰/۶۷cd	۰/۷۳bc
سالا	۱۲۱۸b	۰/۶۹b	۳۱/۶۵b	۰/۹۷b	۳۰/۰۹abc	۰/۷۵bcd	۰/۸۳bc

ادامه جدول ۱۰. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های کلزا از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت نسبت به تنش خشکی انتهای فصل رشد ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )

MSTI2	MSTI1	YRI	YI	SDI	STI	GMP	ژنوتیپ
۰/۸۴ <sup>bc</sup>	۱/۴۲ <sup>b</sup>	۳۴/۴ <sup>ab</sup>	۰/۹۴ <sup>bcd</sup>	۳۶/۹ <sup>bc</sup>	۰/۹۲ <sup>bc</sup>	۱۴۲۳ <sup>bc</sup>	لانگ‌پاد
۰/۵۲ <sup>bc</sup>	۰/۵۹ <sup>c</sup>	۱۵ <sup>abcd</sup>	۰/۸۹ <sup>cd</sup>	۳۰/۸ <sup>d</sup>	۰/۶۴ <sup>d</sup>	۱۱۸۵/۸ <sup>d</sup>	آرام
۰/۷۴ <sup>bc</sup>	۰/۶۴ <sup>c</sup>	۱۱/۸ <sup>abcd</sup>	۰/۹۹ <sup>bcd</sup>	۳۳/۱ <sup>cd</sup>	۰/۷۴ <sup>cd</sup>	۱۲۷۳/۷ <sup>cd</sup>	آرجی اس ۰۰۳
۰/۱۰ <sup>c</sup>	۰/۴۵ <sup>c</sup>	۹/۲۰ <sup>cd</sup>	۰/۶۱ <sup>c</sup>	۲۰/۳ <sup>c</sup>	۰/۲۸ <sup>c</sup>	۷۸۴/۴ <sup>c</sup>	جانکوم
۱/۲۷ <sup>b</sup>	۱/۴۴ <sup>b</sup>	۲۱/۲ <sup>abc</sup>	۱/۰۹ <sup>b</sup>	۳۸/۹ <sup>b</sup>	۱/۰۳ <sup>b</sup>	۱۴۹۸/۱ <sup>b</sup>	تنش خورجین‌دهی تا ۵۰ برداشت
۴/۸۸ <sup>a</sup>	۳/۷۰ <sup>a</sup>	۷/۲۵ <sup>cd</sup>	۱/۶۰ <sup>a</sup>	۵۲/۲ <sup>a</sup>	۱/۸۴ <sup>a</sup>	۲۰۰۹/۹ <sup>a</sup>	هایولا ۴۸۱۵
۰/۶۰ <sup>bc</sup>	۰/۸۹ <sup>bc</sup>	۳۷/۲ <sup>a</sup>	۰/۸۳ <sup>d</sup>	۳۲/۷ <sup>cd</sup>	۰/۷۳ <sup>cd</sup>	۱۲۵۸/۸ <sup>cd</sup>	مهتاب
۰/۸۰ <sup>bc</sup>	۰/۴۷ <sup>c</sup>	۶/۶۸ <sup>d</sup>	۱/۰۶ <sup>bc</sup>	۳۲/۱ <sup>cd</sup>	۰/۷ <sup>cd</sup>	۱۲۳۸/۹ <sup>cd</sup>	جولیوس
۰/۸۲ <sup>bc</sup>	۰/۷۶ <sup>bc</sup>	۱۵/۵ <sup>abcd</sup>	۱/۰۱ <sup>bcd</sup>	۳۴/۴ <sup>bcd</sup>	۰/۸۰ <sup>bcd</sup>	۱۳۲۴/۸ <sup>bcd</sup>	آگامو
۰/۶۱ <sup>bc</sup>	۰/۷۱ <sup>bc</sup>	۲۰/۵ <sup>abc</sup>	۰/۹۲ <sup>bcd</sup>	۳۲/۹ <sup>cd</sup>	۰/۷۱ <sup>cd</sup>	۱۲۷۶/۹ <sup>cd</sup>	سالا

