

بررسی تحمل به تنش یخ‌زدگی در تعدادی از ژنوتیپ‌های امید بخش کلزا

اکبر عبدالمهی حصار^۱، امید سفالیان^{۲*}، بهرام علیزاده^۳، علی اصغری^۴، حسن زالی^۴

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۹

۱-دانشجوی دکترای اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲و۴-استادان دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳-دانشیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۵- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: sofalian@gmail.com

چکیده

اهداف: این مطالعه به منظور بررسی تحمل به تنش یخ‌زدگی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در بین تعدادی از ژنوتیپ‌های کلزا انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه‌ای به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع، به صورت کشت پاییزه در اراضی کشاورزی بخش تیکمه‌داش از توابع شهرستان بستان آباد اجرا شد. کرت اصلی شامل دو تاریخ کشت معمولی (۱۰ شهریور) و تاخیری (۲۵ شهریور) و کرت فرعی ۱۹ ژنوتیپ کلزا، شامل SLM046، Opera، L963، Okapi، Nima، KH4، Talaya، L957، Ahmadi، KR18، L1009، L1008 و SW101، L14، KS7، Licord، HW101، Nafis، Zarfam بود.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد در هکتار تحت شرایط تنش یخ‌زدگی نشان داد که اثر تنش روی عملکرد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ روی صفات ارتفاع بوته و عملکرد در هکتار در سطح احتمال یک درصد و برای صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و برای سایر صفات غیر معنی‌دار بود. برهمکنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت در عملکرد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین صفات نشان داد که در صفت ارتفاع بوته ژنوتیپ Opera، در صفت وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های Opera و HW101 و در صفت عملکرد دانه ژنوتیپ KS7 بیشترین مقدار را داشتند. در بین شاخص‌ها، MP، GMP، STI، HM و SNPI بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش نشان دادند و به عنوان بهترین شاخص‌ها، جهت دستیابی به ارقام پر محصول و متحمل به تنش یخ‌زدگی معرفی شدند. بر مبنای نمودار سه بعدی، ژنوتیپ‌های Opera، Licord، L1008 و Talaya با عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش و نیز مقدار بالای SIIG، به عنوان ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش یخ‌زدگی شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که ژنوتیپ Opera با بیشترین مقدار SIIG از متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ Nima با کمترین مقدار SIIG از حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش یخزدگی بودند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که بیشترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش در ژنوتیپ KS7 و کمترین عملکرد دانه در ژنوتیپ KR18 مشاهده گردید. در شرایط تنش یخزدگی نیز بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ Opera و کمترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ-KR18 بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل، تنش یخزدگی، عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های متحمل، کلزا

Investigation of Frost Stress Tolerance in Some Promising Rapeseed Genotypes

Akbar Abdollahi Hesar¹, Omid Sofalian^{2*}, Bahram Alizadeh³, Ali Asghari⁴, Hassan Zali⁵

Received: August 29, 2020 Accepted: January 18, 2021

1-Ph.D.Student of Biometrical Genetics University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

2,4-Prof., Dept. of Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3- Assoc.Prof., Oil Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

5- Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Fars agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultura Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran.

*Corresponding Author Email: sofalian@gmail.com

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to evaluate freezing stress tolerance and identify tolerant genotypes among a number of rapeseed genotypes.

Materials and Methods: The experiment was carried out in the form of split plots based on randomized complete blocks with three replications in 1397 in a field with an area the 2000 square meters, in the form of autumn cultivation in the agricultural lands of Tikmehdash section of Bostanabad city. The main plot consisted of two dates of common cultivation (September 1) and delayed (September 16) and the sub-plot included 19 rapeseed genotypes. The mentioned genotypes are: SLM046, Opera, L963, Okapi, Nima, KH4, Talaya, L957, Ahmadi, KR18, L1009, Zarfam, Nafis, HW101, Licord, KS7, L14, SW101 and L1008.

Results: The results of analysis of variance of yield per hectare under frost stress conditions showed that the effect of stress on the yield per hectare, it was significant at the level of 1% probability. The effect of genotype on plant height and yield per hectare was significant at the level of 1% probability and for 1000-seed weight at the level of 5% probability and was not significant for other traits. Genotype × planting date interaction was not significant in all traits. Also, the comparison of the mean of traits showed that Opera and HW101 genotypes had the highest value in plant height, 1000-seed weight and KS7 genotype in grain yield. Among the indices, MP, GMP, STI, HM and SNPI showed the highest correlation with grain yield under both stress and non-stress conditions and were introduced as the best indices to achieve high yielding and frost tolerant cultivars. Were. Based on the three-dimensional diagram, Opera, Licord, L1008 and Talaye genotypes were identified as the most ideal genotypes under frost stress conditions with above-average total yield under both stress and stress conditions as well as high SIIG values.

Conclusion: The results showed that Opera genotype with the highest amount of SIIG was one of the most tolerant genotypes and Nima genotype with the lowest amount of SIIG was one of the most sensitive genotypes to frost stress. The results also showed that the highest grain yield (kg.ha⁻¹) in non-stress conditions was observed in KS7 genotype and the lowest grain yield was observed in KR18 genotype. Under frost stress conditions, the highest grain yield belonged to Opera genotype and the lowest grain yield belonged to KR18 genotype.

Keywords: Canola, Frost Stress, Grain Yield, Tolerant Genotypes, Tolerance Indices

مقدمه

باتوجه به افزایش رو به رشد جمعیت و بهبود سطح تغذیه و همچنین جایگزینی روغن نباتی به جای روغن حیوانی، نیاز به گسترش کمی و کیفی دانه‌های روغنی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را شامل می‌شوند (حجازی ۲۰۰۱). در این میان کلزا (*Brassica napus*) به عنوان یکی از مهمترین گیاهان روغنی در سطح جهان مطرح می‌باشد. کلزا در سطح دنیا برای استخراج روغن کشت می‌شود و حدود ۱۴/۷ درصد روغن نباتی جهان را تامین می‌کند (آل-باراک ۲۰۰۶). این گیاه با داشتن اسیدهای چرب با ارزش و پروتئین‌های حاوی اسیدهای آمینه مورد نیاز بدن انسان و با داشتن ۴۰ تا ۴۹ درصد روغن و ۳۵ تا ۳۹ درصد پروتئین کنجاله یکی از مهمترین گیاهان صنعتی به شمار می‌رود (فلاکلار و همکاران ۲۰۱۵).

از میان تنش‌های محیطی، سرما و دمای پایین در ایجاد خسارت به میزان محصولات تولیدی نقش مهمی ایفا می‌کند (باربالیس و همکاران ۲۰۱۲). دما که یک عامل محیطی مهم است، بر فرآیندهای ساختاری و فیزیولوژیکی سلول‌های گیاهی و توسعه سلول‌های گیاهی موثر می‌باشد، به طوریکه اثرات منفی افزایش یا کاهش غیرطبیعی دما در کلیه فرآیندهای گیاهی از جمله ساختار سلول‌های گیاهی ظاهر می‌شود (قاسمی گل‌دانی و لطفی ۲۰۱۴). دماهای پایین اغلب رشد و عملکرد محصولات زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث زیان‌های قابل توجهی می‌شوند. ضررهای اقتصادی سرما و یخ‌بندان به محصولات کشاورزی کشور بیشتر از زیان‌های سایر تنش‌های محیطی و گهگاهی فزون‌تر از خسارت‌هایی است که در اثر تنش‌های زنده (بیماری-ها و آفات) به گیاهان وارد می‌آید (امیر قاسمی ۲۰۰۲). تنش یخ‌زدگی عموماً مجموعه‌ای از تنش‌ها و آسیب‌هاست و زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه در معرض دماهای زی‌ر صفر درجه سانتی‌گراد قرار گرفته باشد. تحمل به تنش یخ‌زدگی شامل واژه‌هایی همچون سخت‌پذیری

زمستانه، بقای زمستانه، مقاومت به سرمازدگی و غیره می‌شود. در تنش یخ‌زدگی واکنش گیاه به شرایطی است که دمای محیط و دمای گیاه یا اندام‌های آن به زیر صفر درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد که به تبع آن اختلالات مختلفی برای گیاه پدید می‌آید. شدت تنش بستگی به میزان و سرعت سرد شدن، حداقل دما، مدت زمان حداقل دما و سرعت آب شدن یخ دارد (لویت ۱۹۸۰). خسارت اصلی درجه حرارت‌های زیر صفر ناشی از تشکیل یخ درون سلولی می‌باشد و واضح است که غشاءها، سایت‌های اصلی سلول هستند که تحت تنش یخ‌زدگی، آسیب می‌بینند (بارانکو و رویز ۲۰۰۵). در تنش سرما و یخ‌زدگی، فتوسنتز گیاهان پس از مدت کوتاهی (بین چند ساعت تا چند روز) تحت تاثیر دمای پایین قرار می‌گیرد و رشد گیاه کاهش یافته و در نتیجه باعث کاهش عملکرد و محصول گیاه می‌شود و دلیل آن می‌تواند کاهش کربوهیدرات‌ها یقابل استفاده برای تولید دانه باشد (ارت ۲۰۰۲). موثرترین روش برای غلبه بر این خسارت‌ها، ایجاد تنوع ژنتیکی و استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم به سرما است (بارانکو و رویز ۲۰۰۵).

