

شناسایی لاین‌های متحمل به تنش خشکی در گندم نان

فاطمه محمدی^۱، قاسم محمدی نژاد^{۲*}، بابک ناخدا^۳

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛
۳. استادیار گروه فیزیولوژی مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج.

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۰۲

چکیده

به منظور شناسایی لاین‌های گندم متحمل به تنش خشکی، ۶۷ لاین اینبرد نوترکیب به همراه والدینشان (روشن و سوپرهد) در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در شرایط نرمال و تنش خشکی در سال ۹۱-۱۳۹۰ بررسی شدند. برای شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی از هفت شاخص تحمل و حساسیت به خشکی (میانگین محصول دهی، میانگین هندسی محصول دهی، شاخص تحمل تنش، شاخص عملکرد، شاخص پایداری عملکرد، شاخص تحمل و شاخص حساسیت تنش)، تحلیل عاملی و نمره تحمل تنش استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری را بین لاین‌ها از لحاظ عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد. نمره تحمل تنش در جداسازی گروه A از سایر گروه‌ها (B, C, D) موفق بود. بر اساس نمره تحمل تنش و تحلیل عاملی لاین‌های ۱۳۹، ۶۹، ۱۹، ۲۳، ۱۴۹، ۱۱۷، ۲۷، ۱۸۱ و ۹۴ به عنوان لاین‌های متحمل به تنش خشکی برای بررسی بیشتر انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عاملی، شاخص‌های تحمل به تنش، عملکرد دانه، نمره تحمل تنش.

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید گندم را با محدودیت روبرو ساخته است. بر اساس گزارش فائو ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2010). ایران با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر، یک‌سوم متوسط بارندگی جهان را دارد، این در حالی است که کشور دارای ۱/۲ درصد خشکی‌های جهان است. از سوی دیگر از حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار اراضی کشاورزی، ۶/۲ میلیون هکتار (۳۳/۵ درصد) به کشت دیم اختصاص دارد و تنها در حدود ۱/۲ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت دیم بارندگی بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر دریافت می‌کنند (Amirifar et al., 2011). در کشورهای در حال توسعه ۳۷ درصد از زمین‌های نیمه‌خشک که کمبود رطوبت در آن‌ها اولین عامل تهدیدکننده است، به کشت گندم اختصاص دارد (Dhanda

and Sethi, 2002). گندم مهم‌ترین محصول دانه‌ای جهان است و افزایش پتانسیل عملکرد آن بی‌تردید در حل پی آمده‌ای گرسنگی جهان اهمیت دارد (Ma et al., 2007). در حال حاضر تولید گندم نان در جهان به دلیل بارش‌های فصلی کم که عملکرد دانه را کاهش می‌دهد محدود شده است (McIntyre et al., 2010). در حال حاضر جمعیت ایران حدود ۸۰ میلیون نفر است و مطابق پیش‌بینی‌ها جمعیت ایران بر مبنای نرخ رشد ۲ درصد در سال ۱۴۰۰ از ۱۲۰ میلیون نفر تجاوز خواهد کرد (Emam, 2011). بنابراین افزایش تولید گندم ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. تحمل تنش خشکی به مفهوم افزایش پتانسیل عملکرد، از طریق اصلاح صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک امکان‌پذیر است (Passioura, 1996; Quarrie et al., 1999; Richards, 1996). در حال حاضر مهم‌ترین شاخص تحمل

در شرایط تنش بعد از گلدهی و بدون تنش خشکی بیان نمودند که شاخص‌های میانگین محصول‌دهی، میانگین هندسی و تحمل به تنش با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص تحمل دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد در شرایط تنش هستند، بنابراین می‌توان برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی برای مقادیر بالای شاخص‌های میانگین محصول‌دهی، میانگین هندسی و تحمل به تنش و مقادیر پایین شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص تحمل گزینش کرد. عبدالشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2013) نیز برای گزینش ارقام متحمل به خشکی، معادله‌ی نمره تحمل به خشکی را بسیار کارآمد معرفی کرده‌اند.

با توجه به سطح زیر کشت بالای گندم در ایران و با توجه به اینکه بخش اعظمی از کشور در شرایط تنش خشکی قرار دارد، هدف از انجام این تحقیق انتخاب بهترین شاخص جهت گزینش لاین‌های گندم متحمل به خشکی و نیز شناسایی لاین‌های اینبرد نوترکیبی بود که تحمل بالایی به تنش خشکی دارند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان واقع در ۶ کیلومتری جنوب شرقی کرمان با طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. به‌منظور شناسایی لاین‌های گندم متحمل به شرایط تنش خشکی، تعداد ۶۷ لاین اینبرد نوترکیب به همراه والدینشان (روشن و سوپرهد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در شرایط نرمال و تنش رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک زدن، کاشت به‌صورت دستی در آبان ماه انجام شد. کرت‌های آزمایش شامل ۳ خط کاشت به طول ۱/۲ متر و بافاصله ۳۰ سانتی‌متر با تراکم کاشت ۲۰۰ بذر در هر مترمربع بودند. نوع خاک لومی شنی و pH آن ۷/۷۸ بود. آبیاری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش تا مرحله گلدهی به‌صورت یکسان و با دور آبیاری ۱۴ روزه انجام شد. در شرایط تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای دوره رشد گیاه اعمال گردید. بعد از برداشت، عملکرد دانه لاین‌ها اندازه-