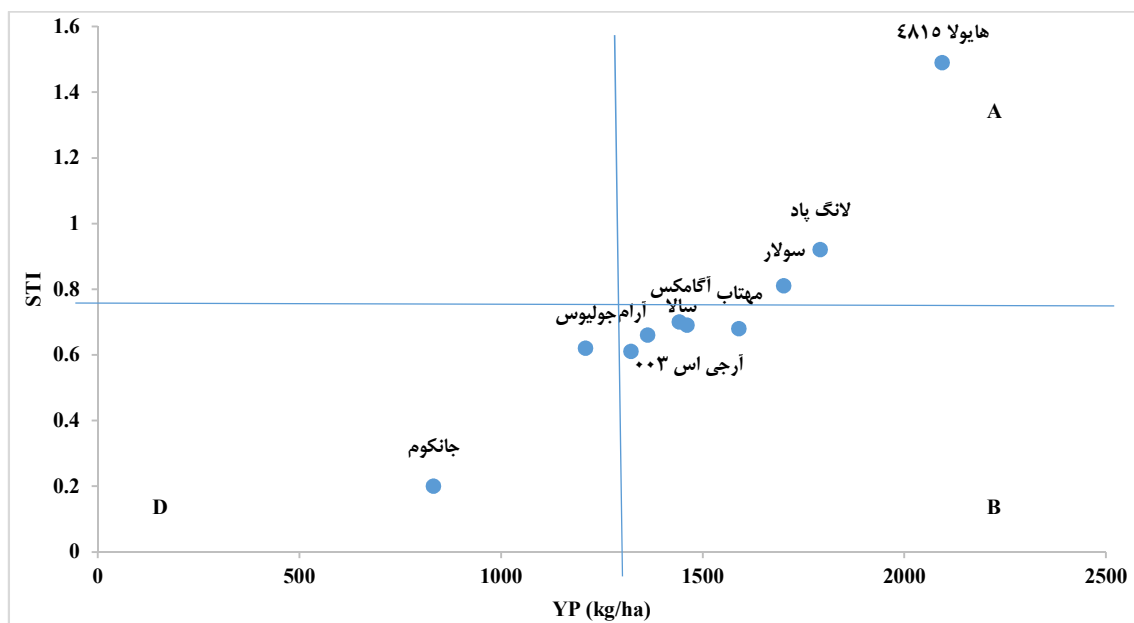
هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین YS و YP وجود داشته باشد، شاخص MP دارای یک تریب به طرف پتانسیل عملکرد خواهد بود. شاخص GMP که براساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش است برای رفع این اشکال معرفی شده است. این شاخص زمانی مفید است که مواد اصلاحی به‌طور مستقیم تحت شرایط تنش و بدون تنش و با در نظر گرفتن تغییر در شدت خشکی در محیط‌ها و زمان مختلف آزمایش می‌شوند (Raman *et al.*, 2012). بنابراین نسبت به MP شاخص مطلوب‌تری جهت گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و غیر تنش می‌باشد. شاخص‌های GMP و STI در بسیاری از پژوهش‌ها به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌ها معرفی شده‌اند (Khalili *et al.*, 2016). در همین رابطه نتایج بررسی Naghavi *et al.* (2021) بر ژنوتیپ‌های ایرانی و خارجی گلرنگ نسبت به تنش خشکی شاخص MP، GMP و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی در تیمارهای مورد مطالعه معرفی شدند.

بر مبنای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌ها در شرایط تنش مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت و بدون تنش ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵، لانگ‌پاد و سولارکم‌ترین میانگین رتبه (متحمل‌ترین) را داشت. حساس‌ترین ژنوتیپ از لحاظ شاخص‌های مورد مطالعه در آزمایش حاضر در هر دو شرایط تنش و عدم تنش ژنوتیپ جانکوم، آرام و مهتاب بود (جدول ۱۱).

