دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تحمل به تنش یخزدگی در لاین‌های متنوع امیدبخش گندم دوروم با استفاده از شاخص‌های مقاومت به تنش

فاطمه محمدی آذر[۱]، امید سفالیان[۲]، علی اصغری[۳]، اصغر عبادی[۴] و رحمت‌اله کریمی‌زاده[۵]

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسوول:sofalian@gmail.com)
۳- استاد، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- استادیار، گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۵- استادیار، اصلاح نباتات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهکیلویه و بویر احمد، پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی گچساران و سایت ملی دیم
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱
صفحه: ۵۲ تا ۶۲

چکیده

به‌منظور ارزیابی لاین‌های گندم دوروم از نظر تحمل به تنش یخزدگی، ٤٥ لاین امیدبخش گندم دوروم حاصل از تلاقی‌های بین والدین مختلف با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش مورد ارزیابی قرار گرفتند. این آزمایش متشکل از آزمون گلخانه‌ای و آزمایشگاهی در دانشکده اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۸-۹۷ به اجرا درآمد. در این آزمایش لاین‌های گندم در مرحله گیاهچه مورد بررسی قرار گرفتند. لاین‌های گندم دوروم در قالب طرح فاکتوریل بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کاشته شدند. گیاهان تا مرحله ۳ تا ٥ برگی در شرایط گلخانه نگهداری شدند. سپس به‌منظور ایجاد خوسرمایی، گلدان‌ها به اتاقک سرما با دمای ٤ درجه برده شدند تا برای اعمال تنش آماده شوند. براساس عملکرد بیولوژیک، شاخص‌های تحمل (TOL)، حساسیت به تنش (SI)، میانگین تولید (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص میانگین هارمونیک تولید (HARM)، شاخص کاهش عملکرد (Yr) و شاخص تحمل ریشه و اندام هوایی (TI) محاسبه شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که لاین‌های مورد بررسی از نظر صفات MP، GMP و HARM دارای اختلافات معنی‌داری بودند و شاخص‌های Yr و Ti در تنش معنی‌دار بودند. اثر متقابل لاین در تنش برای تمام شاخص‌ها غیرمعنی‌دار بود. با توجه به رابطه همبستگی عملکرد با شاخص‌ها، مناسب‌ترین شاخص‌ها MP، GMP، HARM و TOL شناخته شدند. مقایسه میانگین لاین‌ها و تنش به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. حداکثر ضریب همبستگی (۰/۹۹۹) مربوط به رابطه شاخص STI با SI، Yr با SI و Yr با STI بود. به‌طورکلی شاخص‌هایGMP، MP و HARM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به تنش لاین‌ها در تمام سطوح موردمطالعه و شاخص TOL مناسب برای سطوح تنش بالاتر بود. مطالعه لاین‌ها به‌وسیله شاخص‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، تجزیه تابع تشخیص و تجزیه عاملی نتایج مشابهی را نشان داد. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی با سه عامل اول لاین‌های ۲۵، ۲٦، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳٦ و ۳۹ را متحمل‌ترین لاین‌ها معرفی نموده و لاین‌های ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ حساس‌ترین آنها شناخته شدند. در تجزیه به عامل‌ها سه عامل اول ۹۷/۵۲ درصد از واریانس موجود را توجیه کردند و شاخص‌های STI، SI، Yr، Ti اندام هوایی، MP، GMP و HARM بیشترین مقدار را داشتند و موثرترین شاخص‌ها در پراکنش لاین‌ها بودند. با توجه به نمودار سه بعدی پراکنش لاین‌ها، بیشترین ضرایب عاملی بر اساس سه عامل اول مربوط به لاین‌های ٥، ۷، ۲۵، ۲٦، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳٦ و ۳۹ بود.**

واژه‌های کلیدی: تجزیه تابع تشخیص، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه عاملی، شاخص‌های تحمل، گندم دوروم، یخزدگی

مقدمه

رشد سریع جمعیت از یک طرف و کاهش یا ثابت ماندن منابع از طرف دیگر، بررسی راه‌های استفاده بهینه از پتانسیل‌های تولید مواد غذایی را جهت بهره‌وری بیشتر ضروری می‌سازد. طبق اعلام رسمی سازمان ملل در حال حاضر ۱/۰۲ بیلیون از جمعیت جهان با کمبود مواد غذایی مواجه هستند (۸).

تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش یخزدگی بر روی ویژگی‌های مورفولوژی، آناتومی و فیزیولوژی گیاهان تاثیر می‌گذارند. تولید محصولات زراعی در دنیا غالبا تحت تأثیر تنش‌های محیطی بوده و با محدودیت مواجه است (۳). بر اساس گزارش دودال (۶)، فقط ۱۰ درصد از زمین‌های قابل کشت و کار در دنیا فاقد هرگونه تنشی است. درصورتی‌که حدود ۱۵ درصد از زمین‌ها دارای تنش سرمازدگی و یخزدگی هستند. دما یکی از عوامل مهم محیطی است که گسترش و پراکنش موجودات زنده را تعیین می‌کند. خطرات دمایی معمولا مربوط به نوسانات آن است که بیشترین خسارات را بر گیاهان زراعی وارد می‌سازد (۲۱). در تولید محصولات زراعی، دمای پائین به‌عنوان یک محدودیت محسوب می‌گردد (۱).

گندم نان و گندم دوروم از مهم‌ترین محصولات زراعی جهان بوده و غذای اصلی مردم را تشکیل می‌دهند (۱۵). توسعه صنعت ماکارونی سازی به همراه افزایش تقاضا برای آن و همچنین مساعد بودن شرایط آب و هوایی در بسیاری از نقاط کشور، پژوهش‌های بیشتری را، بویژه در زمینه به‌نژادی گندم دوروم و گزینش ارقام متحمل به تنش‌های محیطی طلب می‌نماید (۷).

گیاهان تفاوت بسیار زیادی از نظرتحمل به دمای پایین نشان می‌دهند و می‌توانند در محدوده‌ی وسیعی از مناطق

جغرافیایی در جهان کشت شوند. قابلیت متفاوت گیاهان در تحمل به یخزدگی به میزان زیادی توسط عوامل ژنتیکی مشخص می‌شود. حتی بین قسمت‌های مختلف یک گیاه نیز از نظر تحمل به یخزدگی اختلاف وجود دارد. عوامل دیگری مانند سن، تغذیه و تنش‌های زیستی و غیر زیستی نیز می‌توانند بر تحمل به یخزدگی گیاه تاثیر داشته باشند. تنش یخزدگی از عوامل محدود کننده تولید گندم و جو در مناطق سرد کشور است. انتخاب ارقام متحمل در این خصوص گامی ارزشمند در راستای افزایش محصولات کشاورزی خواهد بود. ارقام متحمل به یخزدگی باید توانایی تولید محصول مطلوبی را هم داشته باشند (۲۲).

اصلاح برای تحمل به سرما در بهبود کمی و کیفی تولید گندم در کشور ما و اکثر کشورهای آسیایی قابل توجه بوده است. کشت پاییزه در صورت وجود ارقام مقاوم به یخزدگی برای فرار از خشکی و گرمای بهار و تابستان بر کشت بهاره ترجیح داده می‌شود (۱۴). شناسایی لاین‌های متحمل به یخزدگی به کمک روش‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌تواند در دسترس‌ترین و مهم‌ترین مسیر اصلاحی باشد که منجر به فهم برخی مکانسیم‌های تحمل به یخزدگی در جهت به‌کارگیری راه‌بردهای مولکولی در خصوص معرفی این صفات در اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی می‌شود.

شاخص‌های تحمل نیز توسط محققان مختلف، معرفی و به‌کار گرفته شده‌اند. هریک از شاخص‌ها دارای مزایا و معایبی هستند. روزیلی و هامبلین (۱۹) برای انتخاب ارقام مقاوم به تنش شاخص تولید متوسط (MP)[1] را پیشنهاد کردند. آن‌ها اظهار داشتند که انتخاب معیار گزینش، به هدف اصلاح‌گر بستگی دارد. اگر افزایش عملکرد در شرایط تنش مد نظر باشد، شاخص TOL[2] می‌تواند مفید باشد، اما اگر افزایش عملکرد در هر دو محیط عادی و تنش مورد نظر اصلاح‌گر باشد، بهتر است گزینش بر اساس MP انجام شود. شاخص تحمل به تنش (STI)[3] توسط فرناندز (۹) برای شناسایی لاین‌هایی که در هر دو شرایط عادی و تنش عملکرد مطلوبی تولید می‌کنند، پیشنهاد شد. محققین در بررسی شاخص‌ها به این نتیجه رسیدند که کارآمدی شاخص‌های انتخاب، به شدت تنش محیط هدف بستگی دارد (۱۸). شاخص‌های MP و STI برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (۲۵). به منظور گزینش برتر، رقم ایده‌آل رقمی است که در شرایط مختلف تنش دارای عملکرد بالا و پایدار باشد، به عبارت دیگر با محیط سازگاری بالایی داشته باشد.

