

ارزیابی ژنوتیپ‌های یولاف زراعی (*Avena sativa* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل خشکی

صحبت بهرامی نژاد^{۱*}، رضوان کشوری^۲، رضا امیری^۳

۱. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات و گروه پژوهشی بیوتکنولوژی مقاومت به خشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه.
۲. فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه.
۳. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه.

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۲۹

چکیده

یولاف به‌عنوان یکی از غلاتی که در اغلب نقاط دنیا کشت می‌گردد، دارای خواص غذایی و دارویی بسیاری است و این ظرفیت را دارد که در ایران نیز به‌طور اقتصادی کشت و کار شود، اما همانند بسیاری دیگر از محصولات زراعی تنش خشکی می‌تواند از جمله موانع توسعه و تولید مطلوب آن باشد. لذا به‌منظور مطالعه‌ی تحمل خشکی ۲۵ ژنوتیپ یولاف، مطالعه‌ای در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در شرایط تنش خشکی و نرمال رطوبتی در مزرعه‌ی تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و دارای تنش خشکی، ۱۴ شاخص مختلف تحمل و حساسیت به خشکی محاسبه شد. نتایج حاکی از وجود همبستگی معنی‌دار مثبت و بالایی بین *YI*, *STI*, *GMP*, *MP*, *K₂STI* و *K₁STI*، *HAM* با عملکرد دانه در هر دو شرایط بود که نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن آن‌ها برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی است. بر اساس تمامی محاسبات و تجزیه‌های آماری انجام شده از جمله شاخص‌ها، روش رتبه‌بندی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های *Ufrgs948886* و *Euro* به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط دارای تنش و بدون تنش خشکی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، عملکرد دانه.

مقدمه

آینده‌ای نه‌چندان دور در کنار محصولات استراتژیکی همچون گندم، بخشی از غذای مردم را تأمین نمایند. یولاف زراعی (*Avena sativa* L.) با نام انگلیسی Oat گیاهی است که در اغلب نقاط دنیا برای تغذیه انسان و دام بکار می‌رود (Peterson et al., 2005; Achleitner et al., 2008; Nirmalakumari et al., 2013). این محصول زراعی همواره یکی از هشت محصول مهم زراعی شناخته‌شده در دنیا است (Walsh et al., 2003). بر اساس آمار فائو (FAO, 2013)، در سال ۲۰۱۳ بیش از ۹/۷۵ میلیون هکتار زیر کشت یولاف بوده است که با میانگین عملکرد حدود ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، تولیدی معادل ۲۳/۳ میلیون تن به‌دست‌آمده است. بیشترین سطح زیر

با توجه به این واقعیت که جمعیت جهان به شکل روزافزونی در حال افزایش است و پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش آن به نه میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ (FAO, 2006) می‌باشد، کمبود منابع غذایی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشدید خواهد شد (Moori et al., 2012). در ایران نیز مطابق پیش‌بینی‌های انجام شده، جمعیت در سال ۱۴۰۰ از مرز ۱۲۰ میلیون نفر تجاوز خواهد کرد (Emam, 2011). در این صورت تأمین غذای این جمعیت با مشکلات فراوانی همراه خواهد بود. بنابراین باید به دنبال یافتن راه‌کارهای مناسبی جهت غلبه بر این مشکل بود. یکی از این راه‌کارها، اصلاح و سازگار کردن گیاهانی است که شاید بتوانند در

