تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۸
۶۶۳-۶۷۲
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1508.1337

مقاله پژوهشی

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

بهنام طهماسب‌پور[۱]، سدابه جهانبخش[۲]، علیرضا تاری‌نژاد[۳]*، حمید محمدی[۴]
۱. دانشجوی دوره دکتری اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳. دانشیار گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
۴. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش خشکی در گلخانه و مزرعه، ۳۰ ژنوتیپ به‌عنوان فاکتور فرعی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح کاملاً تصادفی و بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط بدون تنش (آبیاری به‌صورت متداول تا آخر فرایند رشد گیاه صورت گرفت) و تنش خشکی مرحله گلدهی (آبیاری تا مرحله گلدهی به‌صورت متداول و طبیعی انجام گرفت و تنش خشکی بعدازآن مرحله اعمال گردید) در سال ۹۶-۱۳۹۵ در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان بررسی شدند. نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها ازلحاظ عملکرد دانه در شرایط تنش کمبود آب آخر فصل و بدون تنش نشان داد. شاخص‌های مختلف ارزیابی تحمل به تنش خشکی، ژنوتیپ‌های مختلف را به‌عنوان متحمل به تنش کمبود آب در مرحله گلدهی معرفی نمود. روی این اصل، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص تحمل، میانگین محصول دهی، میانگین هندسی محصول دهی، میانگین هارمونیک، شاخص تحمل تنش، شاخص حساسیت تنش، شاخص عملکرد و شاخص پایداری عملکرد جهت شناسایی ژنوتیپ-های متحمل به تنش خشکی انجام و تحت شرایط گلخانه و مزرعه ژنوتیپ-ها در چهار خوشه جای گرفتند و ژنوتیپ‌های cd-1، cd-2، cd-5 و cd-9 تحت هر دو شرایط ارزیابی (گلخانه و مزرعه) و بر اساس شاخص‌های متحمل به خشکی مورد ارزیابی، به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند.

واژه‌های کلیدی: **تجزیه تابع تشخیص، تجزیه خوشه‌ای، شاخص‌های تحمل به تنش، عملکرد دانه**

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید گندم را با محدودیت مواجه ساخته است. در حال حاضر جمعیت ایران حدود ۸۰ میلیون نفر است و مطابق پیش‌بینی‌ها جمعیت ایران بر مبنای نرخ رشد دو درصد در سال ۱۴۰۰ از مرز ۱۲۰ میلیون نفر خواهد گذشت (Emam, 2011)؛ بنابراین افزایش تولید گندم ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. در حال حاضر مهم‌ترین شاخص تحمل به خشکی مورداستفاده در برنامه‌های به‌نژادی ارزیابی عملکرد دانه در شرایط آبیاری و تنش 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 (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص میانگین محصول‌دهی و شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی

* نگارنده پاسخگو: علیرضا تاری نژاد. پست الکترونیک: atarinejad@yahoo.com

(Fernandez, 1992) و شاخص پایداری عملکرد (Bouslama 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 گروهB ، 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. ازنظر 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 (Saba et al., 2001; Shafazadeh et al., 2004; Murri et al., 2013; Roohi and Siosemardeh, 2008). 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 (Zabarjadi 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.

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 استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش، جهت گزینش ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌هایی است که تحمل بالایی به تنش خشکی در شرایط کنترل‌شده (گلخانه) و مزرعه دارند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان واقع در ۴۳ کیلومتری جنوب غربی تبریز با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۳۱۶ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های گندم متحمل به شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه و طرح کاملاً تصادفی در گلخانه با سه تکرار اجرا شد. تعداد ۳۰ ژنوتیپ (بذور موردنیاز از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی بخش اصلاح و تهیه نهال و بذر فراهم گردید. کدهای cd-1 تا cd-11 مربوط به ژنوتیپ‌های آزمایش آ تست یا ARWYTسال ۹۴ و کدهای C-93 تا C-94 به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های آزمایش یکنواخت سراسریURWYT سال ۹۳ و ۹۴ مناطق سرد می‌باشند که از بخش غلات موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر شجره ارقام قابل‌دستیابی است (SPII, 2015, 2016) به‌عنوان فاکتور فرعی در شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی مرحله گلدهی (به‌عنوان فاکتور اصلی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این بررسی ارقام میهن، اروم و حیدری به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که تا حدودی به تنش خشکی آخر فصل در مناطق سرد متحمل هستند به‌عنوان شاهد در آزمایش‌ها گنجانده شدند (Gasemi, 2017).