همتی و پاک‌نیت (۱۰) به‌منظور شناسایی و انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی، تعداد ۲۵ لاین گندم نان را در دو شرایط دیم و آبیاری مطلوب مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به همبستگی معنی‌دار شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP)[4]، شاخص تحمل به تنش (STI) و شاخص تحمل (TOL) با عملکرد دانه در هر شرایط، این شاخص‌ها برای تعیین ارقام متحمل به تنش مناسب تشخیص داده شدند.

فرناندز (۹)، لاین‌ها را بر اساس عملکرد در شرایط محیطی تنش‌دار و بدون تنش به چهار گروه تقسیم‌بندی می‌کند: گروه A، لاین‌هایی که در هر دو محیط، برتر هستند و عملکرد دانه بیشتری دارند، گروه B، لاین‌هایی که فقط در محیط بدون تنش برتر هستند و در محیط تنش عملکرد پایین دارند، گروه C، لاین‌های دارای عملکرد تا حدودی بالا فقط در محیط تنش، به‌طوری که تحت محیط بدون تنش در گروه ارقام دارای عملکرد پایین قرار می‌گیرند و گروه D شامل لاین‌هایی با عملکرد پایین در هر دو محیط بدون تنش و تنش هستند.

محققین زیادی از روش‌های آماری چندمتغیره برای کاهش متغیرهای همبسته به تعداد کمتری عامل اصلی استفاده کرده‌اند. مقدار کفایت نمونه‌گیری (KMO) و نیز معنی‌دار بودن آزمون کروی بودن بارتلت بیانگر کافی بودن مقادیر همبستگی متغیرهای اولیه برای انجام تجزیه به عامل‌ها بود. تجزیه عاملی اطلاعات بیشتری در مقایسه با یک ماتریس ساده در اختیار قرار می‌دهد. زیرا، در این روش گروه‌هایی از متغیرها (عامل‌ها) و نیز درصد سهم هر عامل نشان داده می‌شود (۲۳). همچنین، در این روش، گروه‌هایی از متغیرها که بیشترین همبستگی درون‌گروهی را دارند و با دیگر گروه‌ها کمترین همبستگی را نشان می‌دهند، شناخته می‌شوند.

هراقدامی برای اصلاح ژنتیکی تحمل با استفاده از تنوع ژنتیکی موجود، نیاز به یک روش ارزیابی کارآمد دارد که باید سریع بوده و قادر به انتخاب یک جمعیت بزرگ باشد. تحمل یخزدگی نتیجه صفات مختلف مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است. بنابراین، می‌توان از این اجزای مختلف به‌عنوان شاخص‌های گزینش برای انتخاب تیپ ایده‌آل گیاهی استفاده کرد.

هدف این پژوهش شناسایی لاین‌های متحمل به یخزدگی در گندم دوروم براساس شاخص‌های تحمل، شناسایی بهترین شاخص در تنش یخزدگی و تعیین رابطه بین شاخص‌ها در گندم دوروم با تحمل به یخزدگی با استفاده از روش‌های بررسی همبستگی بین شاخص‌ها، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه تابع تشخیص و تجزیه به عامل‌ها است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۴۵ لاین امیدبخش گندم دوروم از نظر تنوع صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در تحمل به تنش یخزدگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. این آزمایش متشکل از آزمون گلخانه‌ای و آزمایشگاهی در دانشکده اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۸-۹۷ به اجرا درآمد. در این آزمایش لاین‌های گندم در مرحله گیاهچه مورد بررسی قرار گرفتند. لاین‌های گندم دوروم به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کاشته شدند. گیاهان در گلدان کاشته شده و در تنظیمات گلخانه شامل رطوبت نسبی ۴۰ درصد، دمای دوره روشنایی ۳±۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای دوره تاریکی ۳±۱۶ درجه سانتی‌گراد و طول روز و شب به ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت قرار گرفتند. گیاهان تا مرحله ۳ تا ۵ برگی در این شرایط نگهداری شدند. سپس، به‌منظور ایجاد خوسرمایی، گلدان‌ها به اتاقک

1- Mean Productivity 2- Tolerance 3- Stress Tolerance Index 4- Geometric Mean Productivity

سرما برده شدند. دمای اتاقک قابل برنامه‌ریزی روی ۴ درجه‌سانتی‌گراد تنظیم شد. در این شرایط دوره نوری ۱۱ ساعت روشنایی و ۱۳ ساعت تاریکی در نظر گرفته شد. روشنایی از طریق ۱ لامپ فلورسنت ۴۰۰ وات فراهم گردید. مدت خوسرمایی ۳ هفته بود و گیاهان در مواقع نیاز آبیاری شدند. تیمارهای سرمایی در نهایت شامل چهار تیمار درجه حرارت (شاهد، ۸-، ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد) بود. که در هر سطح تنش سه تکرار برای هر لاین در نظر گرفته شد.

دمای اتاقک سرما با سرعت ۲ درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. این وضعیت شرایط را برای توزیع مجدد آب به بافت‌های گیاهی و جلوگیری از تشکیل یخزدگی در داخل سلول‌ها که در طبیعت به‌ندرت اتفاق می‌افتد، فراهم می‌کند (۱۶). به علت اینکه دما در گیاه به صورت ناگهانی افت نمی‌کند، گیاه دچار یخزدگی درون بافت‌های خود نمی‌شود. در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد به‌منظور جلوگیری از پدیده فرا سرما و ایجاد هستک یخ در گیاهچه و اطمینان از این‌که سازو کار از نوع تحمل است نه اجتناب، دما به‌مدت ۱۲ ساعت ثابت نگه داشته شد و پس از آن دما با سرعت ۲ درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت (۵). به‌منظور ایجاد تعادل در دمای محیط گیاهان مورد نظر بعد از اعمال کاهش دما با هر دو درجه کاهش دما، گیاهان به‌مدت یک ساعت در آن دما ثابت نگه داشته شدند (۲). به‌منظور کاهش سرعت ذوب، بعد از اعمال نهایی تنش، دمای اتاقک در ۴ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد و گیاهان به مدت ۲۴ ساعت در این دما نگهداری شدند (۵). سپس گلدان‌ها به گلخانه منتقل و پس از ۲۱ روز بازیابی، صفات مورد نظر گیاهان ارزیابی شدند.

عملکرد بیولوژیک از مجموع وزن خشک ریشه و اندام هوایی به دست آمد (۱۶). شاخص‌های مورد ارزیابی شامل شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SI)[1]، شاخص تولید متوسط یا میانگین حسابی تولید (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص میانگین هارمونیک تولید (HARM)[2]، شاخص کاهش عملکرد (Yr)[3]، شاخص مقاومت ریشه (TIریشه)[4] و شاخص مقاومت اندام‌های هوایی (TI اندام هوایی)[5] است که از طریق فرمول‌های زیر برآورد گردیدند:

$$TOL = Y_p - Y_s \qquad SI = 1 - \overline{Y}_s / \overline{Y}_p$$

$$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2} \qquad STI = \frac{(Y_s)(Y_p)}{(\overline{Y}_p)^2}$$

$$GMP = \sqrt{(Y_s)(Y_p)} \qquad HARM = \frac{2(Y_s)(Y_p)}{Y_s + Y_p}$$

$$Y_r = 1 - \frac{Y_s}{Y_p}$$

$$TI = Y_1 / Y_2 \quad \text{(ریشه و اندام هوایی)}$$

که با توجه به فرمول‌ها:

YP: عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش

YS: عملکرد در شرایط تنش

Y1: وزن خشک ریشه/اندام هوایی در شرایط تنش

Y2: وزن خشک ریشه/اندام هویی در شرایط بدون تنش

شاخص تحمل (TI) وزن خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط شاهد و تنش به‌صورت جداگانه با توجه به فرمول ذکر شده، بدست آمد (۱۳).