به خشکی مورد استفاده در برنامه‌های به‌نژادی ارزیابی عملکرد دانه در شرایط آبیاری و تنش (Roohi and Siosemardeh, 2008) و پایداری آن در مناطق متعدد است. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت حساسیت آن‌ها ارائه شده است. برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی از شاخص‌هایی مانند شاخص حساسیت به تنش (Fisher and Maurer, 1978) شاخص میانگین محصول‌دهی و شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی (Fernandez, 1992) و شاخص پایداری عملکرد (Bousslama and schapaugh, 1984) استفاده می‌شود. فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌های گیاهی را به چهار گروه A، B، C و D تقسیم‌بندی کرد. ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تظاهر مطلوب دارند در گروه A، ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط بدون تنش تظاهر خوبی دارند در گروه B، ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط تنش عملکرد خوبی دارند در گروه C و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تظاهر ضعیف دارند در گروه D طبقه‌بندی می‌شوند. از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) مناسب‌ترین معیار، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد.

محققان بسیاری شاخص‌های میانگین محصول‌دهی، میانگین هندسی و تحمل به تنش را مؤثرترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی کرده‌اند (Shfzadeh et al., 2004; Muri et al., 2013; Golabadi et al., 2006; Saba et al., 2001). سی‌وسه مرده و همکاران (Sio-Semardeh et al., 2006) در ارزیابی یازده ژنوتیپ گندم نان بیان کردند که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های میانگین محصول‌دهی، میانگین هندسی و تحمل به تنش برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند. زبرجدی و همکاران (Zabarejadi et al., 2013) در بررسی ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم دوروم گزارش نمودند که شاخص تحمل تنش، شاخص میانگین بهره‌وری و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب هستند. گل‌آبادی و همکاران (Golabadi et al., 2006) در ارزیابی ۱۵۱ خانواده‌ی F_۳ و F_۴ گندم دوروم

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad [9]$$

در معادله فوق Z_{ij} نمره استاندارد برای لاین اینبرد نو ترکیب Z ام در شاخص مقاومت/ حساسیت به تنش i ام، X_{ij} داده‌ی لاین Z ام در شاخص i ام و S_i انحراف معیار شاخص i ام است. بعد از استاندارد کردن شاخص‌ها STS محاسبه گردید. تجزیه واریانس عملکرد دانه در هر دو شرایط و همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ا-ی دانکن و همبستگی ساده با نرم‌افزار SAS ۹/۱ انجام گردید. سپس تحلیل عاملی همراه با چرخش وریمکس با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 انجام شد و در نهایت نمودار بای‌پلات بر اساس عامل اول و دوم تحلیل عاملی که واریانس بالایی را توجیه می‌کردند، ترسیم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد بین لاین‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش نشان داد. لاین‌های ۱۱۷ و ۲۰ با میانگین عملکرد ۴/۳۲ و ۱/۰۳ تن در هکتار و لاین‌های ۱ و ۱۲۶ با میانگین عملکرد ۵/۳۴ و ۳/۳۳ تن در هکتار به ترتیب در شرایط تنش خشکی و نرمال بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند (جدول ۱)؛ که این دامنه تغییرات نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالا بین لاین‌ها است. نتایج مقایسه میانگین اختلاف معنی‌داری را بین لاین‌ها برای شاخص‌های حساسیت به تنش، شاخص میانگین محصول‌دهی، شاخص تحمل، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی محصول-دهی و شاخص پایداری عملکرد نشان داد (جدول ۱).

بر اساس نتایج، همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و عملکرد دانه در شرایط تنش منفی و غیر معنی‌دار بود (جدول ۲)، بنابراین برای انتخاب لاین‌های متحمل به تنش، انتخاب باید بر اساس عملکرد لاین‌ها در شرایط تنش صورت گیرد و انتخاب بر اساس عملکرد لاین‌ها در شرایط نرمال کارآمد نخواهد بود. همبستگی منفی بین عملکرد در شرایط نرمال و عملکرد در شرایط تنش (Sio-Semardeh et al., 2006) و همبستگی مثبت بین این دو گزارش شده است (Abdolshahi et al., 2013; Golabadi et al., 2006). شاخص‌های میانگین محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی محصول‌دهی و شاخص پایداری عملکرد همبستگی مثبت معنی‌داری را با عملکرد در شرایط

گیری شد. شاخص‌های مقاومت و حساسیت به خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

[۱] شاخص عملکرد^۱ (Gavuzzi et al., 1997)

$$YI = \frac{Y_S}{Y_P}$$

[۲] شاخص حساسیت تنش^۲ (Fisher and Maurer, 1978)

$$SSI = \frac{1 - (Y_S/Y_P)}{1 - (\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)}$$

[۳] شاخص تحمل^۳ (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$TOL = Y_P - Y_S$$

[۴] میانگین محصول‌دهی^۴ (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$MP = (Y_P + Y_S) / 2$$