توزیع دوطرفه ژنوتیپ‌ها برحسب عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش (شکل ۱)، ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه تفکیک کرد: الف- گروه A: در این گروه که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد مناسبی دارند ژنوتیپ‌های هایولا ۴۸۱۵، لانگ‌پاد و سولار جای گرفتند؛ ب- گروه B: در این گروه که در شرایط بدون تنش عملکرد مناسب و در شرایط تنش انتهایی عملکرد نامطلوب دارند، ژنوتیپ‌های مهتاب، آرجی اس ۰۰۳، آگامکس و سالا فرار گرفت؛ ج- گروه C: در گروه نامبرده که در شرایط بدون تنش عملکرد نامطلوب و در شرایط تنش انتهایی فصل عملکرد مطلوب نشان می‌دهند، هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌ها جای نگرفتند؛ د- گروه D: این گروه که در هر دو شرایط عملکرد نامناسب دارند، ژنوتیپ جانکوم، آرام و جولیوس را در برداشت. نتایج آزمایش حاضر با پژوهش Aboodeh *et al.* (2019) مطابقت دارد. همچنین براساس یافته‌های پژوهشی Yousefi (2017) ژنوتیپ‌های هایولا ۴۰۱، هایولا ۳۰۳ و آرجی اس ۰۰۳ در شرایط تنش خشکی شدید انتهایی فصل عملکرد دانه مناسب و در شرایط بدون تنش عملکرد دانه بالایی داشتند بنابراین ژنوتیپ‌های ذکر شده در گروه A قرار گرفتند.

جدول ۱۱. رتبه‌های شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا براساس عملکرد دانه به ترتیب تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت

ژنوتیپ	YP	YS	SSI	TOL	MP	HM	YSI	GMP	STI	SDI	YI	MSTI1	MSTI2	YRI	میانگین رتبه	انحراف معیار رتبه
لانگ‌پاد	۲	۲	۱	۳	۲	۲	۹	۲	۹	۲	۲	۲	۲	۱	۲/۹	۲/۶۵
آرام	۸	۸	۹	۷	۷	۹	۲	۹	۸	۹	۸	۹	۸	۶	۷/۶	۱/۸۶
آرجی اس ۰۰۳	۷	۵	۷	۸	۶	۶	۳	۷	۷	۷	۵	۷	۷	۹	۶/۵	۱/۴۵
جانکوم	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۷	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۴	۸/۷	۲/۵۸
سولار	۳	۶	۴	۱	۳	۳	۸	۳	۳	۳	۶	۴	۴	۳	۲/۸	۱/۷۴
هایولا ۴۸۱۵	۱	۱	۸	۴	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۸	۲/۵	۲/۶۵
مهتاب	۴	۹	۳	۲	۴	۷	۱۰	۵	۶	۵	۹	۸	۹	۲	۵/۹	۲/۳۸
جولیوس	۹	۳	۱۰	۱۰	۸	۸	۱	۸	۸	۸	۴	۵	۵	۱۰	۶/۹	۲/۶۵
آگامو	۶	۴	۶	۶	۹	۴	۶	۴	۴	۴	۳	۴	۶	۷	۵/۳	۱/۵۱
سالا	۵	۷	۵	۵	۵	۵	۴	۶	۵	۶	۷	۳	۳	۵	۵	۱/۰۷
لانگ‌پاد	۲	۶	۱	۱	۳	۳	۹	۳	۳	۳	۱	۳	۳	۲	۲/۲	۲/۵۳
آرام	۸	۸	۶	۵	۹	۹	۵	۹	۹	۹	۸	۸	۹	۶	۷/۸	۱/۵۸
آرجی اس ۰۰۳	۷	۵	۷	۷	۷	۷	۴	۵	۵	۵	۵	۷	۶	۷	۵/۷	۱/۰۹
جانکوم	۱۰	۱۰	۸	۹	۱۰	۱۰	۳	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۹/۲	۱/۹۱
سولار	۳	۲	۳	۳	۲	۲	۸	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۲/۶	۱/۵۸
هایولا ۴۸۱۵	۱	۱	۹	۸	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۹	۲/۲	۳/۲۴
مهتاب	۴	۹	۲	۲	۵	۸	۱۰	۷	۶	۷	۹	۴	۸	۱	۶/۱	۲/۹۰
جولیوس	۹	۳	۱۰	۳	۸	۸	۱	۷	۸	۸	۳	۹	۵	۱۰	۵/۸	۳/۰۸
آگامو	۶	۴	۵	۶	۴	۴	۶	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۵	۴/۶	۱/۱
سالا	۵	۷	۴	۴	۶	۶	۷	۶	۷	۶	۷	۶	۷	۴	۶	۱/۲۴



شکل ۱. توزیع دو طرفه ارقام بر حسب عملکرد در شرایط YP و STI

ضرایب همبستگی ساده شاخص‌ها نشان داد که همبستگی شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، میانگین بهره‌وری هندسی (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل به تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب (MSTI1) و شاخص تحمل به تنش تعدیل‌شده در شرایط نامطلوب (MSTI2) با عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش، مثبت و معنی‌دار بود.