شاخص‌های متنوعی برای بررسی ژنوتیپ‌های متحمل به یخ‌زدگی بر مبنای روابط ریاضی بین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش معرفی شده است. روزیله و هامبلین (۱۹۸۱)، شاخص تحمل^۱ و شاخص متوسط تولید یا محصول‌دهی^۲ را معرفی کردند. شاخص STI^۳ توسط فرناندز (۱۹۹۲) جهت بررسی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش و همچنین دارای پتانسیل تحمل به یخ‌زدگی معرفی شد. شاخص دیگری که توسط فرناندز (۱۹۹۲) معرفی شد، میانگین هندسی محصول دهی^۴ بود. این شاخص در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها

^۱TOL = Tolerance Index^۲MP = Mean Productivity^۳Stress Tolerance Index^۴GMP = Geometric Mean Productivity

و همکاران (۲۰۱۵) برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری معرفی شد. از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن می‌توان از شاخص‌های مختلف، صفات مرفولوژیک، صفات فیزیولوژیک و سایر صفات استفاده نمود و کارایی انتخاب را افزایش داد. از آنجایی‌که ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک شاخص یا صفتی برتر باشد و در نهایت با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب برای محقق دشوار شود، به کمک روش SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به صورت یک شاخص واحد درآمده و رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. همچنین اگر تعداد صفات کم اما تعداد ژنوتیپ‌ها زیاد باشد، شاخص SIIG انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را آسان‌تر می‌کند. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه، می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند (زالی و همکاران ۲۰۱۵، ۲۰۱۶). هدف از انجام این پژوهش بررسی تحمل به تنش یخ‌زدگی و انتخاب بهترین شاخص و همچنین کاربرد شاخص SIIG در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در بین تعدادی از ژنوتیپ‌های کلزا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۷ در مزرعه‌ای به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع اجرا شد. طرح آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در نظر گرفته شد. کرت اصلی شامل دو تاریخ کشت معمول (۱۰ شهریور) و تاخیری (۲۵ شهریور) و کرت فرعی شامل ۱۹ ژنوتیپ کلزا بود که از بخش دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر تهیه گردید. ژنوتیپ‌های مذکور عبارتند از: SLM046، Opera، L963، Okapi، Nima، KH4

قدرت بیشتری دارد. فیشر و مورر (۱۹۷۸)، شاخص حساسیت به تنش^۱ را بر مبنای عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش ارائه کردند. فیشر و مورر (۱۹۷۸) همچنین شاخص خشکی نسبی^۲ را مطرح کردند. موسوی و همکاران (۲۰۰۸)، سه شاخص دیگر تحت عنوان شاخص تحمل غیر زیستی^۳، شاخص درصد حساسیت به تنش^۴ و شاخص تولید در شرایط تنش و بدون تنش^۵ را جهت بررسی حساسیت یا تحمل به تنش معرفی کردند. محمدی و همکاران (۲۰۱۱) از شاخص‌های TOL، MP، GMP، STI جهت بررسی تحمل به خشکی ارقام گندم نان استفاده و شاخص‌های MP، GMP، STI را مؤثرترین شاخص‌ها در معرفی ژنوتیپ‌های متحمل معرفی کردند. نادری و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی ۱۶ ژنوتیپ گندم نان برای تحمل به خشکی انتهای فصل در مناطق گرم جنوب، بیان کردند که شاخص تحمل به تنش تغییر یافته^۶ و شاخص عملکرد^۷، ژنوتیپ‌های مورد بررسی را به نحو کاراتری تفکیک می‌کنند. بر اساس پژوهش‌های محسنی و همکاران (۲۰۱۵) روی ۳۹ ژنوتیپ گندم، شاخص‌های GMP، HM، YI، DI، MSTI، MP و SNPI برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل و پایداری عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی مناسب‌ترین شاخص‌ها بودند.

برای انتخاب ارقام مطلوب با ویژگی‌های خاص استفاده از یک صفت به تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نشود، بر همین اساس از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل^۸ به منظور ادغام تعدادی از صفات مهم مرفولوژیک، برای ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها و تنوع ژنتیکی آنها می‌توان استفاده نمود (زالی و همکاران ۲۰۱۶، ۲۰۱۷). روش SIIG، برای اولین بار توسط زالی

^۱SSI = Stress Susceptibility Index

^۲RDI = Relative Drought Stress

^۳ATI = Abiotic Tolerance Index

^۴SSPI = Stress Susceptibility Percentage Index

^۵SNPI = Stress and Non-Stress Production Index

^۶MSTI = Modified Stress Tolerance Index

^۷YI = Yield index

^۸SIIG = Selection Ideal Index Genotype

کرت ۵ گرم بذر کلزا استفاده شد. شیارهایی با عمق ۲ سانتی‌متر بر روی ردیف‌ها ایجاد و بذور کلزا در بین ۴ ردیف تقسیم و داخل شیارها ریخته شد و سپس روی بذرها با خاک پوشانده شد. صفات مختلف شامل ارتفاع بوته (H)، تعداد غلاف در بوته (NPP)، تعداد دانه در غلاف (NSP)، وزن هزار دانه (TSW) و عملکرد در هکتار (Yield) تحت شرایط تنش یخ‌زدگی و بدون تنش اندازه‌گیری شدند. برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش یخ‌زدگی از میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و نیز از شاخص‌های موجود در جدول ۱ استفاده شد:

Zarfam, L1009, KR18, Ahmadi, L957, Talaya و SW101, L14, KS7, Licord, HW101, Nafis و L1008. ژنوتیپ‌ها به صورت کشت پاییزه در اراضی کشاورزی بخش تیکمه‌داش از توابع شهرستان بستان آباد واقع در ۶۵ کیلومتری جنوب شرقی تبریز با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی کشت شدند. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۸۴۹ متر و متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۰ میلی‌متر بود. اندازه هر کرت ۴٫۸ مترمربع در نظر گرفته شد که شامل چهار ردیف به طول ۴ متر با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بود و برای هر

جدول ۱- شاخص‌های مختلف تحمل به سرما

Reference	Index*	Index name	نام شاخص
روزیه و هامیلین، ۱۹۸۱	$TOL = Y_p - Y_s$	Tolerance index	شاخص تحمل
روزیه و هامیلین، ۱۹۸۱	$MP = (Y_p + Y_s)/2$	Mean productivity	شاخص میانگین تولید
فیشر و مورر، ۱۹۷۸	$SSI = 1 - \frac{Y_s}{Y_p} / SI$	Stress susceptibility index	شاخص حساسیت به خشکی
فرناندز، ۱۹۹۲	$SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$	Stress susceptibility index	میانگین هندسی
فرناندز، ۱۹۹۲	$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$	Stress tolerance index	شاخص تحمل به تنش
فرناندز، ۱۹۹۲	$STI = \frac{(Y_p \times Y_s) / \bar{Y}_p^2}{2 \times Y_p \times Y_s}$	Stress tolerance index	شاخص تحمل به تنش
فرناندز، ۱۹۹۲	$HM = \frac{Y_p + Y_s}{2}$	Harmonic mean	میانگین هارمونیک عملکرد
فیشر و وود، ۱۹۷۹	$RDI = \frac{(Y_s / Y_p)}{(\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)}$	Relative drought index	شاخص خشک نسبی
موسوی و همکاران، ۲۰۰۸	$ATI = \left(\frac{Y_p - Y_s}{(\bar{Y}_p / \bar{Y}_s)} \right) \times \left(\sqrt{Y_p \times Y_s} \right)$	Abiotic-stress tolerance index	شاخص تحمل غیرزیستی
موسوی و همکاران، ۲۰۰۸	$SSPI = \frac{Y_p - Y_s}{2\bar{Y}_p} \times 100$	Stress susceptibility percentage index	شاخص درصد حساسیت به تنش
موسوی و همکاران، ۲۰۰۸	$SNPI = \sqrt{\frac{(Y_p + Y_s)}{(Y_p - Y_s)}} \times \sqrt{Y_p \times Y_s \times Y_s}$	Stress non-stress production index	شاخص تولید در شرایط بدون تنش و تنش
بوسلاما و اسکاپوق، ۱۹۸۴	$YSI = Y_s / Y_p$	Yield stability index	شاخص پایداری عملکرد
چوکان و همکاران، ۲۰۰۶	$\%R = \frac{Y_p - Y_s}{\bar{Y}_p} \times 100$	Percentage of yield decrease	درصد کاهش عملکرد
گاوازی و همکاران، ۱۹۹۷	$YI = Y_p / \bar{Y}_s$	Yield index	شاخص عملکرد

استفاده شد که نحوه محاسبه این شاخص به شرح زیر است:

تشکیل ماتریس داده‌ها: با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به صورت رابطه ۱ تشکیل شد (ماتریس D).