[۵] میانگین هندسی محصول‌دهی^۵ (Fernandez, 1992)

$$GMP = \sqrt{(Y_S)(Y_P)}$$

[۶] شاخص پایداری عملکرد^۶ (Bousslama and Schapaugh, 1984)

$$YSI = Y_S / Y_P$$

[۷] شاخص تحمل تنش^۷ (Fernandez, 1992)

$$STI = \frac{(Y_S)(Y_P)}{(\bar{Y}_P)^2}$$

در معادلات بالا، Y_P و Y_S به ترتیب عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، \bar{Y}_P و \bar{Y}_S به ترتیب میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی هستند. نمره تحمل به تنش (STS) با استفاده از معادله ۸ محاسبه شد:

[۸] نمره تحمل به تنش^۸ (Abdolshahi et al., 2012)

$$STS = MP + STI + GMP + YI + YSI - SSI - TOL$$

در این معادله به شاخص‌هایی که با مقاومت به خشکی همبستگی مثبت دارند علامت مثبت و به شاخص‌هایی که با مقاومت به خشکی همبستگی منفی دارند علامت منفی داده شد و همه شاخص‌ها با قرار گرفتن در معادله ۹ استاندارد شدند:

1. yield index (YI)

2. stress susceptibility index (SSI)

3. stress tolerance (TOL)

4. mean productivity (MP)

5. Geometric mean productivity (GMP)

6. yield stability index (YSI)

7. stress tolerance index (STI)

8. Stress Tolerance Score (STS)

لاین‌هایی را گزینش می‌کنند که متحمل به خشکی هستند که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Golabadi et al., 2006; Saba et al., 2001; Zabarjadi et al., 2013; Shfazadeh et al., 2004; Muri et al., 2013).

جهت تفسیر بهتر و دقیق‌تر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش از تحلیل عاملی همراه با چرخش وریمکس محورها استفاده شد. دو عامل اول در مجموع ۹۹/۴ درصد از تغییرات کل را توجیه نمودند، بنابراین بر اساس عامل اول و دوم بای‌پلاتی رسم گردید (شکل ۱). عامل اول همبستگی مثبت و بالایی را با شاخص‌های تحمل به خشکی میانگین محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی محصول‌دهی، شاخص عملکرد و شاخص پایداری عملکرد و همبستگی منفی با شاخص‌های تحمل و شاخص حساسیت به تنش نشان داد، بنابراین عامل اول تحمل به خشکی نام‌گذاری شد (جدول ۳). عامل دوم که همبستگی منفی بالایی را با شاخص‌های تحمل به خشکی میانگین محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش، میانگین هندسی محصول‌دهی، شاخص عملکرد و شاخص پایداری عملکرد و همبستگی مثبت با شاخص‌های تحمل و شاخص حساسیت به تنش داشت، حساسیت به خشکی نام گرفت، بنابراین لاین‌هایی که نمره بالاتر برای عامل اول و نمره پایین‌تر برای عامل دوم دارند متحمل به خشکی هستند و لاین‌هایی که نمره پایین‌تر برای عامل اول و نمره بالاتر برای عامل دوم دارند حساس به خشکی هستند، از این‌رو در بای‌پلات لاین‌هایی که در قسمت راست نمودار قرار گرفته‌اند (لاین‌های ۱۱۷، ۱۹، ۲۳، ۱۴۹، ۱۸۱، ۲۷، ۹۴، ۶۹ و ۱۳۹)، متحمل به خشکی و لاین‌هایی که در قسمت چپ نمودار قرار گرفته‌اند (لاین‌های ۲۰، ۷۳، سوپرهد، ۱۵۹، ۶، ۱۰۲، ۱۱، ۳۲ و ۳۸ و لاین ۱۱۶) حساس به خشکی می‌باشند.

به علت پیچیدگی استفاده از تحلیل عاملی محاسبه نمره تحمل به خشکی پیشنهاد می‌شود (Fernandez, 1992). بر اساس نمره تحمل به خشکی عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نمودار سه‌بعدی رسم گردید (شکل ۲). لاین‌های ۱۸۱، ۲۷ و ۹۴ داری عملکرد بالا در محیط تنش هستند بنابراین در گروه C فرناندز قرار می‌گیرند و لاین‌های ۱۳۹، ۶۹، ۲۳، ۱۹، ۱۴۹ و ۱۱۷ با دارا بودن عملکرد بالا در محیط تنش و غیر تنش در گروه A فرناندز قرار می‌گیرند، بنابراین مطلوب‌ترین لاین‌ها برای کشت هستند. بر اساس نمودار لاین‌های ۱۳۹، ۶۹، ۱۹، ۲۳، ۱۴۹، ۱۱۷، ۲۷، ۱۸۱