در گلخانه ژنوتیپ‌ها درون گلدان‌های نایلونی که از خاک لوم شنی (pH=7.86, EC=1.83 ds/m, Organic matter = 1.22%, Sand=72%, Clay=17%, Silt=11%, P=48 mg/kg, K=620 mg/kg, N=0.06%) پر شده بود، کشت شدند. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر کشت شد که بعد از جوانه‌زنی و در مرحله شروع پنجه‌دهی به ۵ بوته در هر گلدان تنک گردید. گلدان‌ها بسته به نیاز و شرایط گلخانه‌ای هر ۵-۴ روز یک‌بار آبیاری شدند. اعمال تنش در مرحله گلدهی از طریق اندازه‌گیری FC خاک گلدان با دستگاه صفحه فشاری تعیین شد و در تیمارهای تنش کم‌آبیاری، آبیاری گلدان‌ها درFC ۵۰ درصد انجام شد. گلدان‌ها به ترتیب در دمای ۲۵ و ۱۶ درجه سانتی‌گراد روز و شب، ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری و بعد از رشد مناسب بوته‌ها در مرحله روزت ورنالیزه شدند. نور موردنیاز گلخانه به‌صورت مصنوعی با شدت ۷۰۰۰ لوکس از طریق لامپ‌های سدیمی سفید و زرد تأمین شدند. در گلخانه کود نیترات آمونیوم در سه نوبت به‌صورت محلول در آب آبیاری به گلدان‌ها داده شد. بعد از برداشت، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شد. در شرایط آبیاری مطلوب در مزرعه، ژنوتیپ‌ها بسته به نیاز و شرایط محیطی آبیاری شدند و در شرایط تنش، آبیاری از مرحله گلدهی (کد ۶۵ در مقیاس زادکس) قطع شد. هر تکرار شامل دو کرت اصلی و هر کرت اصلی شامل ۳۰ کرت فرعی بود. در

هر کرت فرعی چهار ردیف از هر ژنوتیپ کاشته شد. طول خطوط کاشت دو متر و فاصله بین بذور دو سانتی‌متر منظور شد. فاصله بین خطوط کاشت ۱۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در فصل بهار و تابستان، آبیاری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش تا مرحله گلدهی به‌صورت یکسان و با دور آبیاری ۱۰ روزه انجام شد. در شرایط تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا انتهای دوره رشد گیاه اعمال گردید. اقلیم منطقه طبق تقسیم‌بندی دومارتن از نوع نیمه‌خشک و سرد با بارندگی ۲۲۶ میلی‌متر در طول سال زراعی اجرای آزمایش بود.

بعد از برداشت مزرعه، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شد. شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند:

شاخص عملکرد[1] (Gavuzzi et al., 1997):

$$YI = \frac{Y_S}{\overline{Y}_S} \qquad [1]$$

شاخص حساسیت تنش[2] (Fischer and Maurer, 1978)

$$SSI = \frac{1-(Y_S / Y_P)}{1-(\overline{Y}_S / \overline{Y}_P)} \qquad [2]$$

شاخص تحمل[3] (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_P - Y_S \qquad [3]$$

میانگین محصول‌دهی[4] (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2} \qquad [4]$$

میانگین هندسی محصول‌دهی[5] (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{(Y_S).(Y_P)} \qquad [5]$$

شاخص پایداری عملکرد[6] (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P} \qquad [6]$$

شاخص تحمل تنش[7] (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{(Y_P).(Y_S)}{(\overline{Y}_P)^2} \qquad [7]$$

در معادلات بالا Y_P و Y_S به ترتیب عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، $\overline{Y}_P$ و $\overline{Y}_S$ به ترتیب میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی هستند.

تجزیه واریانس عملکرد دانه با استفاده از نرم‌افزار SAS9.1، شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از EXCEL2017 محاسبه شد. برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward و یا UPGMA استفاده شد. برای تعیین نقطه برش در دندروگرام، از تجزیه تابع تشخیص استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی تحت شرایط گلخانه‌ای

نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد بین ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در سطح مزرعه و گلخانه نشان داد. برای تعیین حساسیت و یا مقاومت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، شاخص‌های SSI، TOL، GMP، MP، STI، HMP، YI و YSI مورداستفاده قرار گرفتند (جدول ۱). نتایج ارزیابی گلخانه نشان داد بر اساس شاخص SSI، ژنوتیپ‌های اروم و حیدری به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های cd-11، c-93-11 و c-93-5 به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ شناخته شدند. بر اساس شاخص TOL ژنوتیپ‌های c-94-3، cd-9 و cd-3 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ معرفی شدند. این نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها ازلحاظ حساسیت به تنش خشکی تنوع ژنتیکی وجود دارد و می‌توان از این تنوع در برنامه‌های اصلاحی بهره برد. طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) گزینش بر اساس SSI باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه پایین در شرایط نرمال و عملکرد بالا تحت شرایط تنش می‌شود؛ بنابراین یکی از عیب‌های مهم شاخص‌های TOL و SSI این است که این دو شاخص توانایی تمایز ژنوتیپ‌های گروه A و گروه D را ندارند. بر اساس شاخص GMP ژنوتیپ‌های اروم، c-93-8، c-94-3 و cd-3 و بر اساس شاخص MP ژنوتیپ‌های اروم، c-94-3، c-93-8 و cd-3 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شدند. بر اساس شاخص