جدول ۱۲. ضرایب همبستگی بین صفات قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی

MSTI2	MSTI1	YI	STI	GMP	YSI	HM	PM	SSI	TOL	YS	YP	
											۱	YP
										۱	۰/۷۰**	YS
									۱	-۰/۰۵ns	۰/۶۶**	TOL
								۱	۰/۵۹**	-۰/۴۴*	۰/۰۸ns	SSI
							۱	-۰/۱۴ns	۰/۳۸*	۰/۸۹**	۰/۹۴**	PM
						۱	۰/۹۸**	-۰/۲۵ns	۰/۲۵ns	۰/۹۵**	۰/۸۹**	HM
					۱	۰/۰۵ns	۰/۰۵ns	-۰/۷۹**	-۰/۷۷**	۰/۳۰ns	-۰/۳۱*	YSI
				۱	۰/۰۰۱ns	-۰/۹۹**	۰/۹۹**	-۰/۲۰ns	۰/۳۱*	۰/۹۲**	۰/۹۱**	GMP
			۱	۰/۹۸**	۰/۰۰۱ns	-۰/۹۸**	۰/۹۷**	-۰/۱۷ns	۰/۲۹ns	۰/۹۱**	۰/۸۹**	STI
		۱	۰/۹۱**	۰/۹۲**	۰/۳۰ns	-۰/۹۵**	۰/۸۹**	-۰/۴۴*	-۰/۰۵ns	۱/۰۰**	۰/۷۰**	YI
	۱	۰/۷۸**	۰/۹۵**	۰/۹۰**	-۰/۱۲ns	-۰/۸۹**	۰/۹۰**	-۰/۰۲ns	۰/۴۲*	۰/۷۸**	۰/۸۸**	MSTI1
۱	۰/۹۱**	۰/۸۸**	۰/۹۲**	۰/۸۵**	۰/۱۵ns	-۰/۸۷**	۰/۳۹**	-۰/۲۵ns	۰/۰۵ns	۰/۸۸**	۰/۶۹**	MSTI2

ns \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۱۳. ضرایب همبستگی بین صفات قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی تا برداشت

MSTI2	MSTI1	YI	STI	GMP	YSI	HM	PM	TOL	YS	YP	
										۱	YP
									۱	۰/۶۳**	YS
								۱	-۰/۲۵ns	۰/۵۸**	TOL
							۱	۰/۲۲ns	-۰/۸۸**	۰/۹۲**	PM
						۱	-۰/۰۰۹ns	۰/۱۲ns	۰/۹۲**	۰/۸۷**	HM
					۱	-۰/۱۲ns	-۰/۹۳**	-۰/۹۶**	۰/۳۳*	-۰/۴۹**	YSI
				۱	۰/۹۹**	۰/۹۹**	۰/۰۳ns	۰/۱۷ns	۰/۹۰**	۰/۸۹**	GMP
			۱	-۰/۰۲ns	۰/۹۸**	۰/۹۷**	-۰/۰۱ns	۰/۱۱ns	۰/۹۲**	۰/۸۵**	STI
		۱	۰/۹۰**	۰/۳۳*	۰/۹۲**	۰/۸۸**	-۰/۳۴*	-۰/۲۵ns	۱/۰۰**	۰/۶۱**	YI
	۱	-۰/۸۸**	-۰/۱۲ns	۰/۸۸**	۰/۸۸**	۰/۸۸**	۰/۰۸ns	۰/۲۰ns	۰/۷۸**	۰/۸۱**	MSTI1
۱	۰/۹۲**	۰/۸۶**	۰/۲۰ns	۰/۸۷**	۰/۸۷**	۰/۸۴**	-۰/۲۰ns	-۰/۱۵ns	۰/۹۱**	۰/۶۴**	MSTI2