برای صفات فوق‌الذکر تجزیه واریانس و مقایسه میانگین انجام گرفت. با توجه به غیرمعنی‌دار بودن اثر متقابل تنش در لاین، اثر میانگین شاخص‌ها در تنش و لاین به صورت جداگانه در دو جدول صورت گرفت (جدول ۲ و ۳). ضرایب همبستگی با استفاده از ضریب پیرسون محاسبه گردید. تجزیه به عامل‌ها در سطوح مختلف تنش به‌طور جداگانه انجام شد. اختصاص صفات به عوامل مختلف براساس مقادیر ضرایب عاملی بعد از انجام چرخش عامل‌ها به روش واریماکس صورت گرفت.

گروه‌بندی لاین‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای بر اساس میانگین استاندارد شده صفات به روش Ward انجام شد. هدف گروه‌بندی تفکیک لاین‌های متحمل بر اساس شاخص‌های تحمل بود. برای اطمینان از گروهبندی صحیح از تجزیه واریانس چند متغیره بر پایه تجزیه واریانس یک‌طرفه نامتعادل استفاده شد. در گروه‌بندی، لاین‌ها در سه گروه مختلف قرار گرفتند. به‌منظور تعیین ویژگی‌های هر گروه، انحراف از میانگین کل و میانگین گروه‌ها محاسبه گردید. از نرم‌افزار MSTATC برای تجزیه و تحلیل واریانس استفاده شد، تجزیه‌های عاملی و خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS و در نهایت نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس شاخص‌ها نشان داد که بین سطوح تنش در شاخص‌های کاهش عملکرد (Yr) و شاخص تحمل ریشه (TI) اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. بین ارقام گندم نیز در شاخص‌های میانگین تولید (MP)، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص میانگین هارمونیک (HARM) اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اثر متقابل تنش و رقم در تمام شاخص‌های مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بود. در بین شاخص‌ها کمترین ضریب تغییرات مربوط به شاخص تحمل ریشه (TI) (۱/۲۱) و بیشترین ضریب تغییرات مربوط به شاخص نسبت افت عملکرد (۲۴/۳۴) بود (جدول ۱).

شاخص STI در شرایط شاهد (بدون تنش) بیشترین مقدار را دارا بود (جدول ۲). مقادیر زیاد STI نشانه تحمل زیاد به تنش و عملکرد بالقوه زیاد است. طبق نظر پژوهشگران (۱۲،۹و۲۰) بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش (STI) می‌باشد، زیرا قادر است ارقام گروه A را از دو گروه B و یا گروه C تفکیک نماید.

میانگین شاخص‌های TOL، MP، GMP و HARM در شرایط تنش افزایش یافتند به‌صورتی که میانگین آن‌ها در تنش شدیدتر (تنش سرمایی ۱۲-) از میانگین کل بیشتر بود (جدول ۲).

1- Stress Tolerance Index
2- Harmonic Mean
3- Yield Reduction
4- Root Tolerance Index
5- Leaf Tolerance Index

استفاده از شاخص تولید متوسط (MP) که مقادیر بالای عددی آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، اغلب منجر به گزینش ارقامی می‌شود که در شرایط عادی عملکرد بالایی دارند ولی در شرایط تنش تحمل کمتری دارند. سی و سه مرده و همکاران (۲۵) گزارش کردند که شاخص MP زمانی برای انتخاب لاین‌ها تحت شرایط تنش بازده دارد که شدت تنش زیاد نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز خیلی زیاد نباشد. شاخص MP سبب فراهم آمدن تحمل به تنش پتانسیل و عملکرد بالاتر می‌شود (۱۹). شاخص میانگین هارمونیک (HARM) تحمل به تنش زیاد و پتانسیل عملکرد بالا را سبب می‌گردد (۹).

شاخص‌های تحمل مناسب برای انتخاب لاین‌های مناسب، بایستی طوری انتخاب شوند که بتوانند اختلاف لاین‌های گروه A را از سه گروه دیگر تشخیص دهند. بنا به نظر فرناندز (۹) شاخص‌های MP، TOL، Yr و SSI در جداسازی لاین‌های گروه A از سایر گروه‌ها چندان موفق نیستند. در اکثر آزمایش‌های عملکرد، همبستگی بین TOL با Ys و Yp مثبت می‌باشد. بنابراین شاخص TOL، قادر به تشخیص اختلاف بین گروه A و گروه C نمی‌باشد. معیارهای SSI و Yr لاین‌هایی را برمی‌گزینند که دارای پتانسیل پایین عملکرد در شرایط عادی و پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط تنش باشند (۹).

با توجه به مقایسه میانگین شاخص‌ها در ارقام گندم دوروم، شاخص TOL دارای بیشترین مقدار در لاین ۲۷ و کمترین مقدار در لاین ۹ بود. لاین‌های ۱۵ و ۲۲ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدارST بودند. لاین ۲۷ و ۹ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار MP را دارا بودند. لاین‌های ۱۵ و ۲۲ به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین شاخص STI را دارا بودند. بیشترین و کمترین میانگین شاخص GMP و HARM به ترتیب مربوط به لاین‌های ۲۷ و ۲۰ بود. بیشترین مقدار میانگین شاخص Yr مربوط به لاین ۱۵، کمترین مقدار آن مربوط به لاین ۲۲، بیشترین مقدار TI ریشه مربوط به لاین ۴ و کمترین مقدار آن مربوط به لاین ۱۵ بود. بیشترین و کمترین مقدار TI اندام هوایی در لاین‌های ۴۲ و ۱۹ به ترتیب مشاهده شد (جدول ۳).

همبستگی بین شاخص‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. شاخص TOL با شاخص STI رابطه منفی و معنی‌داری نشان داد و به‌جز شاخص‌های TI با بقیه شاخص‌ها رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. شاخص SI به‌جز شاخص‌های TIریشه و MP با بقیه شاخص‌ها رابطه معنی‌دار نشان داد. شاخص MP با چهار شاخص دیگر، شاخص STI با پنج شاخص دیگر، شاخص GMP با هفت شاخص دیگر، شاخص HARM با هفت شاخص دیگر، شاخص Yr با شش شاخص دیگر و شاخص TI اندام هوایی با هفت شاخص دیگر رابطه معنی‌دار داشتند. شاخص TI ریشه با هیچ شاخص دیگری همبستگی معنی‌دار نشان نداد. حداکثر ضریب همبستگی مربوط به رابطه منفی شاخص STI با SI، رابطه مثبت Yr با SI و رابطه منفی Yr با STI (r=۰/۹۹۹) بود. کمترین همبستگی بین شاخص STI و TIریشه مشاهده شد (جدول ۲). بلوری و همکاران (۴) در گیاه آفتابگردان بین شاخص‌های STI و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری را گزارش کردند. نتایج مشابه در تحقیقات زینالی خانقاه و همکاران (۲۷) بر روی ارقام سویا قابل مشاهد است که شاخص GMP و STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل معرفی شدند. بیشترین همبستگی مربوط به شاخص‌های MP، GMP و HARM بود (جدول۴). همچنین، این سه شاخص همبستگی بالایی با عملکرد بیولوژیک در سه سطح تنش نشان دادند (جدول۵). در شرایط تنش ۱۰- و ۱۲- درجه سانتی‌گراد، علاوه بر شاخص‌های MP، GMP و HARM، شاخص TOL نیز همبستگی بالایی با عملکرد بیولوژیک نشان داد (جدول۳). با توجه به تحقیقات شیبانی راد و همکاران (۲۴) بر روی گیاه گندم، شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM برای شناسایی لاین‌های پرمحصول در هر دو محیط با تنش و بدون تنش مناسب بوده و شاخص‌های STI و MP به‌عنوان مناسب‌ترین معیارها برای انتخاب ارقام متحمل به تنش شناخته شدند. نتایج همبستگی شاخص‌ها با آزمایشات نقوی و همکاران (۱۷) نیز بسیار مطابقت داشت. تاکنون برای شناسایی ارقام متحمل به تنش شاخص‌های متعددی براساس روابط ریاضی بین شرایط تنش و غیرتنش ارائه شده‌است (۱۱)، ولی به‌طور کلی شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند (۱۷). همچنین، با توجه به نتایج نقوی و همکاران (۱۷)، شاخص‌های STI، GMP و MP همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط شاهد و تنش داشتند و لذا برای غربال مطلوب‌تر ارقام متحمل گندم، معرفی شدند.