[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)

STI ژنوتیپ‌های اروم، c-93-8، cd-3 و cd-5 به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ c-93-11 به‌عنوان حساس‌ترین و ازنظر شاخص HMP، ژنوتیپ‌های اروم، c-93-8، cd-3 و cd-5 به‌عنوان متحمل‌ترین ارزیابی شد. همچنین ازنظر شاخص YI ژنوتیپ‌های اروم، حیدری، c-93-8 و cd-5 به‌عنوان متحمل‌ترین و بر اساس شاخص YSI، ژنوتیپ‌های اروم، حیدری و c-93-8 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها ارزیابی شدند. YSI همان‌طور که توسط بوسلاما و شاپاک (Bouslama and Schapaugh, 1984) عنوان شد، عملکرد یک رقم را تحت شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش ارزیابی می‌کند و می‌تواند یک شاخص تحمل به خشکی در مواد ژنتیکی باشد؛ بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می‌رود که تحت هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند. گاوزی و همکاران (Gavuzzi et al., 1997) بیان کردند YI، ارقام را فقط بر اساس عملکرد تحت شرایط تنش (YS) رتبه‌بندی می‌کند و بنابراین ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط تنش و غیر تنش را تشخیص نمی‌دهد (جدول ۱).

جدول ۱. متوسط مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های موردمطالعه گندم بر اساس عملکرد دانه در گلخانه

Table 1. Average values of drought tolerance indices in studied genotypes of wheat based on grain yield in greenhouse.

ژنوتیپ‌ها Genotypes	YP	YS	TOL	MP	GMP	HMP	STI	SSI	YI	YSI
cd-1	7.926	1.880	6.046	4.903	3.860	3.039	0.263	1.017	0.998	0.237
cd-2	7.848	2.114	5.734	4.981	4.073	3.331	0.293	0.974	1.122	0.269
cd-3	8.775	2.205	6.570	5.490	4.399	3.524	0.341	0.999	1.170	0.251
cd-4	8.227	2.047	6.180	5.137	4.103	3.278	0.297	1.002	1.086	0.249
cd-5	8.239	2.160	6.079	5.200	4.219	3.423	0.314	0.984	1.146	0.262
cd-6	8.304	1.833	6.471	5.069	3.902	3.004	0.269	1.039	0973	0.221
cd-7	7.450	1.927	5.523	4.688	3.789	3.062	0.253	0.989	1.023	0.259
cd-8	7.023	1.600	5.423	4.311	3.352	2.606	0.198	1.030	0.849	0.228
cd-9	8.461	1.693	6.768	5.077	3.784	2.821	0.253	1.067	0.898	0.200
cd-10	6.548	1.524	5.024	4.036	3.159	2.473	0.176	1.023	0.809	0.233
cd-11	7.297	1.303	5.993	4.300	3.084	2.212	0.168	1.096	0.692	0.179
c-93-3	7.297	1.908	5.388	4.603	3.732	3.025	0.246	0.985	1.013	0.262
c-93-4	7.503	1.903	5.599	4.703	3.779	3.036	0.252	0.995	1.010	0.254
c-93-5	7.394	1.389	6.005	4.392	3.205	2.339	0.181	1.083	0.737	0.188
c-93-6	7.088	1.975	5.113	4.531	3.741	3.089	0.247	0.962	1.048	0.279
c-93-7	7.177	1.970	5.207	4.573	3.760	3.091	0.249	0.968	1.046	0.275
c-93-8	7.967	2.505	5.462	5.236	4.467	3.812	0.352	0.914	1.330	0.314
c-93-9	6.957	1.931	5.026	4.444	3.665	3.023	0.237	0.964	1.025	0.278
c-93-10	6.898	1.618	5.280	4.258	3.340	2.621	0.197	1.021	0.859	0.235
c-93-11	6.450	1.164	5.286	3.807	2.740	1.972	0.132	1.093	0.618	0.180
c-94-3	9.003	2.095	6.908	5.549	4.343	3.399	0.333	1.023	1.112	0.233
c-94-4	7.373	1.883	5.489	4.628	3.726	3.000	0.245	0.993	1.000	0.255
c-94-6	7.358	1.740	5.618	4.549	3.578	2.817	0.226	1.018	0.924	0.237
c-94-7	7.095	1.831	5.264	4.463	3.604	2.911	0.229	0.992	0.972	0.259
c-94-8	7.301	1.532	5.769	4.416	3.344	2.532	0.197	1.054	0.813	0.210
c-94-9	6.820	1.663	5.157	4.242	3.368	2.674	0.200	1.008	0.883	0.244
MV 17	6.898	1.628	5.270	4.263	3.350	2.634	0.198	1.019	0.864	0.236
Heydari	6.905	2.217	4.688	4.561	3.912	3.360	0.270	0.906	1.177	0.321
Mihan	7.978	2.069	5.909	5.024	4.063	3.286	0.291	0.988	1.098	0.259
Eroum	8.323	3.215	5.108	5.469	5.173	4.638	0.472	0.819	1.706	0.386