*در این روابط Y_p و Y_s به ترتیب عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش و \bar{Y}_p و \bar{Y}_s به ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشد

به منظور ادغام شاخص‌های مختلف از روش SIIG

(ضعیف) برای هر صفت (شاخص): در این مرحله با توجه به نوع صفت و نظر محقق برای هر صفت به طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ (ایده‌آل) و ضعیف‌ترین (غیرایده‌آل) انتخاب شد. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر مقدار عملکرد یک ژنوتیپ مقدار ایده‌آل و پایین‌ترین مقدار عملکرد به‌عنوان ژنوتیپ غیرایده‌آل (ضعیف) در نظر گرفته شد. همچنین در مورد تعداد روز تا رسیدگی (DMA)، چنانچه زودرسی ژنوتیپ‌ها مهم باشد، مقدار ایده‌آل برابر کم‌ترین مقدار DMA و مقدار ضعیف برابر با حداکثر مقدار DMA برای ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

۴) محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (di+) و ژنوتیپ‌های ضعیف (di-): در این مرحله برای هر ژنوتیپ، فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (di+) و ژنوتیپ‌های ضعیف (di-) به‌ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد. به‌عبارت دیگر برای محاسبه فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (di+)، با توجه به رابطه ۴، ابتدا مقادیر تمام صفات (نرمال شده) در یک لاین (ژنوتیپ) را از مقادیر ایده‌آل برای هر صفت (که در مرحله قبل مشخص شده است) کم نموده و به توان ۲ رسانده و در نهایت آنها را جمع و جذر گرفته شد. همین کار را هم برای محاسبه فاصله از ژنوتیپ ضعیف (di-) برای هر لاین انجام شد (رابطه ۵).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2}$$

شاخص (صفت) j ($j = 1, 2, \dots, m$) است.

۵) محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG): در آخرین مرحله برای محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل برای هر لاین یا ژنوتیپ از رابطه ۶ استفاده شد:

$$SIIG_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

روش، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های ضعیف است (زالی و همکاران، ۲۰۱۵). منظور از ژنوتیپ ایده‌آل،

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این ماتریس x_{ij} مقدار ژنوتیپ i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با صفت j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) بود. به عبارت دیگر ردیف‌ها را ژنوتیپ‌ها و ستون‌ها را صفات تشکیل دادند.

۲) تبدیل ماتریس داده‌های اولیه (ماتریس D) به یک ماتریس نرمال (ماتریس R): از رابطه ذیل برای نرمال کردن داده‌ها (بدون واحد کردن داده‌ها) استفاده شد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۲، برای نرمال نمودن داده‌ها، تک تک ژنوتیپ‌ها برای هر صفت را به توان ۲ رسانده و سپس جمع نموده و جذر گرفته شد (مخرج کسر) و در نهایت تک تک ژنوتیپ‌ها را به مخرج کسر تقسیم شد. بنابراین بعد از نرمال نمودن داده‌های اولیه (ماتریس D)، ماتریس R به‌صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳) پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیرایده‌آل

$$i = 1, \dots, n \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$i = 1, \dots, n \quad \text{رابطه (۵)}$$

در روابط فوق r_{ij} مقدار نرمال شده ژنوتیپ i ام ($i = 1, 2, \dots, n$) در رابطه با شاخص (صفت) j ام ($j = 1, 2, \dots, m$) است. r_{j+} و r_{j-} به‌ترتیب مقادیر نرمال شده ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های ضعیف برای هر

$$0 \leq SIIG_i \leq 1 \quad \text{رابطه (۶)}$$

مقدار $SIIG_i$ بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار $SIIG$ آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. براساس این

Talaye, L1009, L1008, SW101, Nafis, L957 و KS7 بیشترین ارتفاع و بقیه ژنوتیپ‌ها ارتفاع کمتری داشتند. در صفت تعداد غلاف در بوته بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. ژنوتیپ‌های KR18, Licord و Opera کمترین تعداد دانه در غلاف را داشتند و این صفت در سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. در صفت وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های Opera, HW101, Nafis, SW101, L1008, SLM046, KH4, Talaye, Zarfam, L957, L14 و L963 بیشترین وزن را داشتند و سایر ژنوتیپ‌ها وزن کمتری را به خود اختصاص دادند. همچنین نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های KS7, L957, Opera و Nima بیشترین و ژنوتیپ‌های KR18, HW101, SW101, L14, KH4, Ahmadi, Okapi, SLM046, Zarfam و L963 کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳).

مقادیر شاخص‌های تحمل و حساسیت به یخ‌زدگی و همچنین عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش به ترتیب در ژنوتیپ‌های KS7 (۲۴۵۰)، L957 (۲۰۴۴)، Nima (۲۰۰۰)، Opera (۱۵۲۱) و Nafis (۱۲۹۳) و کمترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به ترتیب در ژنوتیپ‌های KR18 (۵۴۴)، SW101 (۵۶۹)، HW101 (۵۹۳)، L14 (۶۴۷) و Okapi (۷۰۵) مشاهده گردید. در شرایط تنش یخ‌زدگی (Ys) نیز بیشترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Opera (۱۲۴۵)، KS7 (۹۵۰)، L957 (۸۳۶)، L963 (۷۸۲) و Licord (۶۹۵) و کمترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های KR18 (۲۰۸)، KH4 (۲۱۷)، HW101 (۲۵۹)، Ahmadi (۳۰۲) و SW101 (۳۳۳) بود (جدول ۴).

ژنوتیپ فرضی است که بیشترین تحمل و ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپ فرضی است که کمترین تحمل به تنش را داشته باشد (زالی و همکاران، ۲۰۱۶). در حقیقت، ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل همه شاخص‌های تحمل به خشکی به دست می‌آید، در حالی که ژنوتیپ ضعیف از مجموع مقادیر ضعیف تمامی شاخص‌ها حاصل می‌شود. برای مثال، در مورد عملکرد، بیشترین عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و کمترین عملکرد یک ژنوتیپ به عنوان مقدار ضعیف در نظر گرفته می‌شود، اما در مورد شاخص SSI مقدار ایده‌آل برابر با کمترین مقدار SSI و مقدار ضعیف برابر با بیشترین مقدار SSI برای ژنوتیپ‌ها است.

در این پژوهش برای انجام تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار SAS، برای محاسبه شاخص‌های تحمل به یخ‌زدگی از نرم افزار Excel و برای رسم نمودار سه بعدی از نرم افزار Statistica استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته (H)، تعداد غلاف در بوته (NPP)، تعداد دانه در غلاف (NSP)، وزن هزار دانه (TSW) و عملکرد در هکتار (Yield) تحت شرایط تنش یخ‌زدگی و بدون تنش در جدول ۲ ارائه شده است. اثر عملکرد در هکتار در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. اثر ژنوتیپ برای صفات ارتفاع بوته و عملکرد در هکتار در سطح احتمال یک درصد و برای صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار و برای سایر صفات غیر معنی دار بود. معنی دار بودن اثر ژنوتیپ حاکی از اختلاف معنی دار بین ژنوتیپ‌ها و متفاوت بودن توان ژنتیکی آنها در ارتفاع بوته، عملکرد در هکتار و وزن هزار دانه است. برهمکنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت برای عملکرد در هکتار در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود.