مناطقى چون کرمانشاه که جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌گردد، غلات پاییزه از جمله یولاف از اواسط بهار و معمولاً در مراحل انتهایی فصل رشد با تنش خشکی مواجه شده و کاهش چشم‌گیری در عملکرد آنها به وقوع می‌پیوندد. از این رو، بررسی پاسخ یولاف به خشکی و شناسایی معیارها و شاخص‌هایی مناسب که با پایداری عملکرد در شرایط تنش مرتبط هستند، یک ضرورت است. از آنجا که بررسی اثرات تنش خشکی و یافتن ارقام متحمل‌تر و پایداری محصولات زراعی از جمله یولاف، از ملزومات برنامه‌های توسعه و اصلاح این گیاهان زراعی می‌باشد، پژوهش حاضر به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های یولاف متحمل به تنش خشکی و نیز انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه‌ی تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی روی ۲۵ ژنوتیپ یولاف زراعی تهیه شده از بانک بذر استرالیای جنوبی^۲ (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی اجرا شد. کاشت در سوم آبان ۱۳۹۱ به صورت دستی انجام گرفت. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول دو متر با تراکم کاشت ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. تنش خشکی در اواخر اردیبهشت ۱۳۹۲ و در مرحله پس از گرده‌افشانی در شرایط دارای تنش اعمال شد که تا مرحله برداشت تداوم یافت ضمن آنکه در بازه زمانی اجرای تیمار قطع آبیاری هیچ‌گونه بارندگی روی نداد (شکل ۱)، اما شرایط بدون تنش تا زمان رسیدن فیزیولوژیک در سه نوبت مورد آبیاری قرار گرفت. در طول اجرای طرح از هیچ نوع کودی استفاده نشد و کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. برداشت در اواخر تیرماه سال ۱۳۹۲ صورت گرفت.

محاسبه شاخص‌ها

به منظور ارزیابی تحمل و یا حساسیت به خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تعداد ۱۴ شاخص تحمل و

کشت و تولید مربوط به کشورهای توسعه‌یافته‌ای همچون روسیه (مجموعه کشورهای شوروی سابق)، کانادا، استرالیا، فنلاند و ... می‌باشد. متأسفانه ایران از نظر تولید یولاف در جهان جایگاهی ندارد و این در حالی است که این گیاه زراعی در کشورهای همسایه ایران همانند ترکیه، ارمنستان، آذربایجان و حتی عراق نیز کشت‌وکار می‌شود. در حال حاضر تقاضای جهانی مصرف یولاف به دلیل مزایای تغذیه‌ای فراوان آن و نقش در سلامتی انسان رو به افزایش است (Buerstmayr et al., 2007; Achleitner et al., 2008; Nirmalakumari et al., 2013). دانه و آرد یولاف در نقاط مختلفی از جهان بخصوص در کشورهای توسعه‌یافته استفاده‌های فراوانی دارد. هرچند در مقایسه با گندم و جو، یولاف دارای ماده تولیدی کمتری در واحد سطح است، اما دارای ارزش تغذیه‌ای بیشتری برای انسان است. دانه یولاف از نظر پروتئین و بتاگلوکان^۱ که به عنوان کاهش‌دهنده غلظت کلسترول خون شناخته می‌شود، بسیار غنی می‌باشد (Becher, 2007). همچنین از یولاف در مصارف داروسازی و تهیه مواد آرایشی بهداشتی استفاده می‌شود به طوری که اهمیت آن در صنایع بیوشیمیایی رو به فزونی بوده (Tiwari and Cummins, 2009) و از این گیاه به عنوان یک محصول مناسب در آینده‌ی صنایع مرتبط با کشاورزی در بسیاری از کشورهای جهان یاد می‌شود (Jelic et al., 2013).

از آنجا که سطح زیر کشت یولاف بسیار کمتر از سایر غلات می‌باشد، تلاش‌های چندان زیادی که جنبه اقتصادی نیز داشته باشد در جهت اصلاح آن صورت نگرفته است (Nirmalakumari et al., 2013). این گیاه اگرچه به توانا بودن در تولید در شرایط محیطی نامناسب همچون اقلیم‌های سرد و مرطوب و نیز خاک‌های با حاصلخیزی پایین مشهور است (Buerstmayr et al., 2007; Ren et al., 2007; Frey and Colville, 1986). اگرچه ظاهری و بهرامی‌نژاد (Zaheri and Bahraminejad, 2012) ابراز داشتند که یولاف در شرایط آب و هوایی کرمانشاه دارای ظرفیت خوبی در تولید مناسب و قابل قبول عملکرد در هر دو شرایط آبی و دیم می‌باشد، اما از آنجا که ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2010)، معمولاً در

². SARDI

¹. β -glucan

$$[۱۳] \quad SSPI = [Y_p - Y_s / 2(\bar{Y}_p)] \times 100$$

$$[۱۴] \quad MSTI = K_1 STI, K_1 = (Y_p)^2 / (\bar{Y}_p^2) \\ \text{and } K_2 = (Y_s)^2 / (\bar{Y}_s^2)$$

$$SI = 1 - \left[\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right] \quad \text{شدت تنش}^1 \text{ برابر است با:}$$