ns \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

همبستگی TOL با عملکرد در محیط نرمال مثبت در صورتی که در شرایط تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت غیر معنی‌دار و منفی حاصل شد هم‌چنین در خصوص همبستگی SSI با عملکرد، در شرایط تنش، منفی و معنی‌دار بود. شاخص GMP همبستگی بالایی با هر دو شرایط تنش گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت و بدون تنش داشت و در مراتب بعدی شاخص MP، HM و STI، بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد دانه در هر دو شرایط داشتند (جدول‌های ۱۲ و ۱۳). به نظر می‌رسد که شاخص‌های GMP، MP و STI بهترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل و برتر بودند. در پژوهش انجام‌شده بر روی ارقام گلرنگ، عملکرد دانه در شرایط تنش، بیش‌ترین همبستگی را با شاخص‌های GMP، MP و STI نشان داد (Farshadfar et al., 2013; Aliakbari et al., 2014).

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که از نظر دستیابی به عملکرد دانه بالاتر و اجزای آن ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در این پژوهش، تیمار بدون

قطع آبیاری (شاهد) نسبت به تیمارهای قطع آبیاری در مرتبه بالاتری قرار گرفت. در بین تیمارهای قطع آبیاری بیش‌ترین خسارت به عملکرد دانه گیاه از قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی حاصل شد. لذا برنامه‌ریزی در جهتی قرار گیرد که از وقوع تنش خشکی در این مرحله جلوگیری شود. همچنین در این پژوهش مشاهده شد که ژنوتیپ سولار، هایولا ۴۸۱۵ و لانگ‌پاد نسبت به سایر ژنوتیپ‌های کلزا از عملکرد دانه و اجزای عملکرد بیش‌تری برخوردار است. همچنین در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی و براساس شاخص‌های تحمل به تنش افت عملکرد ژنوتیپ‌های هایولا ۴۸۱۵، لانگ‌پاد و سولار در هر یک از مراحل و وقوع تنش نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کم‌تر بود که حاکی از مقاومت بیش‌تر این ژنوتیپ در برابر تنش خشکی است. شاخص‌های MP (میانگین بهره‌وری)، GMP (میانگین بهره‌وری هندسی)، STI (شاخص تحمل تنش)، SDI (شاخص خسارت تنش)، YI (شاخص عملکرد)، MSTII (شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط مطلوب) و MSTI2 (شاخص تحمل تنش تعدیل‌شده برای شرایط نامطلوب) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش داشتند. در خصوص رتبه‌بندی شاخص‌ها ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ در اکثر شاخص‌ها رتبه برتر را داشت و با توجه به عملکرد دانه، می‌توان ژنوتیپ ذکرشده را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش به‌عنوان ژنوتیپ متحمل در شرایط تنش خشکی انتهایی در منطقه اهواز معرفی کرد.

## ۵. تشکر و قدردانی

از معاونت آموزشی، تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷. منابع

- Aboodeh, H., Moradi Telavat, M. R., Moshatati, A., & Mousavi, S. H. (2019). Evaluation of Spring Safflower Genotypes by using of Indices of Tolerance and Sensitivity to Terminal heat Stress. *Environmental stress in Crop Scientiae*, 12(2), 616-607.
- Aliakbari, M., Razi, H., & Kazemeini, S. A. (2014). Evaluation of Drought Tolerance in Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars Using Drought Tolerance Indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2, 696-705.
- Bousslama, M., & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Scientiae*, 24, 933-937.
- Chaghakaboodi, Z., Kahrizi, D., & Zebarjadi, A. R. (2012). Aestimatio siccitatis tolerantiae rapacitatis (*Brassica napus* L.) genotypes in condicionibus laboratorii, 38-17.
- Chogan, R., Taherkhani, T., Ganadha, M. R., & Khodarahmi, M. (2006). Study siccitatis tolerantiae in lineis insitis frumenti spelta utens siccitatis tolerantiae indices. *Journal of Crop Scientiae. Crop Science Society of Iran*, 8(1), 89-79.
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., & Safavi, S. M. (2013). Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(2), 143-158.
- Fernandez, G.C.J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.C. (eds.), Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC. Shanhua. Taiwan.