مقایسه میانگین صفات نشان داد که در صفت ارتفاع بوته، ژنوتیپ‌های Opera, Ahmadi, KR18, Licord

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط بدون تنش و تنش یخ‌زدگی

میانگین مربعات						منابع تغییر
عملکرد در هکتار	وزن هزاردانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	ارتفاع بوته	درجه آزادی	
۷۴۰۶۰۷ ^{NS}	۴/۰۳ ^{NS}	۳۶/۹۸*	۱۱۰۴۶/۸ ^{NS}	۰/۶۲*	۲	تکرار
۱۰۱۴۶۹۱۳**	۱۳/۹۴ ^{NS}	۵/۱۸ ^{NS}	۱۶۳۱۲/۹۶ ^{NS}	۰/۴۱ ^{NS}	۱	تاریخ کشت
۷۶۵۱۵	۱/۲۶	۰/۸۳	۶۲۲/۶۱	۰/۰۰۹	۲	خطای a
۱۵۳۶۰۹۴۲**	۰/۷۴*	۱۱/۴۵ ^{NS}	۵۰۵/۸۴ ^{NS}	۰/۰۲۲**	۱۸	ژنوتیپ
۵۰۴۶۳۶۷**	۰/۶۳ ^{NS}	۳/۱ ^{NS}	۲۷۲/۰۶ ^{NS}	۰/۰۰۵ ^{NS}	۱۸	ژنوتیپ × تاریخ کشت
۲۲۴۶۴۸۴	۰/۴۲	۶/۷۸	۵۶۹/۹۳	۰/۰۰۶	۷۲	خطای b
۲۰/۴۱	۱۹/۳۸	۱۱/۰۹	۲۸/۷۲	۷/۰۲		ضریب تغییرات(%)

*, ** و NS به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک با استفاده از روش LSD در ۱۹ ژنوتیپ کلزا

ژنوتیپ	صفات			
	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن هزاردانه
SLM046	۱/۰۶۹ ^{c-f}	۷۱/۲۳ ^{ab}	۲۳/۹۷ ^{ab}	۳/۴۹ ^{a-e}
Opera	۱/۱۵۶ ^a	۹۳/۵۷ ^{ab}	۲۱/۹۵ ^{bc}	۳/۹۴ ^a
L963	۱/۰۲۵ ^{d-f}	۷۸/۷۰ ^{ab}	۲۵/۱۷ ^a	۳/۲۵ ^{a-e}
Okapi	۱/۰۰۹ ^f	۸۲/۳۰ ^{ab}	۲۵/۵ ^a	۳/۱۰ ^{c-e}
Nima	۱/۰۵۱ ^{c-f}	۷۵/۲۳ ^{ab}	۲۳/۸۳ ^{ab}	۲/۷۵ ^e
KH4	۱/۰۴۳ ^{c-f}	۸۰/۶۰ ^{ab}	۲۴/۰۶ ^{ab}	۳/۴۸ ^{a-e}
Talaye	۱/۱۱۱ ^{a-d}	۸۹ ^a	۲۳/۱۲ ^{ab}	۳/۴۸ ^{a-e}
L957	۱/۰۸۴ ^{a-f}	۹۰/۹۳ ^a	۲۵/۳ ^a	۳/۲۸ ^{a-e}
Ahmadi	۱/۱۵۵ ^{ab}	۸۱/۲۳ ^{ab}	۲۴/۰۸ ^{ab}	۳/۰۴ ^{c-e}
KR18	۱/۱۵ ^{ab}	۸۶/۸۳ ^{ab}	۱۹/۹۳ ^c	۳/۰۳ ^{c-e}
L1009	۱/۱۰۸ ^{a-d}	۸۷/۶ ^{ab}	۲۵/۰۴ ^a	۳ ^{c-e}
Zarfam	۱/۰۲۱ ^{ef}	۶۱/۱۸ ^b	۲۴/۵۹ ^{ab}	۳/۳۰ ^{a-e}
Nafis	۱/۰۸۷ ^{a-f}	۷۶/۸۳ ^{ab}	۲۲/۷۰ ^{ac}	۳/۸۸ ^{ab}
HW101	۱/۰۴۹ ^{c-f}	۷۳/۴۰ ^{ab}	۲۳/۱۶ ^{ab}	۳/۹۶ ^a
Licord	۱/۱۱۴ ^{a-c}	۸۰/۶۷ ^{ab}	۲۱/۹۳ ^{bc}	۲/۹۳ ^{de}
KS7	۱/۰۷۹ ^{a-f}	۸۷/۴۷ ^{ab}	۲۳/۰۶ ^{ab}	۳/۱۹ ^{b-e}
L14	۱/۰۵۹ ^{c-f}	۹۷/۱ ^a	۲۲/۹۹ ^{ab}	۳/۲۶ ^{a-e}
SW101	۱/۱۰۱ ^{a-e}	۸۹/۲۷ ^a	۲۳/۲۲ ^{ab}	۳/۷۲ ^{a-c}
L1008	۱/۱۰۷ ^{a-e}	۹۶/۲۳ ^a	۲۲/۶۳ ^{a-c}	۳/۵۶ ^{a-d}

اختلاف میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشترک هستند، از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های مختلف تحمل به یخ زدگی در ارقام و لاین‌های کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش یخ زدگی

ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	HM	%R	YI	YSI	RDI	ATI	SSPI
SLM046	۸۵۵	۵۲۱	۳۳۴	-۰/۷۶	۶۸۸	۶۶۷	-۰/۳۲۷	۶۴۷	۳۹/۰۹	-۰/۹۲	-۰/۶۰۹	۱/۲۵	۱۰۸۳۵۲	۱۴/۳
Opera	۱۵۲۱	۱۲۴۵	۲۷۷	-۰/۳۵	۱۳۸۳	۱۳۷۶	۱/۳۹۰	۱۳۶۹	۱۸/۱۹	۲/۲۰	-۰/۸۱۸	۱/۶۸	۱۸۵۰۱۵	۱۱/۹
L963	۸۸۹	۷۸۲	۱۰۷	-۰/۲۳	۸۳۵	۸۳۴	-۰/۵۱۰	۸۳۲	۱۲/۰۵	۱/۳۸	-۰/۸۷۶	۱/۸۱	۴۳۳۸۵	۴/۶
Okapi	۷۰۵	۶۳۱	۷۴	-۰/۲۰	۶۶۸	۶۶۷	-۰/۳۲۷	۶۶۶	۱۰/۵۰	۱/۱۱	-۰/۸۹۵	۱/۸۴	۲۴۰۱۴	۳/۲
Nima	۲۰۰۰	۴۸۱	۱۵۲۰	۱/۴۸	۱۲۴۰	۹۸۰	-۰/۷۰۶	۷۷۵	۷۵/۹۸	-۰/۸۵	-۰/۳۴۰	-۰/۴۹	۷۳۳۹۰۳	۶۵/۸
KH4	۷۹۱	۲۱۷	۵۷۴	۱/۴۱	۵۰۴	۴۱۵	-۰/۱۲۶	۳۴۱	۱۷/۵۲	-۰/۳۸	-۰/۳۷۵	-۰/۵۷	۱۱۵۵۹۲	۲۴/۶
Talaye	۱۲۰۷	۶۸۹	۵۱۷	-۰/۸۳	۹۴۸	۹۱۲	-۰/۶۱۱	۸۷۷	۴۲/۸۸	۱/۲۲	-۰/۵۷۱	۱/۱۸	۲۲۹۳۲۳	۲۲/۲
L957	۲۰۴۴	۸۳۶	۱۲۰۸	۱/۱۵	۱۴۴۰	۱۳۰۷	۱/۲۵۴	۱۱۸۶	۵۹/۱۱	۱/۴۷	-۰/۴۰۹	-۰/۸۴	۷۶۷۰۵۷	۵۱/۸
Ahmadi	۸۱۲	۳۰۲	۵۱۰	۱/۲۲	۵۵۷	۴۹۵	-۰/۱۸۰	۴۴۰	۶۲/۸۴	-۰/۵۳	-۰/۳۷۲	-۰/۷۶	۱۲۲۶۲۳	۲۱/۹
KR18	۵۴۴	۲۰۸	۳۳۶	۱/۲۰	۳۷۶	۳۳۶	-۰/۰۸۳	۳۰۱	۶۱/۸۰	-۰/۳۷	-۰/۳۸۲	-۰/۷۹	۵۴۸۶۶	۱۴/۴
L1009	۱۳۵۴	۴۵۲	۹۰۲	۱/۳۰	۹۰۳	۷۸۲	-۰/۴۴۹	۶۷۸	۶۶/۶۱	-۰/۸۰	-۰/۳۳۴	-۰/۶۹	۳۴۲۶۶۲	۳۸/۶
Zarfam	۱۰۳۳	۵۲۵	۴۹۸	-۰/۹۴	۷۸۴	۷۴۳	-۰/۴۰۶	۷۰۵	۴۸/۳۳	-۰/۹۴	-۰/۵۱۸	۱/۰۷	۱۷۹۹۹۳	۲۱/۴
Nafis	۱۳۹۳	۵۲۲	۸۶۰	۱/۲۰	۹۶۲	۸۶۱	-۰/۵۴۴	۷۷۰	۶۱/۷۸	-۰/۹۴	-۰/۳۸۲	-۰/۷۹	۳۵۹۸۲۵	۳۶/۹
HW101	۵۹۳	۲۵۹	۳۳۵	۱/۱۰	۴۲۶	۳۹۲	-۰/۱۱۳	۳۶۰	۵۶/۴۰	-۰/۴۶	-۰/۴۳۶	-۰/۹۰	۶۳۷۳۲	۱۴/۳
Licord	۱۴۳۲	۶۹۵	۷۴۷	۱/۰۱	۱۰۶۹	۱۰۰۱	-۰/۷۳۶	۹۳۸	۵۱/۸۰	۱/۲۳	-۰/۴۸۲	-۰/۹۹	۳۶۳۴۲۱	۳۲/۰
KS7	۲۴۵۰	۹۵۰	۱۵۰۱	۱/۱۹	۱۷۰۰	۱۵۲۵	۱/۷۰۹	۱۳۶۹	۶۱/۲۴	۱/۶۷	-۰/۳۸۸	-۰/۸۰	۱۱۱۲۱۱۶	۶۴/۳
L14	۶۴۷	۴۱۷	۲۳۰	-۰/۶۹	۵۲۲	۵۲۰	-۰/۱۹۸	۵۰۷	۳۵/۵۰	-۰/۷۴	-۰/۶۴۵	۱/۳۳	۵۸۰۰۰	۹/۸
SW101	۵۶۹	۳۲۳	۲۳۵	-۰/۸۰	۴۵۱	۴۳۵	-۰/۱۳۹	۴۲۰	۴۱/۳۷	-۰/۵۹	-۰/۵۸۶	۱/۲۱	۴۹۷۷۰	۱۰/۱
L1008	۱۳۳۰	۶۹۳	۶۳۷	-۰/۹۳	۱۰۱۲	۹۶۰	-۰/۶۷۷	۹۱۲	۴۷/۸۸	۱/۲۲	-۰/۵۲۱	۱/۰۷	۲۹۷۲۹۷	۲۷/۳