پارامتر RS^۲ از حاصل جمع میانگین رتبه با انحراف معیار رتبه به دست آمده است (Farshadfar and Elyasi, 2012). در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه‌هایی که بیشترین درصد تغییرات را توجیه نمایند، در ترسیم بای‌پلات مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بنابراین در این مطالعه از دو مؤلفه اصلی اول برای ترسیم بای‌پلات استفاده شد که در آن به‌طور همزمان ارتباط بین کلیه شاخص‌های مختلف محاسبه شده و همچنین عملکرد دانه تحت هر دو شرایط به‌صورت گرافیکی نشان داده شده است (Gabriel et al., 1971). این دو مؤلفه تغییرات مستقلی را تبیین می‌نمایند و ژنوتیپ‌ها را بر این اساس توسط نقاطی در سطح نمودار مشخص می‌نماید. ژنوتیپ‌ها بر اساس این دو مؤلفه در گروه‌های مشخصی قرار می‌گیرند که بر مبنای میانگین عملکرد و تحمل یا حساسیت به تنش آن‌ها می‌باشد. تجزیه عملکرد و مؤلفه‌های اصلی، همبستگی، تجزیه خوشه‌ای به روش Ward و رسم نمودار سه‌بعدی با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و دیاگرام بای‌پلات به‌وسیله نرم‌افزار Statgraphics نسخه ۱۶،۱،۱۱ انجام گرفت. تجزیه کلاستر به روش Ward و با استفاده از شاخص‌هایی که با عملکرد دانه در هر دو شرایط همبستگی معنی‌داری داشتند انجام شد. نمودار مربوط به وضعیت آب و هوایی سال زراعی اجرای آزمایش، با استفاده از Excel 2007 رسم گردید.

نتایج و بحث

ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی

بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین عملکرد دانه همه‌ی ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و دارای تنش به ترتیب برابر ۸۰۰۴ و ۵۶۱۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و بدان معنی است که عملکرد دانه در اثر تنش خشکی ۲۹/۸۷

حساسیت به خشکی بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با استفاده از روابط نقل شده توسط امیری و همکاران (Amiri et al., 2014) و به‌صورت زیر محاسبه شد که در تمامی آن‌ها عبارات تعریف شده‌ی زیر صدق می‌کند:

Y_p و Y_s : به ترتیب عملکرد بالقوه‌ی هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش و تنش خشکی؛

\bar{Y}_s و \bar{Y}_p : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و تنش خشکی

$$[۱] \quad SSI = \frac{1 - (Y_s/Y_p)}{1 - \left[\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right]}$$

$$[۲] \quad TOL = Y_p - Y_s$$

$$[۳] \quad MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$$

$$[۴] \quad GMP = \sqrt{(Y_s \times Y_p)}$$

$$[۵] \quad YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s}$$

$$[۶] \quad YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

$$[۷] \quad HAM = \frac{2(Y_s)(Y_p)}{(Y_s + Y_p)}$$

$$[۸] \quad SDI = \frac{Y_p - Y_s}{Y_p}$$

$$[۹] \quad DI = Y_s \times \left[\frac{(Y_s/Y_p)}{\bar{Y}_s} \right]$$

$$[۱۰] \quad RDI = \frac{(Y_s/Y_p)}{(\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)}$$

$$[۱۱] \quad DRI_i = \frac{Y_{act.i} - Y_{est.i}}{S. E. \text{ of } Y_{est}}$$

$$[۱۲] \quad STI = \left(\frac{Y_p}{\bar{Y}_p} \right) \left(\frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \right) \left(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right) = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\bar{Y}_p)^2}$$