تنش خشکی شرایط نرمال نشان دادند (جدول ۲). شاخص پایداری عملکرد بالاترین همبستگی را با عملکرد در شرایط تنش داشت ($r=0.95^{**}$). بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی، لاین‌های ۶۹، ۱۱۷ و ۱۳۹ بیشترین مقاومت به خشکی و لاین‌های ۷۳، ۲۰ و ۱۱ بیشترین حساسیت به خشکی را نشان دادند که نتایج مشابه این دو شاخص در انتخاب لاین‌های متحمل و حساس با توجه به جدول ۲ به دلیل همبستگی بالای این دو شاخص است. بر اساس شاخص میانگین محصول‌دهی لاین‌های ۱۱۳، ۶۹، ۱۱۷ و ۱۳۹ بیشترین مقاومت به خشکی و لاین‌های ۲۰ و ۷۳ بیشترین حساسیت به خشکی را نشان دادند. بر اساس شاخص عملکرد لاین‌های ۱۱۷، ۲۷ و ۱۴۹ بیشترین مقاومت به خشکی و لاین‌های ۷۳، ۱۱ و ۲۰ بیشترین حساسیت به خشکی را نشان دادند. شاخص پایداری عملکرد و شاخص حساسیت به تنش ژنوتیپ‌های پایدار و باثبات عملکرد بیشتر را به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌کند و مقادیر بالای شاخص پایداری عملکرد و مقادیر پایین شاخص حساسیت به تنش نشان‌دهنده مقاومت به خشکی است. شاخص پایداری عملکرد و شاخص حساسیت به تنش همبستگی منفی و بالایی ($r = -1$) با یکدیگر داشتند (جدول ۲). بنابراین این دو شاخص برآورد یکسان و عکس دارند و بر این اساس لاین‌های ۹۴، ۲۷، ۱۸۱ و ۱۱۷ بیشترین مقاومت به خشکی و لاین‌های ۱۱۳، ۱۱ و ۳۲ بیشترین حساسیت به خشکی را نشان دادند. شاخص تحمل با شاخص حساسیت به تنش با توجه به جدول ۲ همبستگی مثبت و بالایی دارد ($r=0.927$). با توجه به این‌که مقادیر کم این شاخص نشان‌دهنده مقاومت به خشکی و مقادیر بالای آن نشان‌دهنده حساسیت به خشکی است، لاین‌های ۹۴، ۱۸۱، ۲۷، ۱۴۹ و ۱۱۷ مقاوم به خشکی و لاین‌های ۱۱۳، ۱۱، ۱۱۶ و ۳۲ حساس به خشکی معرفی شدند.

با توجه به اینکه انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی بر اساس عملکرد و شاخص‌ها نتایج متفاوتی را ارائه می‌دهد، لذا از همبستگی بین عملکرد و شاخص‌ها در هر دو شرایط تنش خشکی و نرمال جهت تعیین لاین‌های متحمل استفاده شد (جدول ۲). همبستگی بالا و مثبت شاخص‌های میانگین محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی با عملکرد در شرایط تنش خشکی و شرایط نرمال رطوبتی، نشان می‌دهد که این شاخص‌ها

و ۹۴ دارای نمره تحمل تنش و عملکرد بالا در شرایط تنش هستند، بنابراین این لاین‌ها متحمل به خشکی هستند.

جدول ۱. میانگین شاخص‌های مختلف حساسیت و تحمل به تنش خشکی و میانگین عملکرد دانه لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم در شرایط تنش و بدون تنش.

Table1. Mean drought tolerance/susceptibility indices and mean grain yield in normal (Yp) and drought stress (Ys) conditions for wheat recombinant inbred lines.