- Fischer, R.A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. *Aust. J. Agr. Res. Journal agricultural Agricultural*, 29, 897-912.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G. L., & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, 523-531.
- Goel, P., M. Bhuria, R. Sinha, T.R. Sharma, & Singh, A. K. (2019). Promising transcription factors for salt and drought tolerance in plants. In *molecular approaches in plant biology and environmental challenges* (pp. 7-50). Springer, Singapore. Blum, Abraham. *Plant breeding for stress environments*. CRC press, 2018.
- Jafarzadeh Ghahdrijani, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A. F., & Ebrahimiyan, M. (2015). Response to direct and indirect selection of grain yield, oil and yield components in canola varieties under normal and soil moisture stress. *Journal of Plant Production*, 37(3), 129-141.
- Jahangiri, S., & Kahrizi, D. (2015). Study of genetic variation and drought tolerance in commercial rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Genetic Resources*, 1(2), 73-82.
- Kamrani, M., Farzi, A., & Ebadi, A. (2015). Evaluation of grain yield performance and tolerance to drought stress in wheat genotypes using drought tolerance indices. *Cereal Research*, 5(3), 231-246. (In Persian with English Abstract).
- Khalili, M., Pour-Aboghadareh, A. R., & Naghavi, M. R. (2016). Assessment of drought tolerance in barley: integrated selection criterion and drought tolerance indices. *Environmental and Experimental Biology*, 14(1), 33-41.
- Mokari, M., Abedinpour, M., & Dehghan, H. (2020). Effect of Drought Stress and Planting Date on Grain Yield and Water Use Efficiency of Autumn Wheat in Kashmar Region. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), 168-186.
- Moradi Telavat, M. R., & Siadat, S. A. (2012). *Introduction and Production Oil Seed Crops*. Publication Education Agricultural Promotion. Tehran. 209 p.
- Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A. Nadian, H., & Fathi, G. (2008). Effect of nitrogen and boron on canola yield and yield component in Ahwaz, Iran. *International Journal of Agriculture Research*, 3(6), 415-422.
- Morovati, I., Kordenaeej, A. A., & Babaei, H. R. (2021). Evaluation of Drought Tolerance Indices in Soybeans. *Journal of Crop Breeding*, 13(17), 109-118.
- Mortazavian, M., & Azizi-Nia, S. (2014). Nonparametric stability analysis in multi environment trial of canola. *Turk Journal Field Crops*, 19, 108-117.
- Naderi, A., Majidi Heravan, I., Hashemi Dezfuli, A. A., Rezaei, A. A., & Noor Mohammadi, Gh. (1999). Effectus tolerantiae Aestimationis Indicatores seges Tolerantiae ad Accensiones Environmentales et Introductio Novi Index. *Crop Breeding Journal. Seed and Plant Improvement Institute*, 15(4), 402-390.
- Naghavi, M. R., Pour-Aboghadareh, A. R., & Khalili, M. (2013). Evaluation of Drought Tolerance Indices for Screening Some of Corn (*Zea mays* L.) Cultivars under Environmental Conditions. *Notulae science biology*, 5(3), 388-393. (In Persian)
- Naqavi, M., Kalili, M., & Tavassoli, A. (2021). Comparison of some drought tolerance indices in Iranian and foreign safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Journal of Arid Biome*, 10(2), 191-175.
- Nassar, R., & Huhn, M. (1987). Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures on phenotypic stability. *Biometrics*, 43, 45-53.
- Qasemian Ardestani, A., Jahan, M., & Shirani Rad, A. H. (2019). Investigatio qualitativa notarum raptorum cultorum in autumnno et hyeme sub impressione diversarum regiminum irrigationum. *Environmental stress in Crop Scientiae*, 12(2), 443-429. (In Persian)
- Raman, A., Verulkar, S., Mandal, N., Variar, M., Shukla, V., Dwivedi, J., Singh, B., Singh, O., Swain, P., Mall, A., Robin, S., Chandrababu, R., Jain, A., Ram, T., Hittalmani, S., Haefele, S., Piepho, H. P., & Kumar, A. (2012). Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice*. 5, 31.28.

- Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21, 943-946.
- Shirani Rad, M. H., Naeimi, M., & Nasrasfahani, Sh. (2010). Aestimatio siccitatis tolerantiae in rapacitate (*Brassica napus* L.) genotypes. *Journal of Crop Scientiae*, 12(2), 126-112.
- Yousefi, A. (2017). Aestimatio siccitatis tolerantiae indices in tribus speciebus raptorum (*Brassica napus* L.) sub restrictionis conditionibus irrigationes. *Environmental stress in Crop Scientiae*, 10(2), 276. (In Persian)