Yp: عملکرد تحت شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد تحت شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، MP: مقربسط تولید، GMP: میانگین هندسی عملکرد، TI: شاخص تحمل به تنش، HM: میانگین هارمونیک عملکرد، %R: درصد کاهش عملکرد، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RDI: شاخص خشکی نسبی، ATI: شاخص تحمل غیرزیستی، %SPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، %SNPI: شاخص تولید در شرایط غیرتنش و تنش

برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش آخر فصل در بین ارقام کلزا معرفی کردند. میرفخرایی و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند که اگر دو ژنوتیپ دارای شاخص STI تقریباً برابری بودند، ژنوتیپی که شاخص TOL کمتری دارد، به عنوان ژنوتیپ مطلوب‌تر در نظر گرفته می‌شود.

بر مبنای شاخص‌های SSI و درصد کاهش عملکرد (%R)، ژنوتیپ‌های Nima, L1009, KH4, Ahmadi و KR18 بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. این ژنوتیپ‌ها همچنین بر مبنای شاخص YSI و RDI کمترین مقدار را نشان دادند. از طرفی ژنوتیپ‌های Okapi, L963, Opera, L14 و SLM046 کمترین مقدار SSI و %R و بیشترین مقدار شاخص‌های YSI و RDI را داشتند. این مطلب همبستگی بالا ولی منفی این شاخص‌ها را نشان می‌دهد. در پژوهش‌های موسوی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تحم لیه سرما در ۱۶ رقم کلزا، رقم SLM046 کمترین میزان STI را داشت. مقادیر کم SSI بیانگر تغییرات کم عملکرد در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و پایداری بیشتر ژنوتیپ است. در مورد شاخص SSI مقدار ایده‌آل برابر با کمترین مقدار SSI و مقدار ضعیف برابر با بیشترین مقدار SSI برای ژنوتیپ‌ها است. آنها معتقدند که عملکرد بالا در شرایط تنش، یا ناشی از مکانیسم فرار از تنش یا نتیجه سازگاری رقم به علت فرآیندهای خاص در شرایط تنش است. بر مبنای پارامترهای YSI و RDI ژنوتیپ‌هایی که بیشترین مقدار را دارند، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به یخ‌زدگی و بر عکس ژنوتیپ‌هایی که کمترین مقدار SSI و %R را داشته باشند، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به یخ‌زدگی معرفی می‌شوند. در شاخص YSI مقادیر بیشتر از واحد نشان دهنده حساسیت ژنوتیپ و پایداری کم عملکرد تحت شرایط تنش است. شاخص YSI و %R، ارقام را در جهت عکس یک دیگر گزینش می‌کنند. به عبارت دیگر، رقمی که

بر مبنای شاخص‌های TOL و SSPI بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های Nima, KS7, L957, L1009 و Nafis و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های Okapi, L963, L14, SW101 و Opera بود. همچنین برای شاخص ATI بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های KS7, L957, Nima, Licord و Nafis و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های Okapi, L963, SW101, KR18 و L14 بود (جدول ۴). ژنوتیپ‌های دارای تحمل بیشتر به تنش، مقدار کمتری برای این شاخص‌ها دارند و ژنوتیپ‌های برتر، کاهش عملکرد کمتری در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش دارند. از نظر موسوی و همکاران (۲۰۰۸)، شاخص‌های ATI و SSPI ژنوتیپ‌های دارای تحمل نسبی به شرایط تنش را تفکیک می‌کند و بنابراین ابزاری قوی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش هستند.

برای شاخص‌های GMP, STI و HM ژنوتیپ‌های KS7, Opera, L957 و Licord بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های KR18, HW101, KH4, SW101 و Ahmadi کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپی که بیشترین مقدار را داشته باشد، مطلوب و جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. از نظر فرناندز (۱۹۹۲) شاخص STI قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش است و شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) کمتر تحت تاثیر ارزش نهایی صفات است و ژنوتیپ‌های گروه A را از بقیه جدا می‌کند (یوسفی و رضایی ۲۰۰۸). شاخص تحمل به تنش (STI) قادر است ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه B (فقط در شرایط بدون تنش عملکرد نسبتاً بالایی دارند) و C (فقط در شرایط تنش عملکرد نسبتاً بالایی دارند)، تفکیک کند. نعیمی و همکاران (۲۰۰۸) نیز شاخص‌های STI و GMP را جزء بهترین شاخص‌ها

(۲۰۰۸)، شاخص MP را یکی از بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش آخر فصل در بین ارقام کلزا معرفی کردند. ولی فرناندز (۱۹۹۲)، شاخص MP را جزء شاخص‌های با کارایی پایین معرفی و بیان کرد که این شاخص نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا را به‌طور همزمان در شرایط تنش و بدون تنش تفکیک کند.

بیشترین مقدار شاخص YI، به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Opera، KS7، L957، L63 و Licord و کمترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های KR18، KH4، HW101، Ahmadi و SW101 بود (جدول ۴). مطابق نظر گاوآزی و همکاران (۱۹۹۷)، شاخص YI برای گزینش ارقام گروه A بازده ندارد.

بر مبنای شاخص تولید غیر تنش-تنش (SNPI) که مقاومت نسبی ژنوتیپ‌ها را نسبت به شرایط تنش نشان می‌دهد، ژنوتیپ‌های Opera، L963، Okapi، KS7 و L957 به ترتیب بیشترین مقدار را نشان دادند و ژنوتیپ‌های KR18، KH4، HW101، Ahmadi و SW101 کمترین مقدار شاخص SNPI را داشتند (جدول ۴). در این شاخص ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار SNPI بیشتر باشند، دارای مقاومت نسبی به تنش بوده و ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار SNPI کمتر باشند، ژنوتیپ‌هایی با حساسیت نسبی به تنش معرفی می‌شوند. استفاده از شاخص‌های SNPI، ATI و SSPI به منظور بررسی تحمل به خشکی در پژوهش‌های زالی و همکاران (۲۰۱۶) روی گیاه کلزا گزارش شده است.

از نظر موسوی و همکاران (۲۰۰۸)، شاخص‌های ATI و SNPI نسبت به شاخص‌های TOL و SSI بهتر می‌توانند ژنوتیپ‌های دارای تحمل نسبی را نسبت به ژنوتیپ‌های حساس تفکیک کنند. آنها بیان کردند که شاخص SNPI همبستگی مثبتی با تغییرات عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و همبستگی منفی با شاخص‌های SSI و TOL دارد. این شاخص ژنوتیپ‌های برتر با عملکرد بالا و پایدار را در شرایط تنش و بدون تنش

توسط شاخص YSI به عنوان رقمی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش معرفی می‌شود، از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار است. در واقع شاخص YSI نشان دهنده میزان مقاومت ژنتیکی رقم به تنش یخ‌زدگی است و در ژنوتیپی با میزان YSI بالا، باید عملکرد بالایی تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش داشته باشد (زالی و همکاران، ۲۰۱۶). از نظر سی و سه مرده و همکاران (۲۰۰۶)، با توجه به این که شاخص عملکرد از نسبت عملکرد رقم در شرایط تنش به میانگین عملکرد کلیه ارقام در شرایط تنش محاسبه می‌شود، بنابراین موجب رتبه بندی ارقام بر حسب میزان عملکرد تولیدی آنها در محیط تنش خواهد شد.