به‌طورکلی در اکثر موارد ارزیابی، ژنوتیپ‌های اروم و c-93-8 به‌عنوان متحمل‌ترین و c-93-11 و cd-11 به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط گلخانه شناسایی شدند.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی تحت شرایط مزرعه‌ای

برای تعیین حساسیت و یا مقاومت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی، شاخص‌های SSI، TOL، GMP، MP، STI، HMP، YI و YSI مورداستفاده قرار گرفتند (جدول ۲). بر اساس شاخص SSI ژنوتیپ‌های c-93-10، c-94-4، cd-2 و cd-1 به ترتیب به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های cd-4، cd-6، حیدری و اروم به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بر اساس شاخص TOL ژنوتیپ‌های c-94-4، cd-2،cd-8 و c-93-10 و بر اساس شاخص GMP ژنوتیپ‌های میهن، c-94-3، cd-1، c-93-10 و MV 17 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی گردیدند.

جدول ۲. متوسط مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های موردمطالعه گندم بر اساس عملکرد دانه در مزرعه

Table 2. Average values of drought tolerance indices in wheat genotypes based on grain yield in the field

ژنوتیپ‌ها Genotypes	YP	YS	TOL	MP	GMP	HMP	STI	SSI	YI	YSI
cd-1	331.460	249.610	81.850	290.535	287.638	284.770	0.746	0.536	1.389	0.753
cd-2	296.348	226.273	70.075	261.310	258.950	256.612	0.604	0.513	1.259	0.764
cd-3	403.898	165.035	238.863	284.466	258.181	234.324	0.601	1.284	0.919	0.409
cd-4	376.123	104.360	271.763	240.241	198.122	163.386	0.354	1.569	0.581	0.278
cd-5	338.160	203.685	134.475	270.923	262.446	254.236	0.621	0.863	1.134	0.602
cd-6	297.710	108.885	188.825	203.298	180.045	159.452	0.292	1.377	0.606	0.366
cd-7	296.260	206.960	89.300	251.610	247.617	243.687	0.553	0.654	1.152	0.699
cd-8	266.373	188.085	72.288	227.229	223.832	220.486	0.452	0.638	1.047	0.706
cd-9	367.423	169.785	197.638	268.604	249.766	232.249	0.562	1.168	0.945	0.462
cd-10	307.710	181.710	126.000	244.710	236.461	228.491	0.504	0.889	1.011	0.591
cd-11	328.073	183.323	144.750	255.698	245.241	235.212	0.542	0.958	1.020	0.559
c-93-3	347.723	171.435	176.288	259.579	244.155	229.648	0.537	1.101	0.954	0.493
c-93-4	243.673	127.860	115.813	185.766	176.511	167.716	0.281	1.032	0.712	0.525
c-93-5	315.698	197.123	118.575	256.410	249.462	242.701	0.561	0.815	1.097	0.624
c-93-6	291.360	142.185	149.175	216.773	203.536	191.108	0.373	1.112	0.791	0.488
c-93-7	229.435	146.810	82.625	188.123	183.530	179.050	0.304	0.782	0.817	0.640
c-93-8	265.673	182.185	83.488	223.929	220.004	216.147	0.436	0.682	1.014	0.686
c-93-9	315.948	197.498	118.450	256.723	249.798	243059	0.562	0.814	1.099	0.625
c-93-10	318.310	247.360	70.950	282.835	280.601	278.385	0.710	0.484	1.377	0.777
c-93-11	263.623	178.610	91.013	224.116	219.448	214.876	0.434	0.733	0.994	0.662
c-94-3	437.310	191.085	246.225	314.198	289.073	265.958	0.753	1.222	1.063	0.437
c-94-4	290.448	225.560	64.888	258.004	255.956	253.924	0.590	0.485	1.255	0.777
c-94-6	346.710	156.198	190.513	251.454	232.713	215.369	0.488	1.193	0.869	0.451
c-94-7	359.835	172.773	187.063	226.304	249.338	233.454	0.560	1.129	0.962	0.480
c-94-8	344.635	157.210	187.425	250.923	232.766	215.924	0.488	1.181	0.875	0.456
c-94-9	406.923	183.510	223.413	295.216	273.266	252.948	0.673	1.192	1.021	0.451
MV 17	397.785	200.248	197.538	299.016	282.232	266.392	0.718	1.078	1.114	0.503
Heydari	427.310	152.410	274.900	289.860	255.199	224.682	0.587	1.397	0.848	0.357
Mihan	389.760	232.698	157.063	311.229	301.158	291.413	0.817	0.875	1.295	0.597
Eroum	385.585	139.910	245.675	262.748	232.265	205.320	0.486	1.383	0.779	0.363