¹. Stress intensity

². Rank sum

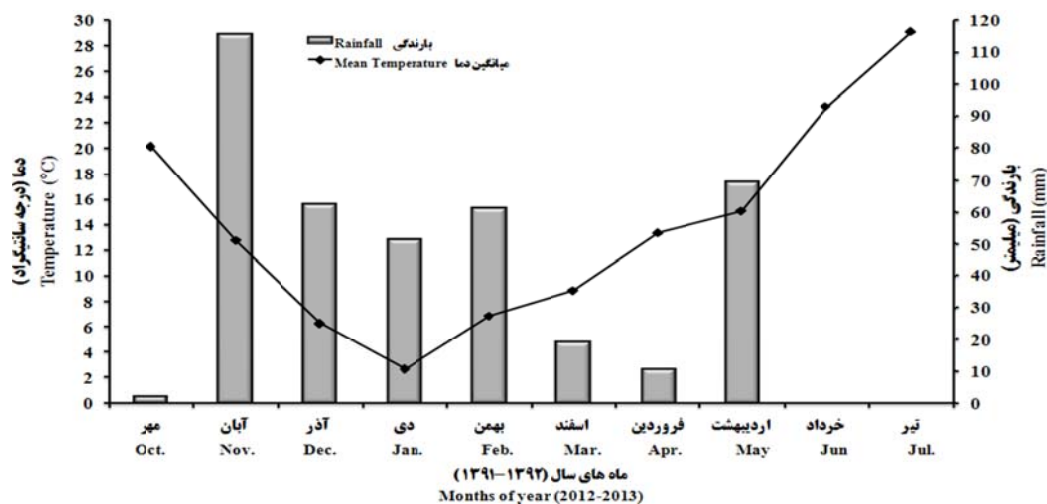
نمودند. وجود تنوع بالا میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در هردو شرایط از جدول ۲ قابل ملاحظه است. در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های شماره ۲۵، ۲۱، ۲۴، ۱۹ و ۱۵ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۲ و ۱۳ به ترتیب کمترین عملکرد دانه را داشتند.

درصد کاهش یافت و بنابراین شدت تنش محاسبه شده معادل ۰/۳ بود. جزائری و رضایی (Jazayeri and Rezai, 2006) در ارزیابی تحمل به خشکی ۲۰ ژنوتیپ یولاف، درصد کاهش میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در اثر تنش خشکی را ۴۹/۵۵ درصد و شدت تنش را ۰/۵ گزارش

جدول ۱. شماره، نام و منشأ ژنوتیپ‌های مطالعه شده

Table 1. Code, name and origin of studied genotypes

کد Code	نام Name	منشاء Origin	کد Code	نام Name	منشاء Origin
1	Ozark	Arka NPAs (USA)	14	Kalopt	Sweden
2	Ugf775456	Brazil	15	Tarahumara	Mexico
3	Wallaroo	SARDI (Aus)	16	C-1/130	Minnesota (USA)
4	Euro	SARDI (Aus)	17	Ufrgs948886	Brazil
5	Wintaroo	SARDI (SA, Aus)	18	Nasta	Finland
6	Gamitchell	Georgia (USA)	19	Brusher	SARDI (SA, Aus)
7	Potoroo	SARDI (SA, Aus)	20	Arnold	-----
8	13Zop95	Saskatchewan (Canada)	21	Quall	SARDI (Aus)
9	Mortlock	WADA (Aus)	22	AC-Assiniboia	Canada
10	OH1022	Ohio(USA)	23	Ariane INRA	France
11	IA91098-2	Iowa(USA)	24	IA91406-1	Iowa (USA)
12	42Zop95	Saskatchewan (Canada)	25	Ajay	International oat nursery
13	Swan	WADA(Aus)			



شکل ۱. مقدار بارندگی (میلی‌متر) و میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) ماهیانه در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱
Fig. 1. Monthly rainfall (mm) and mean temperature (°C) in 2012-2013 cropping season.

خشکی دارا بودند. از این نظر ژنوتیپ‌های ۷ و ۱۷ به مقدار بسیار جزئی و به ترتیب ۵/۶۸ و ۳/۴۰ درصد، افزایش نشان دادند چراکه این دو ژنوتیپ ۱۰ روز زودتر از میانگین تعداد روز تا گرده‌افشانی سایر ژنوتیپ‌ها (داده‌ها گزارش نشده‌اند) در شرایط دارای تنش گرده‌افشانی نمودند (اوایل اردیبهشت)، حال آنکه تنش خشکی در اواخر اردیبهشت اعمال شد، لذا دوره پر شدن دانه آن‌ها با تنش روبرو نشده و فرصت کافی برای پر شدن دانه را داشته‌اند.