در تجزیه خوشه‌ای، لاین‌ها در سه خوشه مختلف گروه‌بندی شدند و به‌منظور تعیین ویژگی‌های هر گروه از نظر کلیه صفات مورد مطالعه، انحراف از میانگین کل محاسبه گردید. لاین‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۴ در گروه اول قرار گرفتند که این گروه بیشترین انحراف از میانگین را در شاخص‌های TIاندام هوایی نسبت به دو خوشه دیگر داشت. لاین‌های ۴، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در گروه دوم قرار گرفتند که این گروه نسبت به دو خوشه دیگر در شاخص‌های TI ریشه، STI و SI بیشترین انحراف از میانگین را نشان داد. مابقی لاین‌ها در گروه سوم قرار گرفتند که از نظر شاخص‌های MP، GMP و HARM دارای بیشترین انحراف از میانگین بودند (شکل ۱).

گروه اول بیشترین مقدار شاخص TIریشه و کمترین میانگین GMP را دارا بود. بیشترین میانگین در گروه دوم مربوط به شاخص TIریشه و کمترین میانگین مربوط به شاخص TOL بود. بیشترین و کمترین میانگین در گروه سوم نیز مربوط به شاخص‌های TIریشه و TOL به‌ترتیب بود. از نظر میانگین کل شاخص‌های TIریشه و TOL به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را دارا بودند. بیشترین و کمترین میانگین گروه نیز به ترتیب مربوط به گروه‌های سوم و اول بود. از نظر شاخص‌های STI و MP خوشه اول بیشترین مقدار را داشت (جدول ۶).

از تجزیه تابع تشخیص به‌منظور تایید الگوی گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای استفاده شد. نمودار دو بعدی حاصل از دو تابع تشخیص در اکثر لاین‌ها با نمودار حاصل از تجزیه خوشه‌ای تطابق داشت (شکل ۲).

در تجزیه به عامل‌ها بر مبنای مقادیر ویژه‌ی بزرگتر از ۱، سه عامل برای تفسیر داده‌ها انتخاب شد. این عوامل ۹۷/۵۲ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. عامل اول با بیشترین سهم (۴۴/۲۲ درصد) دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای شاخص‌های STI و Tiاندام هوایی، و ضرایب عاملی بزرگ و منفی برای SI و Yr بود. عامل دوم دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای شاخص MP، GMP و HARM بود و عامل سوم ضریب بزرگ و مثبت برای Tiریشه داشت (جدول۷).

با توجه به نمودار سه بعدی پراکنش لاین‌ها، بیشترین ضرایب عاملی بر اساس شاخص‌ها مربوط به لاین‌های ۵، ۷، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۶ و ۳۹ بود که در منطقه **A** قرار گرفتند (شکل ۳). این لاین‌ها در گروه‌بندی کلاستر نیز دارای شاخص‌های بالایی از نظر تحمل به تنش بودند.

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص‌های GMP، MP و HARM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به تنش ارقام در تمام سطوح مورد مطالعه و شاخص TOL مناسب برای سطوح تنش بالاتر بود. مطالعه لاین‌ها به‌وسیله شاخص‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی نتایج مشابهی را نشان داد. شاخص‌های STI، SI، Yr، Ti اندام هوایی، MP، GMP و HARM به‌ترتیب در تجزیه عاملی بیشترین نقش را داشتند. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی با سه عامل اول لاین‌های ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۶ و ۳۹ را متحمل‌ترین لاین‌ها معرفی کردند. همچنین، لاین‌های ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ حساس‌ترین آنها بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های مقاومت به تنش

Table 1. Analysis of variance of stress resistance indices

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	TOL	SI	MP	STI	GMP	HARM	Yr	Tiریشه	Ti اندام هوایی
تکرار	۲	۱۷/۳۸۲*	۶/۷۹۹ ^{ns}	۹/۳۹**	۰/۶۲۱ ^{ns}	۲۲/۳۹۷	۹/۹۷۲**	۶/۷۹۹ ^{ns}	۱۵/۴۷**	۰/۶۲۵ ^{ns}
تنش	۳	۸/۷۲۱ ^{ns}	۸/۸۷۲ ^{ns}	۰/۱۸۷ ^{ns}	۱/۱۷۴ ^{ns}	۱/۲۶۶ ^{ns}	۰/۵ ^{ns}	۸/۸۷۲*	۷/۴۹۷*	۱/۵۶۳ ^{ns}
لاین	۴۴	۱/۵۴۵ ^{ns}	۰/۸۳۶ ^{ns}	۱/۰۶۵**	۰/۲۵۶ ^{ns}	۲/۶۱۳**	۱/۱۶۴*	۰/۸۳۶ ^{ns}	۰/۷۲۴ ^{ns}	۰/۷۵۴ ^{ns}
تنش*لاین	۸۸	۰/۳۸۴ ^{ns}	۰/۳۸۳ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۷۶ ^{ns}	۰/۰۷۷ ^{ns}	۰/۰۳۶ ^{ns}	۰/۳۸۳ ^{ns}	۰/۲۱۲ ^{ns}	۰/۱۴۱ ^{ns}
خطا	۲۶۸	۰/۹۸۳	۰/۸۴۹	۰/۰۷۲	۰/۱۴۱	۰/۲۲۱	۰/۰۹۵	۰/۸۴۹	۰/۳۶۴	۰/۲۳۳
ضریبتغییرات		۱۳/۴۲	۱۰/۴۹	۳/۲	۳/۹۷	۶/۳۹	۳/۷۲	۲۴/۳۴	۱/۲۱	۱۱/۲۹

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های مقاومت در سه سطح تنش

Table 2. Comparison of average resistance indices in three stress levels

	TOL	SI	MP	STI	GMP	HARM	Yr	Tiریشه	Ti اندام هوایی
۱	۰/۱۰۳۴	۰/۳۲۵	۰/۲۲۴	۰/۶۷۵	۰/۰۹۳۸	۰/۲۰۵۱	۰/۳۲۵	۱/۱۳۲	۰/۵۵۶۸
۲	۰/۱۰۲۱	۰/۳۹۵۸	۰/۲۲۲۷	۰/۶۰۴۲	۰/۰۹۹۵	۰/۲۰۴۵	۰/۳۹۵	۰/۸۳۹	۰/۵۹۰۸
۳	۰/۱۱۴۴	۰/۴۳۸۷	۰/۲۱۶۵	۰/۵۶۱۳	۰/۰۹۱۸	۰/۱۹۶۵	۰/۴۳۸۷	۰/۷۶۶۸	۰/۴۹۳۲
LSD	۰/۰۶۱۹	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۷۸	۰/۰۱۳۴۴	۰/۰۰۹۶۳	۰/۰۰۲۸۷	۰/۰۰۲۸۷	۰/۰۴۶	۰/۰۱۳۲

چنانچه اختلاف میانگین بین دو گروه (تیمار) بیش از مقدار ثابت LSD باشد ، به معنی اختلاف معنی‌دار بین دو گروه است.