لاین Line	نمره تحمل تنش STS	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص پایداری عملکرد YSI	میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص میانگین بهره‌وری MP	شاخص عملکرد YI	میانگین	میانگین
									عملکرد در شرایط تنش Ys	عملکرد در شرایط معمول Yp
1	4.76a-l	3.04b-d	1.52a-g	0.43c-i	3.46a-l	0.72a-k	3.81b-h	0.89a-l	2.29a-l	5.34a
2	6.65a-l	0.9b-z	0.66a-i	0.75a-i	2.92a-m	0.52b-k	3.02c-k	1a-l	2.57a-l	3.47c
6	2.53f-	2.29b-g	1.6a-f	0.4d-i	2.35i-m	0.36f-k	2.7h-k	0.6f-l	1.55f-l	3.85bc
11	0.52kl	3.43B	2.02a	0.24i	2.21k-m	0.29JK	2.80e-k	0.42l	1.09l	4.52a-c
12	8.42a-l	1.14b-j	0.62a-i	0.77a-i	3.62a-k	0.79a-k	3.76b-h	1.24a-l	3.19a-l	4.34a-c
13	8.08a-l	1.28b-j	0.78a-i	0.71a-i	3.68a-k	0.8a-j	3.73b-j	1.21a-l	3.1a-l	4.38a-c
14	5.94a-l	1.72b-i	1.02a-i	0.61a-i	3.18a-m	0.6a-k	3.32b-k	0.96a-l	2.47a-l	4.19a-c
17	8.78a-l	0.46b-j	0.31b-i	0.88a-h	3.37a-l	0.67a-k	3.38b-k	1.23a-l	3.16a-l	3.62bc
18	4.97a-l	1.42b-i	1.05a-i	0.6a-i	2.73b-m	0.44c-k	2.84e-k	0.83a-l	2.13a-l	3.55bc
19	10.6a-f	0.37b-j	0.23b-i	0.91a-h	3.95a-g	0.92a-g	3.95a-h	1.47a-g	3.78a-g	4.14a-c
20	0.48l	2.54b-e	1.85a-c	0.3g-i	1.66m	0.21K	2.29K	0.4l	1.03l	3.57bc
21	5.44a-l	2.45b-f	1.38a-h	0.48b-i	3.43a-l	0.74a-k	3.66b-j	0.95a-l	2.44a-l	4.89ab
23	11.1a-e	0.16b-j	0.06d-i	0.98a-f	3.95a-g	0.92a-g	3.96a-h	1.51a-e	3.88a-e	4.04a-c
24	5.76a-l	1.55b-i	1.07a-i	0.6a-i	3.08a-m	0.58a-k	3.18b-k	0.94a-l	2.41a-l	3.96bc
25	6.21a-l	1.81b-g	1.18a-i	0.55a-i	3.31a-l	0.76a-k	3.56b-k	1.03a-l	2.65a-l	4.47a-c
26	4.36a-l	2.19b-g	1.32a-h	0.5b-i	2.92a-m	0.5b-k	3.15b-k	0.8a-l	2.06a-l	4.25a-c
27	12.23ab	-0.34b-j	-0.32hi	1.12ab	3.94a-h	0.91a-h	3.97a-h	1.61ab	4.15ab	3.8bc
28	6.30a-l	1.72b-i	1a-i	0.62a-i	3.24a-l	0.65a-k	3.47b-k	1.02a-l	2.62a-l	4.34a-c
31	7.77a-l	0.9b-j	0.63a-i	0.76a-i	3.34a-l	0.67a-k	3.38b-k	1.14a-l	2.94a-l	3.84bc
32	1.25i-l	3.16BC	1.91ab	0.28hi	2.36i-m	0.33g-k	2.84e-k	0.49j-l	1.27j-l	4.43a-c
33	6.39a-l	1.57b-i	0.98a-i	0.63a-i	3.29a-l	0.64a-k	3.38b-k	1.01a-l	2.6a-l	4.17a-c
36	4.06a-l	2.82b-d	1.5a-g	0.44c-i	3.11a-m	0.57a-k	3.45b-k	0.8a-l	2.05a-l	4.87ab
37	6.19a-l	1.38b-j	0.94a-i	0.65a-i	3.12a-m	0.58a-k	3.19b-k	0.97a-l	2.5a-l	3.88bc
38	1.86g-l	3.15BC	1.83a-c	0.31g-i	2.56d-m	0.39e-k	3.01c-k	0.56h-l	1.44h-l	4.59a-c
45	6.30a-l	1.92b-g	1.13a-i	0.58a-i	3.45a-l	0.71a-k	3.58b-k	1.02a-l	2.63a-l	4.55a-c
48	3.27d-l	2.4b-f	1.49a-g	0.44c-i	2.64c-m	0.42c-k	2.96c-k	0.69d-l	1.77d-l	4.16a-c
49	4.81a-l	1.79b-h	1.21a-h	0.54b-i	2.9a-m	0.5b-k	3.03c-k	0.83a-l	2.14a-l	3.93bc
64	3.05d-l	2.62b-d	1.46a-g	0.45c-i	2.59d-m	0.4d-k	3.02c-k	0.67e-l	1.71e-l	4.34a-c
67	7.41a-l	0.72b-j	0.55a-i	0.79a-i	3.1a-m	0.57a-k	3.13b-k	1.08a-l	2.77a-l	3.49d
69	11.4a-d	0.58b-j	0.35a-i	0.87a-i	4.35a	1.14a	4.38ab	1.59a-c	4.09a-d	4.67a-c
73	1.07j-l	2.58b-e	1.84a-c	0.31g-i	2.05lm	0.25JK	2.43JK	0.45kl	1.15kl	3.73bc
78	4.85a-l	1.51b-i	1.11a-i	0.58a-i	2.76b-m	0.45c-k	2.85d-k	0.82a-l	2.1a-l	3.61bc
79	6.37a-l	1.38b-i	0.91a-i	0.66a-i	3.15a-m	0.59a-k	3.25b-k	1a-l	2.57a-l	3.94bc
83	10.0a-g	0.78b-j	0.51a-i	0.81a-i	4.02a-f	0.99a-c	4.05a-f	1.43a-h	3.67a-h	4.45a-c
85	5.15a-l	1.78b-i	1.17a-i	0.56a-i	2.99a-m	0.53b-k	3.13b-k	0.88a-l	2.25a-l	4.03a-c
89	3.79b-l	1.64b-i	1.28a-h	0.52b-i	2.49f-m	0.37f-k	2.62i-k	0.7c-l	1.81c-l	3.45c
94	12.2ab	-0.7b-j	-0.5i	1.19a	3.69a-k	0.84a-j	3.75b-h	1.6a-c	4.11a-c	3.4c