بر اساس شاخص MP نیز ژنوتیپ‌های c-94-3، میهن، MV 17، c-94-9 و cd-1 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. همچنین این شاخص، ژنوتیپ‌های c-93-4 و c-93-7 را به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ معرفی نمود. بر اساس شاخص STI ژنوتیپ‌های میهن، c-94-3، cd-1، MV 17 و c-93-10 به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های c-93-4

و cd-6 به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ معرفی شدند (جدول ۲). گزینش بر اساس شاخص MP معمولاً موجب تمایز ژنوتیپ‌های دارای میانگین عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و نرمال از سایر ژنوتیپ‌ها خواهد شد (Mohammadi et al., 2006). شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) که توسط فرناندز (Fernandez, 1992) معرفی‌شده‌اند، قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط می‌باشند؛ بنابراین شاخص مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش محسوب می‌شوند. بر اساس شاخص HMP ژنوتیپ‌های cd-6، cd-4 و c-93-4 به‌عنوان حساس‌ترین و ژنوتیپ‌های میهن، cd-1، c-93-10، MV 17 و c-94-3 بر اساس شاخص HMP به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل ارزیابی شدند. بر اساس شاخص YI ژنوتیپ‌های cd-1، c-93-10، میهن، c-94-4 و cd-2 به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های cd-4، cd-6، اروم و c-93-4 به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ شناخته شدند (جدول ۲). ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس این شاخص دارای میانگین YI بیشتر می‌باشند. بر اساس شاخص YSI، نیز ژنوتیپ‌های c-94-4، c-93-10، cd-2 و cd-1 به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های cd-4، cd-6 و اروم با YSI پایین به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ ارزیابی شدند. YSI که توسط بوسلاما و شاپاک (Bouslama and Schapaugh, 1984) عنوان شد، عملکرد یک رقم را تحت شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش ارزیابی می‌کند و می‌تواند یک شاخص تحمل به خشکی در مواد ژنتیکی باشد؛ بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می‌رود که تحت هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند. صبا و همکاران (Saba et al., 2001) با بررسی وراثت شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی و صفات مرتبط با آن در گندم گزارش کردند که وراثت‌پذیری عمومی و خصوصی برای SSI ناچیز، برای TOL پایین و برای MP، GMP و STI متوسط است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که گزینش برای مقاومت به خشکی بر اساس MP، GMP و STI مؤثرتر از استفاده از TOL و SSI باشد. با توجه به مطالب فوق، شاخص‌های STI، GMP، HMP و MP به‌عنوان مناسب‌ترین و مطلوب‌ترین شاخص ارزیابی مقاومت به خشکی شناسایی شدند، زیرا تفکیک ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های فوق بهتر از سایر شاخص‌ها بود.

یافته‌های جدول ۲ نشان داد تحت شرایط مزرعه در اکثر موارد ژنوتیپ‌های cd-4، cd-6 وc-93-4 به‌عنوان حساس‌ترین و میهن، cd-1 و c-93-10 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی هستند.

تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در گلخانه

تجزیه خوشه‌ای ۳۰ ژنوتیپ بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی و با استفاده از روش WARD و بر مبنای توان دوم فاصله اقلیدسی انجام شد (شکل ۱). بر مبنای تجزیه تابع تشخیص، بیشترین تمایز بین گروهی در حالت چهار خوشه‌ای با برش دندروگرام حاصل در فاصله ۴/۵ واحد به دست آمد و حداکثر اختلاف بین گروه‌های به وجود آمده ازلحاظ تابع اول دیده شد (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه تابع تشخیص کانونیک برای تعیین نقطه برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم موردمطالعه تحت شرایط تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 3. Analysis of the canonical detection function for determining the cutting point of dendrograms obtained from cluster analysis of wheat genotypes under drought stress conditions at flowering stage based on drought tolerance indices

تعداد گروه Group number	سطح احتمال probe	Wilk's Lambda	همبستگی کانونیک Canonical correlation	درصد واریانس تراکمی Cumulative variance%	درصد واریانس Variance%	مقادیر ویژه Eigine Values
	0.0000	0.014	0.952	72.3	72.3	9.611
4	0.0000	0.147	0.865	94.6	22.4	2.973
	0.000021	0.583	0.646	100	5.4	0.715

برای نشان دادن ارزش هر یک از خوشه‌ها ازلحاظ شاخص‌های تحمل به خشکی، درصد انحراف میانگین هر یک از خوشه‌ها از میانگین کل محاسبه شد (جدول ۴). خوشه‌ای که در مورد شاخص‌های SSI و TOL میانگین پایین‌تری نسبت به میانگین کل داشته باشد و یا در مورد شاخص‌های STI، MP، GMP، HMP، YI و YSI، میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل داشته باشد، برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر مناسب خواهد بود. خوشه اول شامل ۱۰ ژنوتیپ بود. درصد انحراف از میانگین این خوشه برای کلیه شاخص‌ها مثبت و بیشتر بود ولی در مورد شاخص‌های SSI و YSI درصد انحراف از میانگین کل صفر بود؛ بنابراین ژنوتیپ‌های این گروه ازنظر شاخص‌های SSI، YSI، MP، GMP، YI، HMP و STI متحمل به کم‌آبی می‌باشند.