جدول۳- مقایسه میانگین شاخص‌های مقاومت در لاین‌های گندم دوروم

Table 3. Comparison of mean resistance indices in durum wheat lines

لاین	TOL	SI	MP	STI	GMP	HARM	Yr	Tiریشه	Tiاندام هوایی
۱	۰/۰۴۶۲	۰/۲۰۱۹	۰/۱۳۲۹	۰/۶۹۸۱	۰/۰۴۴۷	۰/۱۲۷۵	۰/۲۰۱۹	۰/۸۸۹۱	۰/۶۷۷۶
۲	۰/۰۴۶۱	۰/۲۹۸۸	۰/۱۲۲۲	۰/۱۰۱۲	۰/۰۳۸	۰/۱۱۶۳	۰/۲۹۸۸	۱/۰۱۷۷	۰/۶۱۲۵
۳	۰/۰۴۸۲	۰/۳۰۱۶	۰/۱۲۳۲	۰/۶۹۸۳	۰/۰۳۸۴	۰/۱۱۷۵	۰/۳۰۱۶	۰/۹۵۳	۰/۵۹۶۲
۴	۰/۰۷۴۱	۰/۳۹۳۲	۰/۱۴۶۹	۰/۶۰۶۸	۰/۰۴۷	۰/۱۳۳۵	۰/۳۹۳۲	۲/۱۳۲	۰/۴۲۰۴
۵	۰/۰۷۱۸	۰/۳۴۲۹	۰/۱۷۵۱	۰/۶۵۷۱	۰/۰۶۴۲	۰/۱۶۷۱	۰/۳۴۲۹	۱/۳۹۴	۰/۴۶۶۳
۶	۰/۰۵۰۹	۰/۲۸۸۲	۰/۱۶۰۹	۰/۷۱۱۸	۰/۰۶۰۶	۰/۱۵۳۷	۰/۲۸۸۲	۱/۲۹۱۶	۰/۵۲۰۴
۷	۰/۰۴۹۷	۰/۲۸۸۶	۰/۱۵۶۵	۰/۷۱۱۴	۰/۰۵۷۸	۰/۱۵۰۴	۰/۲۸۸۶	۱/۰۸۳	۰/۵۴۵۷
۸	۰/۰۷۳۲	۰/۴۰۶۷	۰/۱۴	۰/۵۹۳۳	۰/۰۴۴۲	۰/۱۲۸۵	۰/۴۰۶۷	۰/۶۵۳۱	۰/۵۹۶۹
۹	۰/۰۴۰۶	۰/۲۸۰۲	۰/۱۱۸۷	۰/۷۱۹۸	۰/۰۳۶۹	۰/۱۱۳۸	۰/۲۸۰۲	۰/۷۳۰۹	۰/۸۳۶۱
۱۰	۰/۰۶۳۳	۰/۳۵۹۸	۰/۱۳۴	۰/۶۴	۰/۰۴۲۳	۰/۱۲۴۶	۰/۳۵۹۸	۰/۸۵۹۴	۰/۵۱۵۱
۱۱	۰/۰۹۷۱	۰/۴۵۴۵	۰/۱۶۳۱	۰/۵۴۵۵	۰/۰۵۲۷	۰/۱۴۷۳	۰/۴۵۴۵	۰/۷۱۹۳	۰/۵۰۶۴
۱۲	۰/۱۲۶۱	۰/۵۷۸۴	۰/۱۴۲۹	۰/۲۱۱۶	۰/۰۳۶۸	۰/۱۱۱۷	۰/۵۷۸۴	۰/۵۱۵۵	۰/۳۷۱۲
۱۳	۰/۱۰۹۴	۰/۵۰۸۴	۰/۱۴۲۶	۰/۴۹۱۵	۰/۰۳۹۴	۰/۱۱۹۳	۰/۵۰۸۴	۰/۸۰۴۱	۰/۳۷۱۹
۱۴	۰/۰۷۴۴	۰/۳۶۷۱	۰/۱۲۵۴	۰/۶۳۲۹	۰/۰۳۶	۰/۱۰۹۲	۰/۳۶۷۱	۰/۸۵۵	۰/۶۱۵
۱۵	۰/۱۵۴۹	۰/۶۳۳	۰/۱۶۶۶	۰/۳۶۷	۰/۰۴۴	۰/۱۲۸	۰/۶۳۳	۰/۳۹۰۸	۰/۳۷۷۹
۱۶	۰/۰۹۲	۰/۴۴۸۹	۰/۱۵۶۳	۰/۵۵۱۱	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۴۴۸۹	۱/۶۴۴	۰/۳۲۹۶
۱۷	۰/۰۹۸۵	۰/۴۵۹۴	۰/۱۶۲۸	۰/۵۴۰۶	۰/۰۵۲۳	۰/۱۴۵۱	۰/۴۵۹۴	۰/۹۶۷۶	۰/۳۶۵۷
۱۸	۰/۱۰۱۵	۰/۴۷۲۹	۰/۱۴۷۶	۰/۵۲۷۱	۰/۰۴۲	۰/۱۲۳	۰/۴۷۲۹	۰/۸۶۳۴	۰/۳۰۸۴
۱۹	۰/۱۱۸۴	۰/۵۷۰۱	۰/۱۴۵۸	۰/۴۲۹۸	۰/۰۳۹	۰/۱۱۶۹	۰/۵۷۰۱	۰/۸۰۶۹	۰/۲۶۶۸
۲۰	۰/۰۹۵۴	۰/۵۲۵۱	۰/۱۳۲	۰/۴۷۴۹	۰/۰۳۵۶	۰/۱۰۸۱	۰/۵۲۵۱	۱/۱۱۰۳	۰/۲۶۸۳
۲۱	۰/۱۲۳۹	۰/۳۴۰۵	۰/۳۱۲۳	۰/۶۵۹۵	۰/۱۶۱۹	۰/۲۹۱۵	۰/۳۴۰۵	۱/۰۵۷	۰/۶۳۵۹
۲۲	۰/۰۸۸۶	۰/۲۵۲۱	۰/۳۲۴۷	۰/۷۴۷۹	۰/۱۸۱۴	۰/۳۱۲۵	۰/۲۵۲۱	۰/۶۸۹۶	۰/۸۰۲۸
۲۳	۰/۱۵۱۷	۰/۳۶۵۹	۰/۳۳۹۵	۰/۶۳۴۱	۰/۱۷۶	۰/۳۱۱۵	۰/۳۶۶	۰/۶۷۵۵	۰/۶۳
۲۴	۰/۱۵۰۱	۰/۳۵۵۵	۰/۳۴۵۳	۰/۶۴۴۵	۰/۱۸۲	۰/۳۳۴۳	۰/۳۵۵۵	۰/۷۸۳۷	۰/۶۱۸۶
۲۵	۰/۱۷۳۸	۰/۴۱۵۶	۰/۳۰۹۸	۰/۵۸۴۴	۰/۱۴۵۵	۰/۲۸۱۳	۰/۴۱۵۶	۰/۹۸۷۱	۰/۵۴۵۲
۲۶	۰/۱۱۶۲	۰/۳۱۲۵	۰/۳۱۳۹	۰/۶۸۷۵	۰/۱۶۳۹	۰/۲۹۷۶	۰/۳۱۲۵	۱/۰۴۶	۰/۶۱۴۷
۲۷	۰/۱۷۴۹	۰/۳۴۳	۰/۳۸۸۶	۰/۶۵۷	۰/۲۱۵۵	۰/۳۶۱۹	۰/۳۴۳	۰/۹۹۲۶	۰/۵۵۹۹
۲۸	۰/۱۵۷۳	۰/۳۶۰۹	۰/۳۳۸۳	۰/۹۳۹۱	۰/۱۷۴۵	۰/۳۱۱۲	۰/۳۶۰۹	۱/۰۶۴۵	۰/۵۶۶۱
۲۹	۰/۱۴۶۴	۰/۳۶۹۹	۰/۲۹۷۱	۰/۶۳۰۱	۰/۱۳۹۱	۰/۲۷۲۴	۰/۲۶۹۹	۰/۷۸۹۷	۰/۵۸۸۷
۳۰	۰/۱۴۲۳	۰/۳۸۰۶	۰/۳۱۵۷	۰/۶۱۹۴	۰/۱۶۲۷	۰/۲۹۲۲	۰/۳۸۰۶	۰/۸۸	۰/۶۰۰۵
۳۱	۰/۱۱۴۲	۰/۳۲۲	۰/۲۸۵۲	۰/۶۷۸	۰/۱۳۸۲	۰/۲۶۹	۰/۳۲۲	۰/۷۲۲۷	۰/۷۳۵۲
۳۲	۰/۱۲۳۹	۰/۴۰۷۵	۰/۲۴۷۴	۰/۵۹۲۵	۰/۱۰۷۹	۰/۲۳۴۳	۰/۴۰۷۵	۰/۷۲۶۵	۰/۵۸۱۶
۳۳	۰/۱۳۶۳	۰/۴۱۹۹	۰/۲۶۸۵	۰/۵۸۰۱	۰/۱۱۹۱	۰/۲۳۹۱	۰/۴۱۹۹	۰/۷۶۶	۰/۵۰۸۲
۳۴	۰/۱۰۶۱	۰/۳۸۲۵	۰/۲۱۲۲	۰/۶۰۷۵	۰/۰۸۲۶	۰/۱۹۶۱	۰/۳۹۲۵	۰/۸۲۱۵	۰/۵۹۵۹
۳۵	۰/۱۳۶۳	۰/۳۷۷۸	۰/۲۸۶۸	۰/۶۲۲۳	۰/۱۳۰۷	۰/۲۶۲۳	۰/۳۷۷۷	۰/۸۵۲۷	۰/۴۹۸۳
۳۶	۰/۰۹۸۸	۰/۳۱۳۵	۰/۲۴۲۹	۰/۶۹۶۶	۰/۱۱	۰/۲۲۷۶	۰/۳۱۳۳	۱/۱۷۵۴	۰/۶۱۸۳
۳۷	۰/۱۲۸۹	۰/۳۸۱۸	۰/۲۸۷۲	۰/۶۱۸۱	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۳۸۱۹	۰/۷۷۹۶	۰/۵۵۹۱
۳۸	۰/۱۷۴۲	۰/۴۸۵۵	۰/۳۰۸۹	۰/۵۱۴۵	۰/۱۵۷۷	۰/۲۶۸۶	۰/۴۸۵۵	۰/۶۶۷۹	۰/۵۲۵۳
۳۹	۰/۱۰۳۷	۰/۳۱۹۳	۰/۲۶۲۸	۰/۶۸۰۷	۰/۱۱۹۴	۰/۲۴۶۶	۰/۳۲۹۳	۱/۰۱۵۳	۰/۵۱۸۸
۴۰	۰/۱۴۴۶	۰/۴۳۱۸	۰/۲۶۹	۰/۵۶۸۲	۰/۱۱۷۸	۰/۲۳۸۶	۰/۴۳۱۸	۰/۶۷۴۵	۰/۴۸۱۴
۴۱	۰/۰۹۰۱	۰/۳۲۱۹	۰/۲۳۰۳	۰/۶۷۸۱	۰/۰۹۸۶	۰/۲۱۴۴	۰/۳۲۱۹	۰/۷۸۴۴	۰/۶۳۷۵
۴۲	۰/۰۸۱۱	۰/۳۲۹	۰/۲۱۲۴	۰/۶۷۱۱	۰/۰۸۸۶	۰/۲۰۲۳	۰/۳۲۸۹	۰/۵۹۵۸	۰/۹۳۵۳
۴۳	۰/۰۹۶	۰/۳۵۳۲	۰/۲۳	۰/۶۴۶۸	۰/۰۹۷	۰/۲۱۶۷	۰/۳۵۳۲	۰/۸۰۹۱	۰/۵۵۲۲
۴۴	۰/۰۸۶۳	۰/۳۴۴	۰/۱۹۵۲	۰/۶۵۱۷	۰/۰۷۳۸	۰/۱۸۱۳	۰/۳۴۸۳	۰/۸۰۸۵	۰/۵۶۱۵
۴۵	۰/۱۲۰۳	۰/۴۱۲۲	۰/۲۲۷۸	۰/۵۸۷۸	۰/۰۸۹۶	۰/۲۰۵۱	۰/۴۱۲۲	۰/۶۹۸۷	۰/۵۴۸۳
LSD	۰/۰۱۷۲	۰/۰۷۴۸	۰/۰۱۵۸	۰/۰۸۴۸	۰/۰۱۱۵	۰/۰۲۰۳	۰/۰۳۸۷	۰/۰۹۱۲۶	۰/۰۵۴۸