Table1. Continued

لاین Line	ادامه جدول ۱.									
	نمره تحمل تنش STS	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص پایداری عملکرد YSI	میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص میانگین بهره‌وری MP	شاخص عملکرد YI	میانگین عملکرد در شرایط تنش Ys	میانگین عملکرد در شرایط معمول Yp
99	5.51a-l	1.59b-i	1.07a-i	0.6a-i	3.02a-m	0.54b-k	3.12b-k	0.9a-l	2.33a-l	3.92bc
100	8.77a-l	0.56b-j	0.4a-i	0.85a-i	3.46a-l	0.71a-k	3.47b-k	1.24a-l	3.19a-l	3.75bc
102	2.81e-l	2.33b-g	1.57a-f	0.41d-i	2.52e-m	0.38e-k	2.77f-k	0.63e-l	1.61e-l	3.94bc
103	7.72a-l	0.66b-j	0.5a-i	0.81a-i	3.1a-m	0.61a-k	3.22b-k	1.13a-l	2.9a-l	3.55bc
111	9.06a-k	0.42b-j	0.26b-i	0.9a-h	3.4a-l	0.7a-k	3.47b-k	1.27a-l	3.27a-l	3.68bc
114	8.16a-l	0.52b-j	0.4a-i	0.85a-i	3.22a-l	0.61a-k	3.23b-k	1.16a-l	2.98a-l	3.5c
116	1.44h-l	3.3b	1.89ab	0.29hi	2.48g-m	0.36f-k	2.98c-k	0.52i-l	1.33i-l	4.63a-c
117	12.53a	-0.1b-j	-0.15g-i	1.06a-c	4.22ab	1.05ab	4.27a-c	1.68a	4.32a	4.22a-c
122	3.90a-l	2.23b-g	1.44a-g	0.46c-i	2.83a-m	0.49b-k	3.04c-k	0.75b-l	1.93b-l	4.17a-c
125	9.92a-h	0b-j	-0.11f-i	1.04a-d	3.34a-l	0.67a-k	3.41b-k	1.33a-k	3.42a-k	3.42c
126	4.75a-l	1.29b-j	1.02a-i	0.62a-i	2.55d-m	0.4d-k	2.68h-k	0.8a-l	2.04a-l	3.33c
129	6.66a-l	1.06b-j	0.77a-i	0.71a-i	3.08a-m	0.56a-k	3.12b-k	1.01a-l	2.6a-l	3.65bc
130	3.74h-l	2.37b-f	1.47a-g	0.45c-i	2.84a-m	0.48b-k	3.07b-k	0.74b-l	1.9b-l	4.26a-c
132	6.70a-l	1.57b-i	0.9a-i	0.66a-i	3.34a-l	0.66a-k	3.45b-k	1.04a-l	2.68a-l	4.24a-c
133	6.34a-l	1.64b-i	1.03a-i	0.61a-i	3.32a-l	0.65a-k	3.41b-k	1.01a-l	2.6a-l	4.24a-c
137	3.62c-l	2.37b-f	1.36a-h	0.49b-i	2.69b-m	0.43c-k	3.02c-k	0.72b-l	1.84b-l	4.21a-c
138	4.94a-l	1.8b-h	1.18a-i	0.55a-i	2.93a-m	0.51b-k	3.07b-k	0.85a-l	2.17a-l	3.97bc
139	10.78a-f	0.59b-j	0.36a-i	0.86a-i	4.15a-c	1.04ab	4.16a-d	1.51a-f	3.87a-f	4.46a-c
149	11.91abc	-0.13b-j	-0.08e-i	1.03a-e	4.05a-e	0.97a-e	4.05a-f	1.6a-c	4.12a-c	3.99a-c
157	8.66a-l	1.25b-j	0.61a-i	0.77a-i	3.76a-j	0.83a-j	3.88b-h	1.27a-l	3.25a-l	4.51a-c
159	2.36f-l	2.24b-g	1.61a-e	0.39e-i	2.34j-m	0.33h-k	2.59i-k	0.57g-l	1.47g-l	3.71bc
165	5.09a-l	1.71b-i	1.23a-h	0.54b-i	2.93a-m	0.57a-k	3.12b-k	0.88a-l	2.26a-l	3.98bc
169	6.35a-l	1.32b-j	0.9a-i	0.66a-i	3.13a-m	0.58a-k	3.20b-k	0.99a-l	2.55a-l	3.87bc
172	4.46a-l	1.75b-i	1.22a-h	0.54b-i	2.76b-m	0.45c-k	2.89d-k	0.79a-l	2.02a-l	3.77bc
173	9.78a-i	1b-j	0.56a-i	0.79a-i	4.06a-d	0.98a-d	4.09a-e	1.4a-i	3.6a-i	4.6a-c
174	9.52a-j	1.01b-j	0.53a-i	0.8a-i	3.94a-g	0.92a-g	4.02a-g	1.37a-j	3.52a-j	4.53a-c
175	8.45a-l	0.95b-j	0.58a-i	0.78a-i	3.57a-l	0.76a-k	3.63b-j	1.23a-l	3.16a-l	4.11a-c
177	3.23d-l	1.88b-g	1.38a-h	0.48b-i	2.4h-m	0.34g-k	2.60i-k	0.65e-l	1.67e-l	3.55bc
181	12.03abc	-0.38b-j	-0.28hi	1.11ab	3.89a-i	0.89a-i	3.89b-h	1.59a-dt	4.08a-d	3.71bc
185	9.88a-h	0.22b-j	0.15c-i	0.94a-g	3.59a-k	0.76a-k	3.59b-k	1.36a-j	3.49a-j	3.7bc
Roshan	9.61a-j	0.05b-j	0.04e-i	0.99a-e	3.37a-l	0.67a-k	3.36b-k	1.3a-l	3.34a-l	3.39c
Superhead	1.57g-l	2.84b-d	1.77a-d	0.33f-i	2.29j-m	0.31i-k	2.72g-k	0.51i-l	1.31i-l	4.15a-c