ژنوتیپ‌های شماره ۱۷، ۲۱، ۷، ۴، ۱۵ و ۲۴ به ترتیب بیشترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۱، ۱۴ و ۱۸ به ترتیب کمترین عملکرد دانه را در شرایط دارای تنش داشتند؛ بنابراین، ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۴ و ۱۵ بهترین و ژنوتیپ ۱۴ ضعیف‌ترین عملکرد را در هر دو شرایط نشان دادند. ژنوتیپ‌های ۱۳، ۳ و ۸ به ترتیب با ۱۵/۱۶، ۱۶/۷۹ و ۱۷/۲۰ درصد، کمترین و ژنوتیپ‌های ۱۶، ۲۵، ۱۱، ۲۳ و ۱۲ به ترتیب با ۵۸/۶۵، ۵۰/۸۲، ۴۹/۸۴، ۴۷/۶۹ و ۴۴/۹۵ درصد، بیشترین کاهش در عملکرد دانه را در اثر تنش

جدول ۲. شاخص‌های تحمل به خشکی در ۲۵ ژنوتیپ یولاف بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط دارای تنش و بدون تنش

Table 2. Drought tolerance indices of 25 oat genotypes based on grain yield under stress and non-stress conditions

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (کیلوگرم در هکتار) Yp (kg/ha)		عملکرد دانه در شرایط دارای تنش (کیلوگرم در هکتار) Ys (kg/ha)		درصد تغییرات Variations percentage		شاخص حساسیت به تنش SSI		تحمل (کیلوگرم در هکتار) TOL (kg/ha)	
	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank
	1	9503	6	5520	13	41.91	20	1.40	20	3983
2	5810	24	4723	19	18.71	6	0.63	6	1087	4
3	6487	21	5398	14	16.79	4	0.56	4	1089	5
4	8834	8	7127	4	19.32	7	0.65	7	1707	10
5	8211	11	5677	11	30.86	15	1.03	15	2534	13
6	8569	9	6014	9	29.82	13	1.00	13	2555	14
7	6918	17	7311	3	-5.68	1	-0.19	1	-393	1
8	7599	15	6292	8	17.20	5	0.58	5	1307	7
9	6706	19	5310	16	20.82	8	0.70	8	1396	8
10	7383	16	5709	10	22.67	9	0.76	9	1674	9
11	6796	18	3409	24	49.84	23	1.67	23	3387	19
12	8503	10	4681	21	44.95	21	1.50	21	3822	21
13	6159	23	5225	17	15.16	3	0.51	3	934	3
14	5155	25	3975	23	22.89	10	0.77	10	1180	6
15	9688	5	7088	5	26.84	11	0.90	11	2600	15
16	7871	14	3255	25	58.65	25	1.96	25	4616	24
17	8031	12	8304	1	-3.40	2	-0.11	2	-273	2
18	6663	20	3997	22	40.01	19	1.34	19	2666	16
19	9755	4	6657	7	31.76	17	1.06	17	3098	17
20	7965	13	5560	12	30.19	14	1.01	14	2405	12
21	10656	2	7364	2	30.89	16	1.03	16	3292	18
22	6433	22	4704	20	26.88	12	0.90	12	1729	11
23	9102	7	4761	18	47.69	22	1.60	22	4341	23
24	10466	3	6936	6	33.73	18	1.13	18	3530	20
25	10843	1	5333	15	50.82	24	1.70	24	5510	25
CV%	22.06		26.86							
SE	315.18		259.61							

Table 2. Continued

ادامه جدول ۲.