در خوشه دوم ۱۰ ژنوتیپ قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های این گروه ازنظر YP و شاخص‌های TOL، MP، GMP، STI و SSI ارزشی کمتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها را داشتند. ولی ازلحاظ YS و شاخص‌های HMP، YI و YSI ارزشی بیشتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها را دارا بودند. ژنوتیپ‌های این گروه تحت شرایط نرمال دارای میانگین عملکرد دانه کمتر از میانگین کل و تحت شرایط تنش خشکی دارای میانگین عملکرد دانه بیشتر از میانگین کل بودند. خوشه سوم فقط شامل ژنوتیپ اروم بود. این خوشه ازلحاظ YP و YS (به ترتیب عملکرد تحت شرایط نرمال و تنش) و شاخص‌های MP، GMP، HMP، YI،STI و YSI بیشترین درصد انحراف از میانگین کل مثبت را داشت ولی در مورد شاخص‌های SSI و TOL بیشترین درصد انحراف از میانگین کل منفی را داشت.

جدول ۴. میانگین گروه‌ها و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در گلخانه

Table 4. Average of groups and their percentage deviation from the total average in 30 bread wheat genotypes based on drought tolerance indices in the greenhouse

ژنوتیپ Genotype	گروه Group		Y_P	Y_S	TOL	MP	GMP	HMP	STI	SSI	YI	YSI
cd-4, cd-5, cd-2, Mihan, cd-1, c-93-8, cd-6, cd-9, cd-3, c-94-3	1	Mean میانگین	8.273	2.060	6.213	5.167	4.121	3.292	0.301	1.001	1.093	0.250
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	9.882	9.342	10.06	9.773	9.776	9.697	18.97	-	9.3	-
cd-7, c-93-4, c-93-3, c-94-4, c-94-6, c-93-6, c-93-7, c-93-9, c-94-7, Heydari,	2	Mean میانگین	7.220	1.929	5.292	4.574	3.729	3.041	0.245	0.977	1.024	0.268
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	-4.10	2.39	-6.25	-2.83	-0.66	1.33	-3.16	-2.39	2.4	7.2
Eroum	3	Mean میانگین	8.323	3.215	5.108	5.769	5.173	4.638	0.472	0.819	1.706	0.386
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	10.55	70.65	-9.51	22.56	37.80	54.55	86.56	-18.2	70.6	54.4
c-93-10, MV 17, c-94-9, cd-8, cd-10, c-93-11, cd-11, c-93-5, c-94-8	4	Mean میانگین	6.959	1.491	5.467	4.225	3.216	2.451	0.183	1.048	0.792	0.215
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	-7.57	-20.8	-3.15	-10.2	-14.3	-18.3	-27.7	4.695	-20.8	-14
میانگین کل Total Mean			7.533	1.884	5.645	4.707	3.754	3.001	0.253	1.001	1.000	0.250

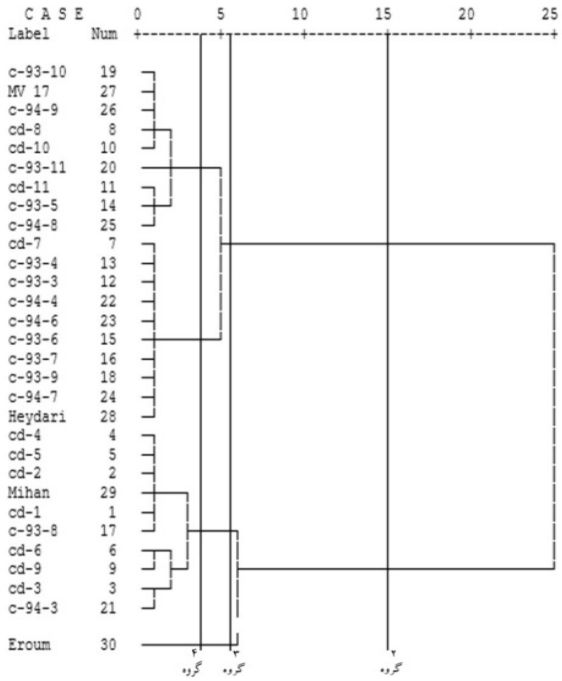
در خوشه چهارم ۹ ژنوتیپ قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های این گروه تقریباً ازلحاظ اکثر شاخص‌های مقاومت به خشکی، YP و YS حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش کم‌آبی شناسایی شدند. با توجه به نتایج فوق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تحت شرایط گلخانه‌ای ژنوتیپ اروم متحمل‌ترین ژنوتیپ و ژنوتیپ‌های c-93-10، MV 17، c-94-9، cd-8، cd-10، c-93-11، cd-