شرایط تنش خشکی امکان‌پذیر است. در این تحقیق با استفاده از هر دو روش تحلیل عاملی و نمره تحمل تنش لاین‌های ۱۳۹، ۱۶۹، ۱۹، ۲۳، ۱۴۹، ۱۱۷، ۲۷، ۱۸۱ و ۹۴ که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش بودند، برای انجام تحقیقات بیشتر در مراحل بعدی انتخاب شدند.

نتایج حاصل از نمره تحمل تنش و تحلیل عاملی مشابه است که با نتایج عبدالشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2012) مطابقت دارد. با توجه به وجود تنوع ژنتیکی وسیع بین لاین‌ها برای عملکرد دانه که در نمودار بای‌پلات مشخص است امکان گزینش لاین‌هایی با عملکرد بالا در

جدول ۲. همبستگی شاخص‌های تحمل/حساسیت به خشکی و عملکرد دانه لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم

Table 2. Correlation between tolerance and sensitivity indices and grain yield for wheat recombinant inbred lines.

شاخص ها	عملکرد در شرایط تنش	عملکرد در شرایط معمول	شاخص تحمل	شاخص میانگین بهره‌وری	شاخص تحمل به تنش	میانگین هندسی بهره‌ورد	شاخص عملکرد	شاخص حساسیت به تنش	شاخص پایداری عملکرد
	Y _S	Y _P	TOL	MP	STI	GMP	YI	SSI	YSI
Y _S	1								
Y _P	-0.099	1							
TOL	-0.812**	0.661**	1						
MP	0.767**	0.563**	-0.248*	1					
STI	0.910**	0.299*	-0.511**	0.949**	1				
GMP	0.914**	0.287*	-0.521**	0.945**	0.989**	1			
YI	1**	-0.098n	-0.811**	0.767**	0.910**	0.915**	1		
SSI	-0.944**	0.368**	0.927**	-0.547**	-0.729**	-0.746**	-0.944**	1	
YSI	0.945**	-0.364*	-0.926**	0.550**	0.731**	0.747**	0.945**	-1**	1

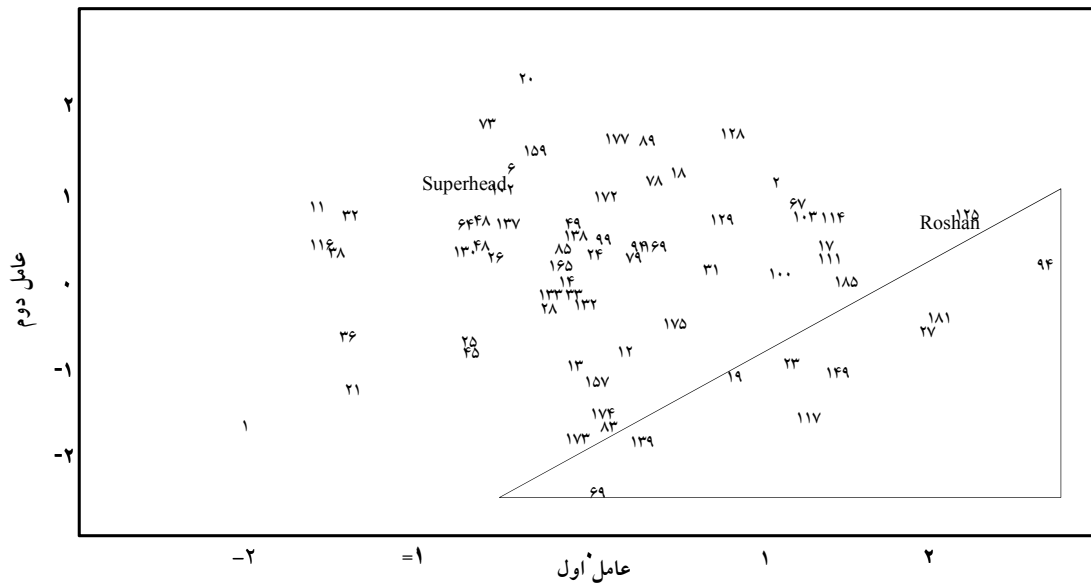
ns و** و*: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ۱ درصد

* and ** are significantly different at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively and ns is non-significant

جدول ۳. تحلیل عاملی شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در ۶۷ لاین اینبرد نوترکیب گندم نان