ژنوتیپ Genotype	بهره‌وری متوسط (کیلوگرم در هکتار) MP (kg/ha)		میانگین هندسی بهره‌وری (کیلوگرم در هکتار) GMP (kg/ha)		شاخص تحمل تنش STI		شاخص عملکرد YI		شاخص پایداری عملکرد YSI	
	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank
	1	7511.5	8	7242.69	8	0.819	8	0.983	13	0.581
2	5266.5	23	5238.38	21	0.428	21	0.841	19	0.813	6
3	5942.5	18	5917.50	18	0.547	18	0.962	14	0.832	4
4	7980.5	7	7934.73	6	0.983	6	1.270	4	0.807	7
5	6944.0	12	6827.43	12	0.728	12	1.011	11	0.691	15
6	7291.5	9	7178.72	9	0.804	9	1.071	9	0.702	13
7	7114.5	10	7111.79	10	0.789	10	1.303	3	1.057	1
8	6945.5	11	6914.69	11	0.746	11	1.121	8	0.828	5
9	6008.0	17	5967.32	17	0.556	17	0.946	16	0.792	8
10	6546.0	16	6492.27	15	0.658	15	1.017	10	0.773	9
11	5102.5	24	4813.27	24	0.362	24	0.607	24	0.502	23
12	6592.0	15	6308.93	16	0.621	16	0.834	21	0.551	21
13	5692.0	19	5672.81	19	0.502	19	0.931	17	0.848	3
14	4565.0	25	4526.71	25	0.320	25	0.708	23	0.771	10
15	8388.0	3	8286.65	3	1.072	3	1.263	5	0.732	11
16	5563.0	21	5061.63	23	0.400	23	0.580	25	0.414	25
17	8167.5	5	8166.36	4	1.041	4	1.479	1	1.034	2
18	5330.0	22	5160.62	22	0.416	22	0.712	22	0.600	19
19	8206.0	4	8058.48	5	1.014	5	1.186	7	0.682	17
20	6762.5	14	6654.73	13	0.691	13	0.991	12	0.698	14
21	9010.0	1	8858.37	1	1.225	1	1.312	2	0.691	16
22	5568.5	20	5500.98	20	0.472	20	0.838	20	0.731	12
23	6931.5	13	6582.90	14	0.676	14	0.848	18	0.523	22
24	8701.0	2	8520.10	2	1.133	2	1.236	6	0.663	18
25	8088.0	6	7604.32	7	0.903	7	0.950	15	0.492	24

Table 2. Continued

ادامه جدول ۲.

ژنوتیپ Genotype	میانگین هارمونیک (کیلوگرم در هکتار) HAM (kg/ha)		شاخص حساسیت به خشکی SDI		شاخص تحمل تنش DRI		شاخص مقاومت به خشکی DI		شاخص خشکی نسبی RDI	
	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank	مقدار Value	رتبه Rank
	1	6983.50	10	0.419	20	-0.437	17	0.571	18	0.83
2	5210.41	21	0.187	6	-0.707	20	0.684	16	1.16	6
3	5892.61	18	0.168	4	-0.357	16	0.800	9	1.19	4
4	7889.22	6	0.193	7	0.234	9	1.024	3	1.15	7
5	6712.82	12	0.309	15	-0.666	19	0.699	14	0.99	15
6	7067.68	9	0.298	13	-0.030	13	0.752	12	1.00	13
7	7109.07	8	-0.057	1	1.374	3	1.377	2	1.51	1
8	6884.01	11	0.172	5	2.121	1	0.928	4	1.18	5
9	5926.91	17	0.208	8	-0.497	18	0.749	13	1.13	8
10	6438.98	14	0.227	9	0.692	6	0.786	11	1.10	9
11	4540.43	24	0.498	23	-1.356	24	0.305	24	0.72	23
12	6038.01	16	0.449	21	-0.970	22	0.459	21	0.79	21
13	5653.68	19	0.152	3	-0.223	15	0.790	10	1.21	3
14	4488.75	25	0.229	10	0.095	11	0.546	19	1.10	10
15	8186.52	3	0.268	11	1.007	4	0.924	5	1.04	11
16	4605.45	23	0.586	25	-1.723	25	0.240	25	0.59	25
17	8165.22	4	-0.034	2	1.889	2	1.530	1	1.47	2
18	4996.62	22	0.400	19	-0.220	14	0.427	23	0.86	19
19	7913.60	5	0.318	17	0.417	7	0.809	8	0.97	17
20	6548.67	13	0.302	14	0.810	5	0.691	15	1.00	14
21	8709.30	1	0.309	16	0.011	12	0.907	6	0.99	16
22	5434.29	20	0.269	12	0.201	10	0.613	17	1.04	12
23	6251.84	15	0.477	22	-0.803	21	0.444	22	0.75	22
24	8342.97	2	0.337	18	0.406	8	0.819	7	0.95	18
25	7149.57	7	0.508	24	-1.206	23	0.467	20	0.70	24

Table 2. Continued

ادامه جدول ۲.