چنانچه اختلاف میانگین بین دو گروه (تیمار) بیش از مقدار ثابت LSD باشد ، به معنی اختلاف معنی‌دار بین دو گروه است.

جدول ۴- همبستگی شاخص‌های مقاومت در لاین‌های امید بخش گندم دوروم

Table 4. Correlation of resistance indices in promising durum wheat lines

	TOL	SI	MP	STI	GMP	HARM	YR	TI ریشه	TI اندام هوایی
TOL	۱								
SI	۰/۴۲۹۹**	۱							
MP	۰/۷۵۸**	-۰/۲۳۲	۱						
STI	-۰/۴۲۹**	-۰/۹۹۹**	۰/۲۳۲	۱					
GMP	۰/۶۹۶**	-۰/۳۱۰*	۰/۹۹۲*	۰/۳۱۰*	۱				
HARM	۰/۶۸۸**	-۰/۳۲۸*	۰/۹۹۴**	۰/۳۲۸*	۰/۹۹۵**	۱			
YR	۰/۴۲۹**	۰/۹۹۹**	-۰/۲۳۳	-۰/۹۹۹**	-۰/۳۱۰*	-۰/۳۲۸*	۱		
Tiریشه	-۰/۲۷۵	-۰/۱۱۵	-۰/۱۹۲	۰/۱۱۵	-۰/۱۶۵	-۰/۱۷۰	-۰/۱۱۵	۱	
Tiاندام هوایی	-۰/۱۸۱	-۰/۷۵۱**	۰/۳۲۶**	۰/۷۵۱**	۰/۳۸۲**	۰/۳۹۱**	-۰/۷۵۱**	-۰/۳۲۲*	۱

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

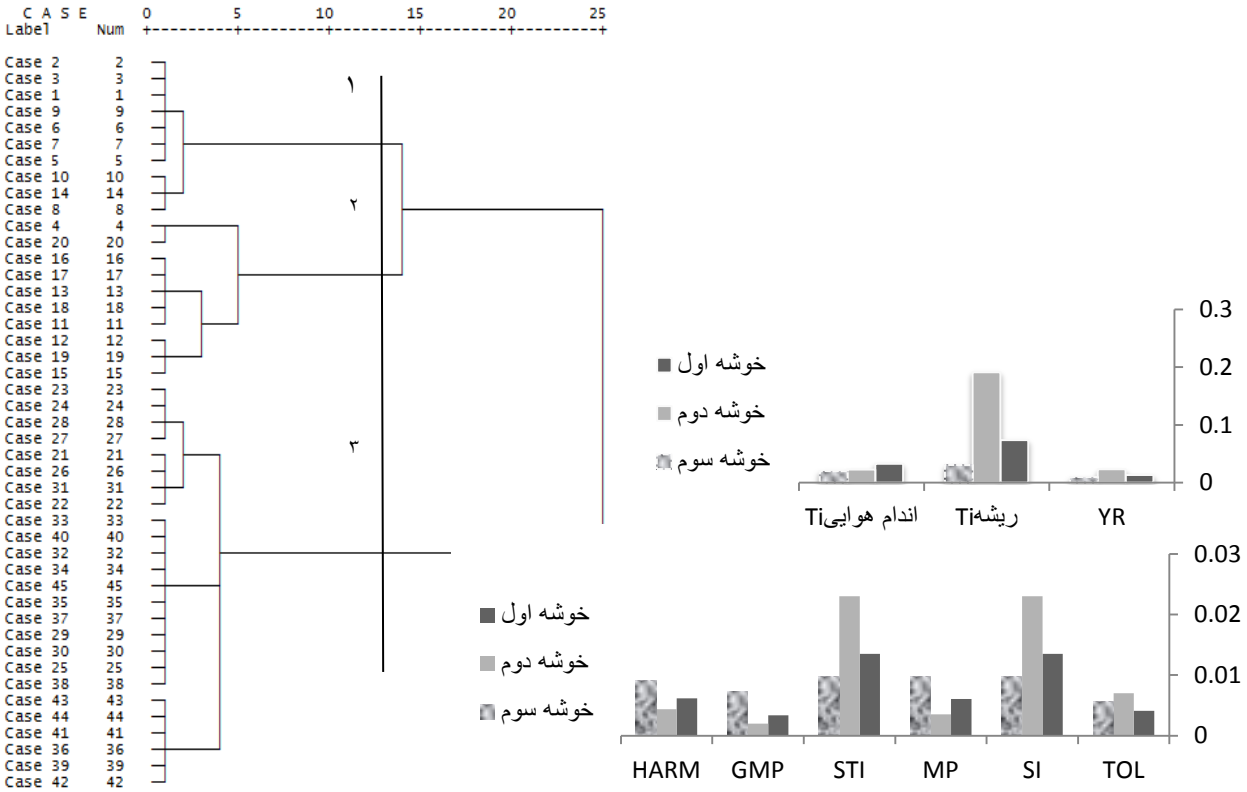
جدول ۵- همبستگی شاخص‌ها با عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش و سه سطح تنش یخزدگی

Table 5. Correlation of indicators with biological performance under non-stress conditions and three levels of frost stress

عملکرد بیولوژیک	TOL	SI	MP	STI	GMP	HARM	YR	TI ریشه	TIاندام هوایی
تنش ۸-	۰/۵۷۵**	-۰/۳۵۳*	۰/۹۰۴**	-۰/۳۵۳*	۰/۸۹۷**	۰/۹۱۶**	-۰/۳۵۳*	-۰/۰۵۶۶	۰/۳۶۷*
تنش ۱۰-	۰/۶۰۶**	-۰/۴۰۴**	۰/۹۶۵**	-۰/۴۰۴**	۰/۹۷۹**	۰/۹۷۹**	-۰/۴۰۴**	۰/۱۲۳	۰/۴۳**
تنش ۱۲-	۰/۶۱۴**	-۰/۳۸۷**	۰/۹۵۴**	-۰/۳۸۷**	۰/۹۶۸**	۰/۹۶۶**	-۰/۳۸۷**	-۰/۲۴۶	۰/۴۶۳**

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

.