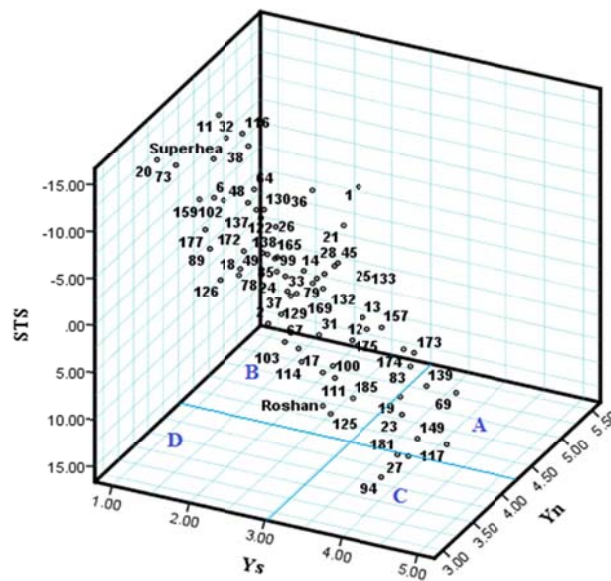
Table 3. Results of factor analysis for drought tolerance/susceptibility indices of 67 wheat recombinant inbred lines.

شاخص تحمل و حساسیت به خشکی drought- tolerance/susceptibility indices	Factor loading تحلیل عاملی	
	عامل اول	عامل دوم
	FA1	FA2
TOL	-0.940	0.329
MP	0.328	-0.942
STI	0.447	-0.890
GMP	0.467	-0.879
YI	0.711	-0.703
SSI	-0.889	0.454
YSI	0.889	-0.454
Variance	3.4951	3.4676
Variance%	49.9	49.5
Cumulative%	49.9	99.5



شکل ۱- بای پلات بر اساس دو عامل اول برای ۶۷ لاین اینبرد نوترکیب گندم نان.

Fig. 1. Bi-plot based on first and second factors for 67 wheat recombinant inbred lines.



شکل ۲. نمودار پراکنش سه بعدی لاین‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط نرمال (\bar{Y}_p), عملکرد در شرایط تنش (\bar{Y}_s) و نمره تحمل

تنش (STS)

Fig2. 3D plot of lines scattering on the basis of \bar{Y}_p , \bar{Y}_s and stress tolerance score (STS).

منابع

- using RIL and immortalized F2 populations. *Molecular Genetics and Genomics*. 277(1), 31-42.
- McIntyre, C.L., Mathews, K., Rattey, A., Chapman, S., Drenth, J., Ghaderi, M., Shorter, R., 2010. Molecular detection of genomic regions associated with grain yield and yield-related components in an elite bread wheat cross evaluated under irrigated and rainfed conditions. *Theoretical and Applied Genetics*. 120(3), 527-541.
- Murri, S., Emam, Y., Surshojani, H., 2013. Evaluation of terminal drought tolerance in wheat using yield, yield components and quantitative indices of drought tolerance. *Journal of environmental stress in Crop Science*. 5(1), 32-19.
- Passioura, J.B., 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*. 20(2), 79-83.
- Quarrie, S., Stojanović, J., Pekić, S., 1999. Improving drought resistance in small-grained cereals: A case study, progress and prospects. *Plant Growth Regulation*. 29(1-2), 1-21.
- Richards, R. A., 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*. 20(2), 157-166.
- Roohi, E., Siosemardeh, A., 2008. Study on gas exchange in different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under moisture stress conditions. *Iranian Journal of Seed and Plant*. 24 (1):45-62. [In Persian with English Summery].
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21(6), 943-946.
- Saba, J., Moghaddam, M., Ghassemi, M., Nishabouri, M.R., 2001. Genetic properties of drought resistance indices. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 3, 43-49.
- Shafazadeh, M.K., YazdanSepas, A., Amini, A., Ghanadha, M. R., 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed and Plant*. 20(1), 57-71. [In Persian with English Summery].
- Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., Mohamadi-Nejad, G., 2012. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 59(5), 685-704.
- Amirifar, E., AghaeSarbarze, M., Haghparast, R., Khosroushahli, M., 2011. Yield stability, bread making quality and drought tolerance in bread wheat genotypes. *Iranian Journal of Seed and Plant*. 27 (2), 233-255. [In Persian with English summery].
- Bouslama, M., Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybeans. I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24(5), 933-937.
- Dhanda, S. S., Sethi, G.S., 2002. Tolerance to drought stress among selected Indian wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*. 139(03), 319-326.
- Emam, Y., 2011. *Cereal Crop Production*. 4th Edition. Shiraz University Press. 190 pages. [In Persian].
- FAO, 2010. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations from <http://faostat.fao.org/default.aspx>.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo CG editor, *Proceedings of the International Symposium on 'Adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress'*. AVRDC Publication. Tainan, Taiwan. 13-18 Aug. Chapter 25:257-270.
- Fischer, R., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29(5), 897-912.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, 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.
- Golabadi, M., Arzani A., Mirmohammadi Maibody, S.M., 2006. Assessment of drought tolerance in segregation population in drum wheat. *African Journal of Agricultural Research*. 1, 162-171.
- Ma, Z., Zhao, D., Zhang, C., Zhang, Z., Xue, S., Lin, F., Luo, Q., 2007. Molecular genetic analysis of five spike-related traits in wheat

Zebarjadi, A. R., TavakoliShadpey, S., Etminan, A. R., Mohammadi, R., 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal. 29(1), 1-12. [In Persian with English summary].

Sio-Semardeh, A., Ahmadi, A., Poostini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98, 222-229.