بر مبنای شاخص‌های SSI و TOL ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که دارای عملکرد پایین در شرایط بدون تنش و عملکرد بالا در شرایط تنش باشند (فرناندز ۱۹۹۲). بنابراین ممکن است این شاخص‌ها در تمایز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا کارایی کمتری داشته باشند. در ضمن با توجه به مقدار پایین این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌ها باید دارای عملکرد مناسب در شرایط تنش و بدون تنش باشند. شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش-هایی با شدت کم مناسب می‌باشد. در صورتی که شاخص‌های MP، GMP و STI برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (سی و سه مرده و همکاران ۲۰۰۶).

شاخص MP نشان داد که ژنوتیپ‌های KS7، L957، Opera، Nima و Licord به ترتیب دارای بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های KR18، HW101، SW101، KH4 و L14 به ترتیب کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). امیری اوغان و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی وراثت پذیری شاخص‌های تحمل به تنش در کلزا بیان کردند که شاخص میانگین تولید (MP)، به علت داشتن تنوع ژنتیکی بالا، قابلیت توارث بالا و نیز همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه برای گزینش ارقام متحمل به تنش مناسب می‌باشد. همچنین نعیمی و همکاران

از ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند (جدول ۵).

ژنوتیپ KR18 در هر دو شرایط بدون تنش و تنش یخ‌زدگی دارای عملکرد ضعیف بود، اما ژنوتیپ‌های Opera، L957 و KS7 در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل بودند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها از بهترین ژنوتیپ‌ها هم از نظر عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش و هم از نظر تحمل به تنش بودند (جدول ۴). به این ترتیب، برای انتخاب ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به یخ‌زدگی باید علاوه بر شاخص‌های تحمل به یخ‌زدگی، به عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش هم توجه کرد. از این رو، برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نمودار سه بعدی (شکل ۱) بر مبنای عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش (Ys) و شاخص SIIG (به عنوان نماینده شاخص‌های تحمل به یخ‌زدگی) استفاده شد.

بر مبنای نمودار سه بعدی (شکل ۱)، ژنوتیپ G2 با عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش و نیز مقدار SIIG بالا، جزء محتمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا بودند و در گروه A قرار گرفت و همچنین ژنوتیپ‌های G16، G20 و G8 با عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش و نیز مقدار SIIG متوسط در گروه A قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های G17 و G9 با وجود داشتن مقدار کم شاخص SIIG دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند. این مطلب نشان داد که هر چند این ژنوتیپ‌ها دچار کاهش عملکرد زیادی در شرایط تنش شدند، ولی باز هم عملکرد آنها در شرایط تنش از متوسط کل بیشتر بود که این مطلب بیانگر پرمحصول بودن این ژنوتیپ‌ها و مناسب بودن آنها برای مناطقی است که با تنش انتهایی فصل مواجه نمی‌شوند. البته حتی اگر در این مناطق گیاه دچار تنش انتهایی فصل شود این ژنوتیپ‌ها می‌توانند عملکرد قابل قبولی تولید کنند. ژنوتیپ‌های G7، G10، G13، G11،

معرفی می‌کند. بنابراین، آنها شاخص SNPI را به عنوان یک شاخص مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و پایدار معرفی کردند.

به منظور بررسی کاراتر تحمل به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌ها با استفاده از تمام شاخص‌های مختلف تحمل به یخ‌زدگی (جدول ۴) به‌طور همزمان، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد (جدول ۵). شاخص SIIG بر مبنای ۱۳ شاخص تحمل به یخ‌زدگی جدول ۴، شامل YI، %R، HM، STI، GMP، MP، SSI، TOL، ATI، RDI، YSI و SNPI محاسبه شد (جدول ۵). در واقع این روش نتایج شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی را ادغام نموده و تبدیل به یک شاخص واحد می‌نماید و کارایی تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد (زالی و همکاران، ۲۰۱۵). از آن جایی که میزان تغییرات این شاخص بین صفر و یک می‌باشد، هر چه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به یک نزدیکتر باشد، آن ژنوتیپ از تحمل به تنش بالاتری برخوردار است و هر چه مقدار SIIG برای ژنوتیپی به صفر نزدیکتر باشد، ژنوتیپ مورد بررسی نسبت به یخ‌زدگی حساس‌تر است. در واقع به کمک شاخص SIIG، محقق تصمیم‌نهایی را در انتخاب بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش می‌گیرد.

بر اساس شاخص SIIG، ژنوتیپ Opera با بیشترین مقدار SIIG (۰٫۸۳۷) محتمل‌ترین ژنوتیپ به تنش بود (جدول ۵). بعد از آن ژنوتیپ‌های Okapi، L963، Talaye، L1008 و SLM046 به ترتیب با مقدار SIIG ۰٫۶۴۳، ۰٫۵۹۳، ۰٫۵۳۸، ۰٫۵۱۸ و ۰٫۵۰۳، محتمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به یخ‌زدگی در شرایط این تحقیق بودند. از طرفی، ژنوتیپ Nima با کمترین مقدار SIIG (۰٫۳۱۳)، حساس‌ترین ژنوتیپ به یخ‌زدگی بود و ژنوتیپ‌های KH4، L1009، Ahmadi، KR18 و Nafis به ترتیب با مقدار کم SIIG ۰٫۳۷۵، ۰٫۳۷۸، ۰٫۴۰۳، ۰٫۴۰۹ و ۰٫۴۱۲ در مرتبه بعدی از نظر حساسیت به خشکی قرار داشتند. سایر ژنوتیپ‌ها نیز در حفاصل این دو دسته

شاخص SIIG به منظور بررسی تحمل لاین‌های پیشرفته گندم دوروم تحت شرایط تنش آلومینیوم استفاده نمودند و بیان نمودند که در استفاده از شاخص تحمل Ti (مقدار صفت در سطح تنش تقسیم بر مقدار صفت در سطح شاهد) به دلیل وجود Ti‌های مختلف بر اساس صفات متفاوت تصمیم‌گیری روی لاین‌های حساس و متحمل کار راحتی نیست. در صورتی‌که، با جمع این شاخص‌ها در قالب یک شاخص تحت عنوان شاخص SIIG کار تصمیم‌گیری راحت‌تر می‌شود.

ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به سرما و عملکرد در شرایط کشت نرمال و کشت تاخیری در جدول ۶ نشان داده شده است. همبستگی عملکرد در شرایط کشت نرمال (Yp) با شاخص‌های MP, TOL, GMP, STI, HM, ATI, SSPI, SNPI و YI مثبت و معنی‌دار بود. همچنین عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) با شاخص‌های MP, GMP, STI, HM, SNPI و SIIG همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. شاخص‌هایی که در هر دو آزمایش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند، به عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شوند زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند (فرشادفر، ۱۹۹۷). با توجه به جدول ۶، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP, GMP, STI, HM و SNPI می‌توانند به عنوان بهترین شاخص‌ها، جهت دستیابی به ارقام پر محصول در هر دو شرایط تنش و بدون تنش به کار روند. ماهاجان و تیوجان (۲۰۰۵) نیز در مطالعه‌ای بیان کردند که بین سه شاخص GMP, MP, STI با عملکرد دانه همبستگی بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش خشکی وجود دارد. در پژوهش موسوی و همکاران (۲۰۱۲) روی گیاه کلزا، همبستگی عملکرد در شرایط کشت نرمال و شرایط تنش با شاخص‌های STI, GMP و MP مثبت و معنی‌دار بود و همچنین عملکرد تحت شرایط بدون تنش با شاخص‌های GMP, STI, TOL و MP همبستگی معنی‌داری را

G15, G18, G19 و G1 با عملکرد پایین‌تر از متوسط کل در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و نیز مقدار SIIG کم، از ژنوتیپ‌های ضعیف و حساس به یخ‌زدگی بودند و در گروه D قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های گروه B شامل ژنوتیپ‌های G6, G12 و G14 با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و عملکرد پایین‌تر از متوسط کل در شرایط تنش و مقدار شاخص SIIG پایین، جزء ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بودند. ژنوتیپ‌های G3 و G4 در گروه C قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد پایین در شرایط بدون تنش و عملکرد بالاتر از متوسط کل در شرایط تنش بودند و با مقدار بالای SIIG جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش یخ‌زدگی شناخته شدند. در واقع این ژنوتیپ‌ها مساعد مناطق با تنش انتهایی فصل هستند (شکل ۱).