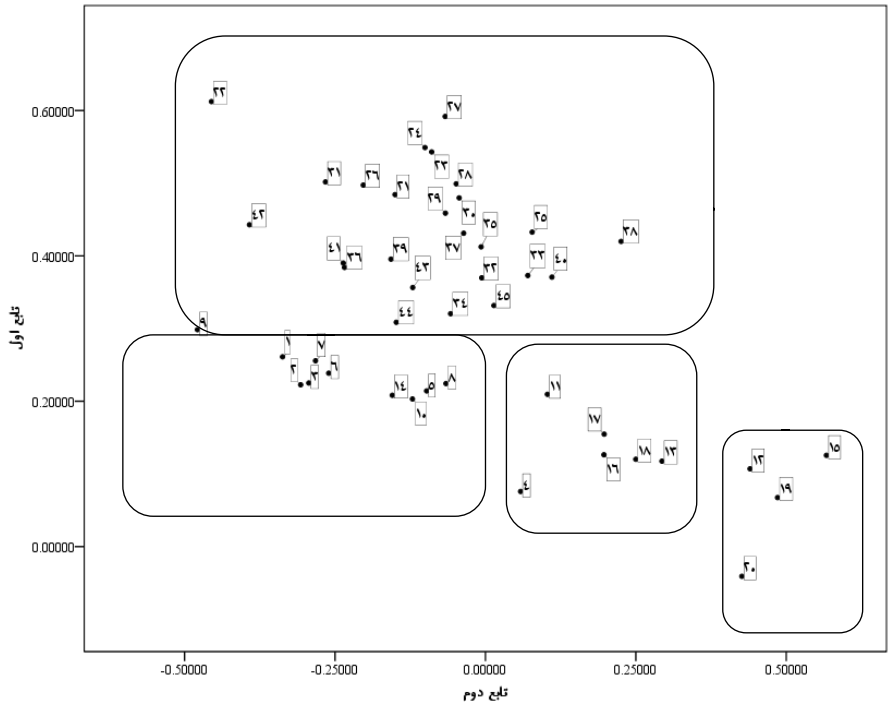
شکل ۱- گروه‌بندی لاین‌های گندم دوروم بر اساس شاخص‌های مقاومت به تنش به روش وارد و انحراف از میانگین شاخص‌های مقاومت برای هر خوشه

Figure 1. Grouping of durum wheat lines based on stress resistance indices by Ward method and deviation from the average resistance indices for each cluster

جدول ۶- میانگین شاخص‌ها در گروه‌های تشکیل شده از تجزیه کلاستر

Table 6. Mean indices in groups consisting of cluster analysis

	TOL	SI	MP	STI	GMP	HARM	YR	TI ریشه	TI اندام هوایی
خوشه اول	۰/۰۵۶۴۳	۰/۳۲۳۶	۰/۱۳۸۹	۰/۶۷۶۴	۰/۰۴۶۳	۰/۱۳۰۹	۰/۳۲۳۶	۰/۹۷۲۷	۵۹۸۲
خوشه دوم	۰/۱۰۶۷۵	۰/۵۰۴۴	۰/۱۵۰۷	۰/۴۹۵۶	۰/۰۴۳۹	۰/۱۲۷۳	۰/۵۰۴۴	۱/۰۴۷۵	۰/۳۵۸۷
خوشه سوم	۰/۱۲۶۶	۰/۳۶۴۵	۰/۲۸۲۱	۰/۶۳۵۵	۰/۱۳۹۴	۰/۲۶۰۴	۰/۳۶۴۵	۰/۸۳۴۶	۰/۶۰۱۷
کل	۰/۱۰۶۶	۰/۳۸۶۵	۰/۲۲۱۱	۰/۶۱۳۵	۰/۰۹۵	۰/۲۰۲	۰/۳۸۶۵	۰/۹۱۲۶	۰/۵۴۶۹

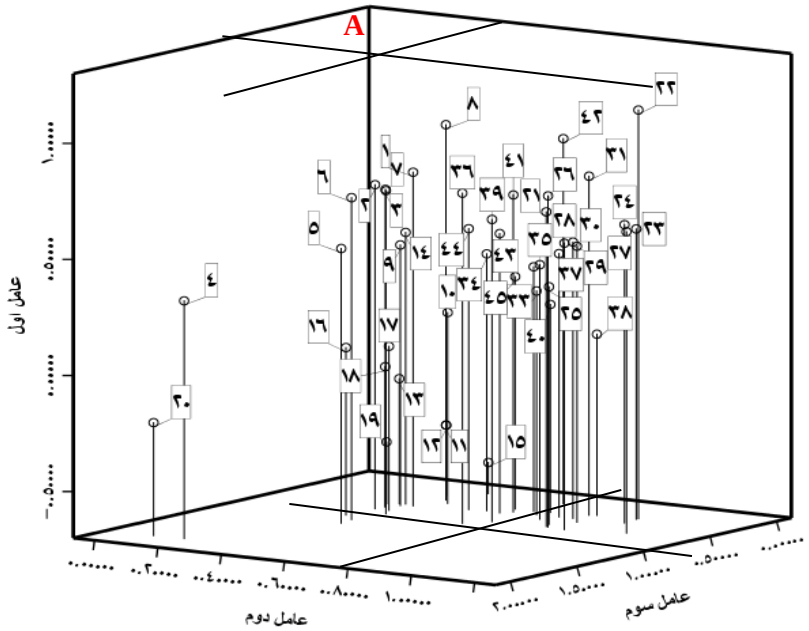


شکل ۲- نمودار دو بعدی حاصل از تجزیه تابع تشخیص براساس دو تابع اول به‌منظور تایید گروه‌بندی لاین‌ها
Figure 2. Two-dimensional diagram obtained from the analysis of the detection function based on the first two functions to confirm the grouping of lines

جدول ۵- ماتریس ضرایب عامل‌ها بعد از چرخش واریماکس برای شاخص‌های مورد بررسی در لاین‌های گندم
Table 5. Matrix of factor coefficients after varimax rotation for the studied indices in wheat lines

شاخص‌ها	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
STI	۰/۹۸۷	۰/۰۹	۰/۰۸۵
SI	−۰/۹۸۷	−۰/۰۹	−۰/۰۸۵
YR	−۰/۹۸۷	−۰/۰۹	−۰/۰۸۵
TIاندام هوایی	۰/۸۱۴	۰/۱۷۸	−۰/۴۲۴
MP	۰/۱۵۱	۰/۹۸۵	−۰/۰۷۷
GMP	۰/۲۳۱	۰/۹۶۷	−۰/۰۵۸
HARM	۰/۲۴۸	۰/۹۶۵	−۰/۰۶۱
TIریشه	۰/۰۶۱	−۰/۱۲۵	۰/۹۷۴
TOL	−۰/۵	۰/۸۴	−۰/۱۵۱
مقادیر ویژه	۳/۹۷۹۴	۳/۶۱۲۶	۱/۱۸۵۲
سهم واریانس	۴۴/۲۱۵۷	۴۰/۱۳۹۶	۱۳/۱۶۸۷
درصد واریانس تجمعی	۴۴/۲۱۶	۸۴/۳۵۵	۹۷/۵۲۴

شاخص تحمل(TOL)، حساسیت به تنش (SI)، میانگین تولید (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی تولید (GMP)، شاخص میانگین هارمونیک تولید (HARM)، شاخص کاهش عملکرد (Yr) و شاخص تحمل ریشه و اندام هوایی (TI) .



شکل ۳- نمودار سه بعدی پراکنش لاین‌های گندم دوروم بر اساس ضرایب عاملی (برای رسم نمودار پراکنش سه بعدی برای لاین‌ها، باید ضرایب مربوط به لاین‌ها برای هر تابع جداگانه مشخص شود. به این صورت که مجموع (تابع اول ضرب در صفت اول در لاین اول، تابع اول در صفت دوم در لاین اول) و به ترتیب برای تمام صفات در لاین ۱ تا ۴۵، همین کار را برای تابع دوم و سوم نیز انجام داده و عدد نهایی هر لاین را برای سه تابع را به صورت نمودار سه بعدی ترسیم می‌کنیم).