11، c-93-5 و c-94-8 حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی هستند. از سوی دیگر تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی در گلخانه، ژنوتیپ گروه سوم (اروم) و در مرتبه بعدی ژنوتیپ‌های موجود در گروه یک دارای بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های گروه چهارم (c-93-10، MV 17، c-94-9، cd-8، cd-10، c-93-11، cd-11، c-93-5 و c-94-8) دارای کمترین عملکرد دانه بودند.

تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در مزرعه

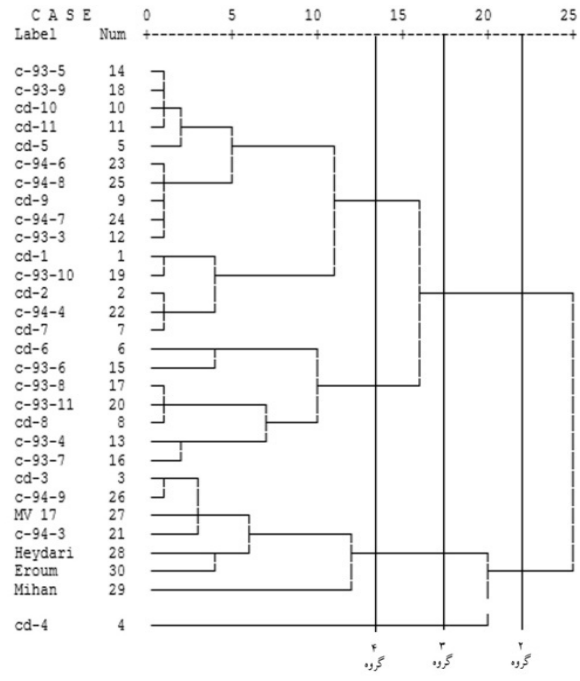
تجزیه خوشه‌ای ۳۰ ژنوتیپ بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و با استفاده از روش UPGMA و بر مبنای فاصله اقلیدسی انجام شد (شکل ۲).

بر مبنای تجزیه تابع تشخیص، بیشترین تمایز بین گروهی در حالت چهار خوشه‌ای با برش دندروگرام در فاصله ۱۴ واحد به دست آمد (جدول ۵).



شکل ۱ .دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان به روش WARD در گلخانه

Fig. 1. Dendrogram of cluster analysis based on drought tolerance indices in 30 bread wheat genotypes by WARD method in greenhouse



شکل ۲ .دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان به روش UPGMA در مزرعه

Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis based on drought tolerance indices in 30 bread wheat genotypes by UPGMA method in field

برای نشان دادن ارزش هر یک از خوشه‌ها ازلحاظ شاخص‌های مقاومت به خشکی، درصد انحراف میانگین هر یک از خوشه‌ها از میانگین کل محاسبه شد (جدول ۶). خوشه‌ای که در مورد شاخص‌های SSI و TOL میانگین پایین‌تری نسبت به میانگین کل داشته باشد و یا در مورد شاخص‌های STI، MP، GMP، HMP، YI و YSI میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل داشته باشد، برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر مناسب خواهد بود. با توجه به نتایج جدول ۶ می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تحت شرایط مزرعه‌ای، ژنوتیپ cd-4 و ژنوتیپ‌های گروه چهارم (cd-6، c-93-6، c-93-8، c-93-11، cd-8، c-93-4 و c-93-7) حساس‌ترین ژنوتیپ و ژنوتیپ‌های گروه اول (cd-7، c-94-4، cd-2، c-93-5، c-93-9، cd-10، cd-11، cd-5، c-94-6، c-94-8، cd-9، c-94-7، cd-1، c-93-3 و c-93-10) بر اساس اکثر شاخص‌ها و ژنوتیپ‌های گروه دوم (حیدری، اروم، میهن، cd-3، c-94-9، MV 17، c-94-3) بر اساس شاخص‌های MP، GMP، HMP و STI متحمل‌ترین ژنوتیپ هستند.