نجفی میرک و همکاران (۲۰۱۸) از شاخص SIIG به منظور ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری ناپارامتری در گندم دوروم استفاده نمودند و با استفاده از شاخص SIIG و عملکرد، در یک نمودار دو بعدی توانستند ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا را معرفی نمایند. در تحقیقی دیگر یاقوتی‌پور و همکاران (۲۰۱۷) از شاخص SIIG به منظور ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در گندم نان استفاده نمودند و بیان داشتند که شاخص SIIG یک روش ترکیبی جدید و کارا در انتخاب مؤثرتر ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشد. زالی و همکاران (۲۰۱۶) صفات مختلف تحمل به خشکی را با استفاده از شاخص SIIG ادغام نموده و بیان نمودند که شاخص SIIG با ادغام صفات یا شاخص‌های مختلف، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب را مؤثرتر انجام می‌دهد. زالی و همکاران (۲۰۱۵) از شاخص SIIG به منظور ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری پارامتری و ناپارامتری در کلزا استفاده نمودند. آنها شاخص SIIG را روشی مناسب به منظور ادغام صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی و همچنین سایر شاخص‌های تجزیه پایداری معرفی نمودند. رمزی و همکاران (۲۰۱۸) از

HARM همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و با عملکرد در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش نشان دادند. در تحقیق فلاحی و همکاران (۲۰۱۲)، Yp و Ys همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های MP، STI، GMP، SSI و TOL و HM داشتند (به جز Ys که همبستگی منفی با شاخص‌های SSI و TOL داشت). شاه مرادی و زهراوی (۲۰۱۶) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند.

نشان داد. همبستگی عملکرد تحت تنش با شاخص SSI منفی و معنی‌دار بود. در نتیجه شاخص‌های STI، GMP، MP، به عنوان بهترین شاخص‌ها می‌توانند جهت دستیابی به ارقام پرمحصول در هر دو شرایط محیطی به کار روند. فرناندز (۱۹۹۲) با استفاده از نتایج همبستگی بین شاخص‌های TOL، MP، SSI با Yp و Ys نتیجه گرفت که STI شاخص عملکرد بالقوه و تحمل به تنش می‌باشد. در پژوهش درگاهی و همکاران (۲۰۱۱) روی ارقام کنجد، شاخص‌های STI، GMP، MP و

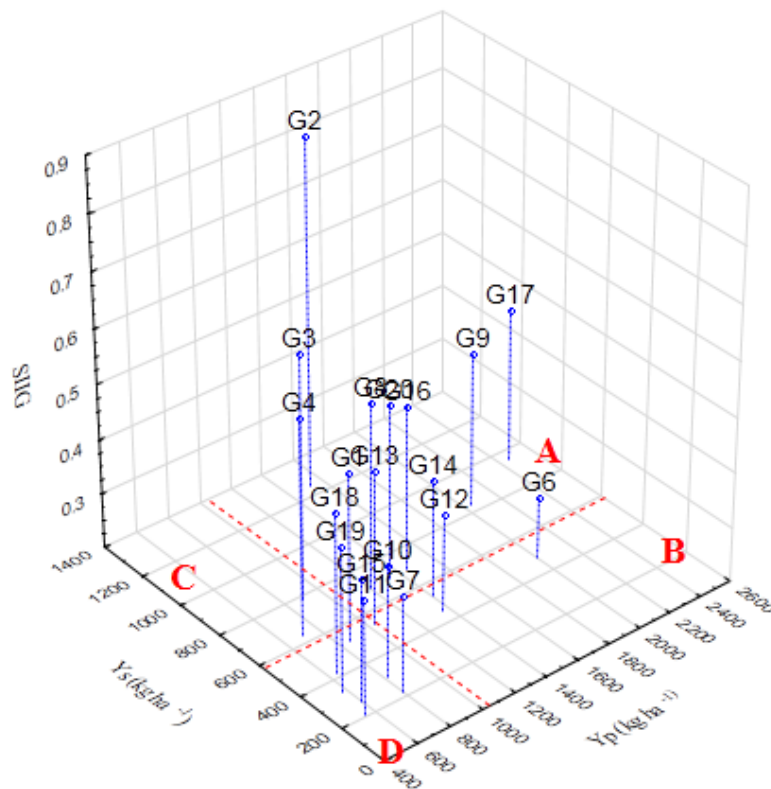
جدول ۵- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) بر مبنای شاخص‌های مختلف تحمل به یخ زدگی و فواصل از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d⁺) و غیرایده‌آل (d⁻)

رتبه	SIIG	d ⁺	d ⁻	ژنوتیپ‌ها	Gen. no.
۶	۰/۵۰۳	۰/۸۷۵	۰/۸۸۶	SLM046	G1
۱	۰/۸۳۷	۰/۲۵۸	۱/۳۲۸	Opera	G2
۲	۰/۶۴۳	۰/۶۴۰	۱/۱۵۳	L963	G3
۳	۰/۵۹۳	۰/۷۷۱	۱/۱۲۳	Okapi	G4
۱۹	۰/۳۱۳	۱/۱۶۰	۰/۵۲۹	Nima	G6
۱۸	۰/۳۷۵	۱/۱۹۲	۰/۷۱۶	KH4	G7
۴	۰/۵۳۸	۰/۷۴۰	۰/۸۶۱	Talaye	G8
۱۰	۰/۴۸۰	۰/۸۶۸	۰/۸۰۰	L957	G9
۱۶	۰/۴۰۳	۱/۰۹۹	۰/۷۴۳	Ahmadi	G10
۱۵	۰/۴۰۹	۱/۱۷۷	۰/۸۱۵	KR18	G11
۱۷	۰/۳۷۸	۱/۰۱۲	۰/۶۱۶	L1009	G12
۱۱	۰/۴۷۸	۰/۸۷۷	۰/۸۰۴	Zarfam	G13
۱۴	۰/۴۱۲	۰/۹۳۶	۰/۶۵۷	Nafis	G14
۱۳	۰/۴۲۲	۱/۱۲۳	۰/۸۲۱	HW101	G15
۷	۰/۴۹۹	۰/۷۷۹	۰/۷۷۵	Licord	G16
۹	۰/۴۸۲	۱/۰۲۶	۰/۹۵۴	KS7	G17
۸	۰/۴۸۹	۰/۹۶۲	۰/۹۲۰	L14	G18
۱۲	۰/۴۶۲	۱/۰۲۹	۰/۸۹۴	SW101	G19
۵	۰/۵۱۸	۰/۷۵۷	۰/۸۱۳	L1008	G20

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به یخ‌زدگی و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش یخ‌زدگی در ژنوتیپ‌های کلزا