ژنوتیپ Genotype	شاخص درصد حساسیت به تنش		شاخص تحمل تنش تغییریافته در شرایط بدون تنش		شاخص تحمل تنش تغییریافته در شرایط دارای تنش		میانگین رتبه	انحراف معیار رتبه	پارامتر RS
	SSPI		K ₁ STI		K ₂ STI				
	مقدار value	رتبه Rank	مقدار value	رتبه Rank	مقدار value	رتبه Rank	Rank Mean	Standard Deviation of Rank	Rank Sum
1	24.881	22	1.154	7	0.792	11	14.61	5.81	20.42
2	6.790	4	0.226	24	0.303	21	14.83	7.95	22.78
3	6.803	5	0.359	19	0.506	15	11.67	6.56	18.23
4	10.663	10	1.197	6	1.584	5	6.61	1.91	8.53
5	15.830	13	0.766	11	0.744	12	13.22	2.13	15.35
6	15.961	14	0.922	9	0.923	9	11.06	2.15	13.21
7	-2.455	1	0.590	15	1.339	7	5.28	5.22	10.50
8	8.165	7	0.673	14	0.938	8	7.83	3.70	11.53
9	8.721	8	0.390	17	0.497	16	13.28	4.48	17.76
10	10.457	9	0.560	16	0.681	13	11.39	3.18	14.57
11	21.158	19	0.261	23	0.133	25	22.83	2.01	24.84
12	23.876	21	0.701	12	0.432	19	18.67	3.60	22.26
13	5.835	3	0.297	21	0.435	18	12.11	7.91	20.02
14	7.371	6	0.133	25	0.160	23	17.28	7.74	25.01
15	16.242	15	1.570	4	1.709	4	7.17	4.30	11.47
16	28.836	24	0.387	18	0.134	24	23.28	2.95	26.22
17	-1.705	2	1.048	8	2.278	1	3.17	2.83	6.00
18	16.654	16	0.288	22	0.211	22	20.00	2.59	22.59
19	19.353	17	1.506	5	1.426	6	10.11	5.75	15.86
20	15.024	12	0.685	13	0.678	14	12.83	2.15	14.98
21	20.565	18	2.171	1	2.108	2	8.17	7.39	15.56
22	10.801	11	0.305	20	0.332	20	16.17	4.41	20.58
23	27.118	23	0.875	10	0.487	17	18.06	4.89	22.95
24	22.051	20	1.937	2	1.730	3	9.61	7.59	17.20
25	34.420	25	1.657	3	0.815	10	15.78	8.82	24.59

حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۲). کمترین مقدار TOL متعلق به ژنوتیپ‌های ۷، ۱۷، ۱۳، ۲ و ۳ و بیشترین مقدار متعلق به ژنوتیپ‌های ۲۵، ۱۶، ۲۳، ۱ و ۱۲ بود. ژنوتیپ‌های ۷، ۱۷، ۱۳ و ۳ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های SSI و TOL شناخته شدند. از آنجاکه انتخاب بر اساس شاخص TOL باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که دارای عملکرد و MP پایینی در محیط بدون تنش هستند (Rosielle and Hambling, 1981; Fernandez, 1992)، لذا نمی‌تواند به‌تنهایی شاخص مناسبی جهت گزینش و جداسازی گروه A باشد. انتخاب بر اساس شاخص SSI نیز باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که متحمل به تنش هستند اما پتانسیل عملکرد پایینی دارند (Fernandez, 1992; Schneider et al., 1997)، بنابراین این شاخص نیز قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند، نخواهد بود. نتایج نشان