Figure 3. Three-dimensional diagram of the distribution of durum wheat lines based on coefficients

منابع

1. Andrews, C.J. 1996. How do plants survive ice? *AnnuaBotany*, 78: 526-568.
2. Auld, D.L., R.L. Ditterline, G.A. Murray and J.B. Swensen. 1983. Screening peas for winter hardiness under field and laboratory conditions. *Crop Science*, 23: 85-88.
3. Blum, A. 1989. Plant breeding for stress environment. *CRD Press inoic*, 71: 99-132.
4. Boluri, P., V. Rashidi, M. Yarnia, A. Razbanhaghigh and M. Soltani. 2010. evaluation of drough stress index in sunflower lines. Journal of Agriculture Research, 3(2): 133-142.
5. Bridger, G.M., D.M. Falk, B.D. Mckersie and D.L. Smith, 1996. Crown freezing tolerance and field winter survivalof winter cereals in eastern Canada. Crop Sciences, 36: 150-157.
6. Dudal, R. 1976. Inventory of major soils of the world with special reference to mineral stress. In M.J. Wright (ed.) Plant Adaptation of Mineral Stress in Problem Soils. Cornell University Agriculture Experiment Station, Ithaca, New York.
7. Fabriani, G., Lintas and C. 1988. Durum wheat: Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, pp: 216.
8. Fao. 2020. URL. http://fao.org/emergencies.com.
9. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stresstolerance Proceedings of the International Symposium onAdaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan.
10. Hemati, R. and H. Pakniat. 2006. Evaluation of response of bread (Triticum aestivum L.) and durum wheat (Triticumturgidum) genotypes in saltinity stress. Iranian Journal of Agricultural Scienes, Number, 3: 7-13 (In Persian).
11. Huoang, B. 2000. Role of root morphological and physiological characteristic in drough resistance of plants. In: Wilkinson, r.e. (ed) and plant-environment intractions, 2: 39-64.
12. Khalilzade, G.H. and H. Karbalai-Khiavi. 2002. Investigation of drought and heatstress on advanced lines of durum wheat. In proc, of the 7th Iranian congress ofcrop Sci. Gilan, Iran, pp: 563-564.
13. Maiti, R.K., L.E.M. Delgoda, S.L. Cardona, A.M.O. Dimaso, Dela Rosa Ibarra, M.,Deleon and H. Castillo. 1996. Genotypic variability in maize cultivar (Zea mays L.) for resistance to drought and salinity at the seedling stage. Journal of Plant physiology, 148: 741-744.

14. Millan, T., H.J. Clarke, K.H. Siddique, M. Buhariwalla, H.K. Gaur, P.M. Kumar, J. Gil J. Kahl and P. Winter. 2006. Chickpea molecular breeding: New tools and concepts. Euphytica, 147: 81-103.
15. Munns, R., R. James and A. Lauchli. 2006. Approaches increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, 57: 1025-1043.
16. Murray, G.A., D. Eser, L.V. Gusta and G. Eteve. 1988. Winter hardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. PP.831-843. In: R.J. Summerfield (Ed.), World Crops: Cool Season food Legumes. Kluwer Academic Publication, the Netherlands, 25: 831-843.
17. Naghavi, M., M. Moghadam, M. Tourchi and M. Shakiba. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drough resistance indices. Journal of Crop Breeding. 8th year. Issue17. Spring 2016. 192-207 (In Persian).
18. Panthuwan, G., S. Fokai, M. Cooper, S.O. Rajatasereekul and J.C. Toole 2002. Yield response of rice genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part1: grain yield and yield components. Field Crop Res, 41: 45-54.
19. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1984. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Journal Crop Sciences, 21: 943-946.
20. Sadeghzade-Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. Iran. Journal Crop Science, 8(1): 30-45.
21. Samach, A. and P.A. Wigge, 2005. Ambient temperature perception in plants. Current Opinion in Plant Biology, 8: 483-486.
22. Saxena, M.C. 1990. Problems and potential of chickpea production in the nineties. In Chickpea in the Nineies (eds. Van Rheenen, and M.C. Saxena). ICRISAT Patancheru, India, 25: 142-146.
23. Seiler, G.J. and R.E. Stafford. 1985. Factor analysis of component of yield in guar. Journal Crop Science, 25: 905-908.
24. Sheibaniraad, A., E. Farshadfar and A. Najafi. 2017. Evaluation of drough tolerance in bread wheat genotypes using drough tolerance indices. Journal of plant Eco physiology, 2(31): 1-14 (In Persian).
25. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi, 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. Field Crop Research, 98: 222-229.
26. Tavakol, E. and H. Pakniyat. 2007. Evaluation of some drought criteria seedling stage in wheat (*Triticumaestivum* L.) cultivars. Pakistan, Journal of Biological Sciences, 10(7): 1113-1117.
27. Zeynalykhanghah, H. A. Izanloo, A. Hoseinzadeh and N. Majnoonhoseini. 2004. Determinf of the suitable drough resistance indices in commercial soybeans varieties. Iranian Journal of Agriculture Science, 35(4): 875-885 (In Persian).

Evaluation of Frost Stress Resistance in Various Promising lines of Durum Wheat using Stress Resistance Indices

Fatemeh Mohammadi Azar[1], Omid Sofalian[2], Ali Asghari[3], Asghar Ebadi[4] and Rahmatollah Karimizadeh[5]

1- PhD Student in Plant Breeding, Department of Agriculture and Plant Breeding, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil
2- Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
(Corresponding Author: sofalian@gmail.com)
3- Professor, Mohaghegh Ardabili University, Department of Agriculture and Plant Breeding, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
4- Assistant Professor, Department of Plant Production Technology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
5- Assistant Professor, Plant Breeding, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Kohkiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Gachsaran Agricultural Research and Training Campus and National Dryland Site
Received: January 6, 2021 Accepted: August 23, 2021

Abstract

In order to evaluate durum wheat lines in terms of frost stress tolerance, 45 promising durum wheat lines resulting from crosses between different parents were assessed using stress tolerance indices. This experiment consisting of greenhouse and laboratory tests was performed in the Faculty of Plant Breeding of MohagheghArdabili University in the 2017-18 crop year. In this experiment, wheat lines at seedling stage were studied. Durum wheat lines were planted in a factorial design based on randomized complete blocks with three replications. Plants up to 3 to 5 leaf stage were kept in greenhouse conditions. The pots were then taken to a cold room at $4^{\circ C}$ to prepare for stress. Based on biological performance, tolerance indices (TOL), stress sensitivity (SI), average production (MP), stress tolerance index (STI) Geometric mean of production (GMP), Harmonic mean of production index (HARM), Yield reduction index (Yr) and Root and shoot tolerance index (TI) were calculated. The results of analysis of variance showed that the studied lines had significant differences in terms of MP, GMP and HARM traits and Yr and Ti indices were significant in stress. The interaction of the line in stress was insignificant for all indices. Due to the correlation between performance and indices, the most appropriate indices were MP, GMP, HARM and TOL. Comparison of mean lines and stresses were examined separately. The maximum correlation coefficient was related to the relationship (0.999) between STI index with SI, Yr with SI and Yr with STI. In general, GMP, MP and HARM indices are the most appropriate indices to evaluate the stress tolerance of lines at all levels. The study and TOL index were suitable for higher stress levels. Study of lines by indices using cluster analysis, detection function analysis and factor analysis showed similar results. The results of cluster analysis and factor analysis with the first three factors introduce lines 25, 26, 27, 28, 31, 36 and 39 as the most tolerant lines and lines 11, 13, 15, 17, 18 and 19 as the most sensitive. They were identified. In factor analysis, the first three factors explained 97.52% of the available variance and the indices of STI, SI, Yr, Ti aerial parts, MP, GMP and HARM They had the highest value and were the most effective indicators in the distribution of lines. According to the three-dimensional diagram of line distribution, the highest factor coefficients based on the first three factors were related to lines 5, 7, 25, 26, 27, 28, 31, 36 and 39.

Keywords: Cluster analysis, Detection function analysis,Durum wheat, Factor analysis, Frost stress, Tolerance indices