YI	%R	YSI	SNPI	SSPI	ATI	RDI	HM	STI	GMP	SSI	MP	TOL	YS	Yp
														۰/۷۴۶ ^{***} Ys
													۰/۱۴۹	۰/۷۱۶ ^{***} TOL
												۰/۶۰۵ ^{***}	۰/۸۲۶ ^{***}	۰/۹۷۷ ^{***} MP
											۰/۰۴۲	۰/۷۷۵ ^{***}	-۰/۴۴۰	۰/۲۱۶ SSI
									-۰/۰۷۷		۰/۹۸۸ ^{***}	۰/۵۰۹ ^{***}	۰/۸۹۶ ^{***}	۰/۹۴۰ ^{***} GMP
							۱/۰۰۰			-۰/۰۷۷	۰/۹۸۸ ^{***}	۰/۵۰۹ ^{***}	۰/۸۹۶ ^{***}	۰/۹۴۰ ^{***} STI
							۰/۹۸۱ ^{***}		۰/۹۸۱ ^{***}	-۰/۲۱۲	۰/۹۵۱ ^{***}	۰/۳۸۸	۰/۹۵۱ ^{***}	۰/۸۸۲ ^{***} HM
								۰/۲۱۲	۰/۰۷۷	-۱/۰۰۰	-۰/۰۴۲	-۰/۷۷۵ ^{***}	۰/۴۴۰	-۰/۲۱۶ RDI
							۰/۶۶۵ ^{***}	۰/۲۱۲	۰/۷۵۴ ^{***}	۰/۵۲۱ ^{***}	۰/۸۲۱ ^{***}	۰/۹۱۹ ^{***}	۰/۴۴۷	۰/۸۹۱ ^{***} ATI
								۰/۳۸۸	۰/۵۰۹ ^{***}	۰/۷۷۵ ^{***}	۰/۶۰۵ ^{***}	۱/۰۰۰	۰/۱۴۹	۰/۷۱۶ ^{***} SSPI
							۰/۹۱۹ ^{***}	۰/۳۸۸	۰/۵۰۹ ^{***}	۰/۷۷۵ ^{***}	۰/۶۰۵ ^{***}	-۰/۰۵۶	۰/۹۵۲ ^{***}	۰/۵۹۶ ^{***} SNPI
							۰/۲۲۸	۰/۷۸۱ ^{***}	۰/۷۸۱ ^{***}	-۰/۵۸۹ ^{***}	۰/۷۱۹ ^{***}	-۰/۷۷۵ ^{***}	۰/۴۴۰	-۰/۲۱۶ YSI
								۰/۲۱۲	۰/۰۷۷	-۱/۰۰۰	-۰/۰۴۲	-۰/۷۷۵ ^{***}	۰/۴۴۰	-۰/۲۱۶ %R
							-۰/۲۱۲	-۰/۰۷۷	-۰/۰۷۷	۱/۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۷۷۵ ^{***}	-۰/۴۴۰	۰/۲۱۶ %R
							۰/۹۵۱ ^{***}	۰/۸۹۶ ^{***}	۰/۸۹۶ ^{***}	-۰/۴۴۰	۰/۸۴۶ ^{***}	۰/۱۴۹	۱/۰۰۰	۰/۷۴۶ ^{***} YI
							۰/۵۳۲ ^{***}	۰/۳۹۶	۰/۳۹۶	-۰/۸۹۸ ^{***}	۰/۲۸۶	-۰/۵۰۵ ^{***}	۰/۷۱۲ ^{***}	۰/۸۱۱ SIIG

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- نمودار سه بعدی انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به سرما با استفاده از Y_p (عملکرد در شرایط نرمال) و Y_s (عملکرد در شرایط کشت تاخیری) در مقابل شاخص SIIG

زدگی شناخته شدند.

همچنین نتایج حاکی از آن بودند که ژنوتیپ Opera با بیشترین مقدار SIIG از متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ Nima با کمترین مقدار SIIG از حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش یخ‌زدگی بودند. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) نیز به عنوان یک مدل گزینش گر می‌تواند برای انتخاب ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از ریاست محترم بخش دانه های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر از بابت تهیه بذور ژنوتیپ‌های کلزا صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش به ترتیب در ژنوتیپ‌های L957, KS7, Nima, Opera و Nafis و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در ژنوتیپ‌های L14, HW101, SW101, KR18 و Okapi مشاهده گردید. در شرایط تنش یخ‌زدگی (Y_s) نیز بیشترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های L957, KS7, Opera و L963 و کمترین عملکرد دانه به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های KR18, AHMADI, HW101, KH4 و SW101 بود. علاوه بر این ژنوتیپ‌های Opera, L1008, Licord و Talaye با داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل در هر دو شرایط بدون تنش و تنش، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به یخ-

منابع مورد استفاده

- Al-Barrak KhM, 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). Scientific Journal of King Faisal University, 7(1): 87-102.
- Amir Ghasemi T, 2002. Freezing of plants (frost, damage and prevention). Publication of Ayandegan. (In Persian).
- Amiri-Oghan H, Moghaddam M, Ahmadi MR and Davari SJ, 2004. Gene action and heritability of drought stress tolerance indices in rapeseed (*Brassica napus*). Iranian Journal of Agricultural Science, 35(1): 73-83. (In Persian).
- Barranco D and Ruiz N, 2005. Frost tolerance of eight olive cultivars. Horticultural Science, 40: 558-560.
- Bouslama M and Schapaugh WT, 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
- Burbulis N, Jonytiene V, Blinstrubiene A, Kupriene R, Liakas V and Vaguseviciene I, 2012. Cold tolerance of *Brassica napus* L. as influenced by weather conditions during wintering. Journal of Food, Agriculture and Environment, 10: 277-280.
- Choukan R, Taherkhani T, Ghannadha MR and Khodarahmi M, 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal of Agricultural Science, 8(1): 79-89. (In Persian).
- Dargahi Y, Asghari A, Shokrpour M, Rasulzadeh A, Garib Eshgi A and Shiri MR, 2011. Evaluation of water stress tolerance in sesame varieties based on tolerance indices. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 21(3): 120-133.
- Falahi HA, Alat Jafarbay J and Seydi F, 2012. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal, 27(1): 15-22. (In Persian).
- Farshadfar A, 1997. Methodology of plant breeding. Publication of Razi University. (In Persian).
- Fernandez GCJ, 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo C. G. (Ed.). Adaptation of food crops to temperature and water stress. Shanhua: Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan. Publication No. 93-410. pp: 257-270.
- Fischer RA and Maurer R, 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
- Fischer RA and Wood T, 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. Australian Journal of Agricultural Research, 30: 1001-1020.
- Flakelar CL, Luckett DJ, Howitt JA, Dorana G, Prenzler PD, 2015. Canola (*Brassica napus*) oil from Australian cultivars shows promising levels of tocopherols and carotenoids, along with good oxidative stability. Journal of Food Composition and Analysis, 42: 179-186.
- Gavuzzi P, Rizza F, Palumbo M, Campalino RG, Ricciardi GL and Borghi B, 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
- Ghasemi Golazani K and Lotfi R, 2014. Cold stress in plants. Publication of Tabriz University. (In Persian).
- Hejazi A, 2001. Rapeseed cultivation (planting-holding-harvesting). Publication of Rozaneh (In Persian).
- Levitt J, 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. II. Water, Radiation, Salt and Other Stresses (2nd Edition). Academic Press. New York, USA.
- Mahajan S and Tutejan N, 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 444: 139-158.
- Mirfakhraee N, Moghaddam M, Aharizad S and Razban Haghghi A, 2009. Evaluation of *Vicia dasycarpa* genotypes under drought stress conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 2(1): 134-141.

- Mohammadi M, Karimizadeh R and Abdipour M, 2011. Evaluation of drought tolerance in breadwheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4): 487-493.
- Mohseni M, Mortazavian SMM, Ramshini HA and Foghi B, 2015. Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(3): 524-542. (In Persian).
- Moosavi A, Ali Zadeh B, Kodarahmi M and Mostafavi Kh, 2012. Investigation of cold resistance in winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars in field condition. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(3): 29-37. (In Persian).
- Moosavi SS, Yazdi Samadi B, Naghavi MR, Zali AA, Dashti H and Pourshahbazi A, 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert Journal*, 12: 165-178.
- Naderi A, Akbari Moghaddam H and Mahmoodi K, 2014. Evaluation of bread wheat genotypes for terminal drought stress tolerance in south-warm regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 29(3): 6101-616. (In Persian).
- Naeemi M, Akbari GhA, Shirani-Rad AH, Modares Sanavi SAM, Sadat-Noori SA and Jabari H, 2008. Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *European Journal of Cancer Prevention*, 1(3): 83-98.
- Najafi Mirak T, Dastfal M, Andarzian B, Farzadi H, Bahari M and Zali H, 2018. Stability analysis of grain yield of durum wheat promising lines in warm and dry areas using parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(2): 79-96. (In Persian).
- Ort, DR, 2002. Chilling-induced limitations on photosynthesis in warm climate plants: contrasting mechanisms. *Environmental Control in Biology*, 40: 7-18.
- Ramzi E, Asghari A, Khomari S and Chamanabad HM, 2018. Investigation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *Durum* Desf) lines for tolerance to aluminum stress condition. *Journal of Crop Breeding*, 10(25): 63-72. (In Persian).
- Rosielle AA and Hamblin J, 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21: 943-946.
- Shahmoradi Sh and Zahravi M, 2016. Evaluation of drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm from warm and dry climates of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 32(2): 181-200. (In Persian).
- Siosemardeh A, Ahmadi A, Poustini K and Mohammadi V, 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98: 222-229.
- Yagoutipour A, Farshadfar E and Saeedi M, 2017. Assessment of durum wheat genotypes for drought tolerance by suitable compound method. *Environmental Stress in Crop Sciences*, 10(2): 247-256. (In Persian).
- Yousofi M and Rezaei AM, 2008. Assessment of drought tolerance in different breeding lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 42(11): 113-122. (In Persian).
- Zali H, Sofalian O, Hasanloo T, Asghari A and Hoseini SM, 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum-an International Journal*, 7(2): 703-711.
- Zali H, Sofalian O, Hasanloo T, Asghari A and Zeinalabedini M, 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. *Journal of Crop Breeding*, 78(20): 77-90. (In Persian).