جدول ۵. تجزیه تابع تشخیص کانونیک برای تعیین نقطه برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های موردمطالعه تحت شرایط تنش خشکی در مرحله شروع گلدهی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در مزرعه

Table 5. Analysis of canonical detection function for determining the cutting point of dendrograms obtained from cluster analysis of wheat genotypes under drought stress conditions at flowering stage based on drought tolerance indices in the field

تعداد گروه Group number	سطح احتمال Probe	Wilk's Lambda	همبستگی کانونیک Canonical correlation	درصد واریانس تراکمی Cumulative variance%	درصد واریانس Variance%	مقادیر ویژه Eigine value
	0.0000000	0.042	0.936	80.9	80.9	7.125
4	0.00000184	0.345	0.779	98.4	17.6	1.546
	0.06823	0.878	0.35	100	1.6	1.39

جدول ۶. میانگین گروه‌ها و درصد انحراف آن‌ها از میانگین کل در ۳۰ ژنوتیپ گندم نان بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در مزرعه

Table 6. Average of groups and their percentage of deviation from total average in 30 bread wheat genotypes based on drought tolerance indices in the field

ژنوتیپ Genotype	گروه Group		Y_P	Y_S	TOL	MP	GMP	HMP	STI	SSI	YI	YSI
cd-7, c-94-4, cd-2, c-93-5, c-93-9, cd-10, cd-11, cd-5, c-94-6, c-94-8, cd-9, c-94-7, cd-1, c-93-3, c-93-10	1	میانگین Mean	326.98	196.44	130.55	261.71	252.19	243.18	0.575	0.852	1.09	0.601
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	-1.84	9.33	-14.92	2.071	3.938	5.712	6.481	-12.26	9.3	9.946
cd-3 ،c-94-9، MV 17 ،c-94-3 ، Heydari, Mihan, Eroum	2	میانگین Mean	406.94	180.71	226.25	293.82	270.19	248.72	0.662	1.205	1.006	0.444
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	22.164	0.568	47.453	14.597	11.356	8.118	22.593	24.099	0.6	-19.53
cd-4	3	میانگین Mean	376.13	104.36	271.77	240.24	198.12	163.38	0.354	1.569	0.581	0.277
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	12.915	-41.92	77.123	-6.301	-18.35	-28.98	-34.44	61.59	-41.9	-49.73
cd-6 ،c-93-6، c-93-8 ،c-93-11 ، cd-8 ،c-93-4 ،c-93-7	4	میانگین Mean	266.26	153.51	112.75	209.89	200.98	192.69	0.367	0.908	0.854	0.577
		انحراف از میانگین کل ٪ Deviation from total average%	-20.66	-14.57	-26.52	-18.14	-17.17	-16.24	-32.037	-6.488	-14.6	5.425
میانگین کل Total Mean			333.105	179.68	153.44	256.39	242.64	230.04	0.540	0.971	1	0.539

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه برای معرفی متحمل‌ترین رقم به تنش استفاده از یک شاخص به‌قدر کافی کارآمد نیست، بر این اساس، نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تمام شاخص‌ها نشان داد که ژنوتیپ اروم و نیز تا حدودی ژنوتیپ‌های cd-4، cd-5، cd-2، میهن، cd-1، c-93-8، cd-6، cd-9، cd-3

و c-94-3 با توجه به SSI پایین و YP، YS، MP، GMP، HMP، STI، YI و YSI بالا به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ تحت شرایط گلخانه‌ای بودند. همچنین ژنوتیپ‌های cd-7، c-94-4، cd-2، c-93-5، c-93-9، cd-10، cd-11، cd-5، c-94-6، c-94-8، cd-9، c-94-7، cd-1، c-93-3 و c-93-10 با توجه به اکثر شاخص‌ها، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط مزرعه‌ای بودند و در کل ژنوتیپ‌های cd-1، cd-2، cd-5 و cd-9 تحت هر دو شرایط ارزیابی (گلخانه و مزرعه) در برنامه‌های به‌نژادی برای تولید ارقام با تحمل بالا به تنش کم‌آبی آخر فصل قابل‌استفاده به نظر می‌رسند.

منابع

Bouslama, M., Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybeans. I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance1. Crop Science. 34, 933-937.

Emam, Y., 2011. Cereal Crop Production. 4th Edition. Shiraz University Press. 190 pages. [In Persian].

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, 897-912.

Gasemi, M., 2017. Wheat cultivars of tolerance to end season drought stress in Ardabil plain. Agricultural research center, Ardabil. [In Persian with English summary].

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L. and Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter ceraeals. Canadian Journal of Plant Science. 77, 523-531.

Mohammadi R., Haghparast R., Aghaee-Sarbarzeh M., Abdollahi A., 2006. Evaluation of drought tolerance of advanced durum wheat genotypes based on physiological criteria and related traits. Journal of Agricultural Science. Iran, 3, 563-575. [In Persian with English summary].

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, 32-19.

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, 45-62. [In Persian with English summary].

Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment1. Crop Science. 21, 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, 57-71. [In Persian with English summary].

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

SPII. 2015. Report of wheat breeding program result during 2014-2015. Cereal Research Division, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. [In Persian with English summary].

SPII. 2016. Report of wheat breeding program result during 2015-2016. Cereal Research Division, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. [In Persian with English summary].

Zabarjadi, 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, 1-12. [In Persian with English summary].