پژوهشگران، وضعیت نسبی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش خشکی را به‌عنوان معیارهایی مناسب برای تحمل به خشکی پیشنهاد نموده‌اند (Blum, 1988). ژنوتیپ‌هایی که در شرایط بدون تنش و نیز در شرایط تنش خشکی عملکرد بالاتر و باثبات‌تری دارند، احتمالاً مقاومت نسبی بیشتری به خشکی خواهند داشت. بدیهی است انتظار می‌رود که این چنین ژنوتیپ‌هایی در سال‌های خشک و بروز تنش، دارای حداقل عملکرد اقتصادی و در سال‌های پر باران، پر محصول ظاهر شوند. به‌عنوان مثال در این آزمایش ژنوتیپ ۱۷ (Ufrgs948886) در هر دو شرایط تنش و غیر تنش عملکرد نسبتاً بالایی داشت در حالی که ژنوتیپ ۲۵ (Ajay) با وجود عملکرد بالا در شرایط بدون تنش، عملکرد پایینی در شرایط تنش تولید کرد. بر اساس SSI، ژنوتیپ‌های ۷، ۱۷، ۱۳، ۳ و ۸ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۶، ۲۵، ۱۱، ۲۳ و ۱۲

(Tarahumara) و ۸ (13Zop95) با کمترین مقدار RS به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ۱۶ (C-) (1/130)، ۱۴ (Kalopt)، ۱۱ (IA91098-2) و ۲۵ (Ajay) با بیشترین مقدار RS به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۲).

همبستگی

نتایج حاصل از همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط دارای تنش و بدون تنش با شاخص‌های تحمل یا حساسیت به خشکی (جدول ۳) حاکی از وجود همبستگی معنی‌دار مثبت و بالایی بین MP، GMP، STI، YI، HAM، K₁STI و K₂STI با عملکرد دانه در هر دو شرایط بود؛ بنابراین، این شاخص‌ها برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب هستند. از طرفی به‌طور کلی شاخصی که دارای همبستگی معنی‌دار و بالا با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد به‌طوری‌که بر اساس نوع همبستگی باعث افزایش عملکرد در هر دو شرایط گردد، به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شود (Fernandez, 1992; Ober et al., 2005; Sadeghzadeh-Ahari, 2006). بسیاری از مطالعات نیز وجود همبستگی معنی‌دار و مثبت اغلب این شاخص‌ها با عملکرد دانه در گندم (Aghaee, 2012; Moori et al., 2009; Sarbarzeh et al., 2009)، گندم دوروم (Fallahi et al., 2011; Zebarjadi et al., 2013)، جو (Zare, 2012) و ذرت (Naghavi et al., 2013) گزارش شده است. از آنجا که شدت تنش ملایم بوده است، بنابراین وجود همبستگی معنی‌دار مثبت بین عملکرد دانه در شرایط دارای تنش با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش ($r = 0.487$) قابل توجیه است؛ بنابراین، انتخاب غیرمستقیم در شرایط دارای تنش ملایم بر اساس نتایج شرایط بدون تنش می‌تواند مؤثر باشد (Akcura and Ceri, 2011). نتایج نشان داد که شاخص‌های TOL، MP، GMP، STI، YI، HAM، SSPI، K₁STI و K₂STI همبستگی بسیار معنی‌دار و مثبتی با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش داشتند. در شرایط دارای تنش این همبستگی بسیار معنی‌دار و مثبت را شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI، HAM، DRI، DI، RDI، K₁STI و K₂STI با عملکرد دانه داشتند، درحالی‌که تحت این شرایط، همبستگی SSI و SDI با عملکرد دانه بسیار معنی‌دار و منفی بود.

داد که ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۴، ۱۵ و ۱۷ بر اساس شاخص‌های MP، GMP، STI، YI و HAM که مقادیر بالای آن‌ها حاکی از تحمل به خشکی است، متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۱، ۱۶، ۱۸ و ۲ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس YSI ژنوتیپ‌های ۷، ۱۷، ۱۳، ۳ و ۸ به‌عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۶، ۲۵، ۱۱، ۲۳ و ۱۲ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بر اساس شاخص‌های SDI و SSPI ژنوتیپ‌های ۷، ۱۷، ۱۳ و ۳ عنوان متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۶، ۲۵ و ۲۳ عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها را به خود اختصاص دادند. بیدینگر و همکاران (Bidinger et al., 1978) ارزش‌های آستانه‌ای برای ۱۰ درصد بالا و پایین توزیع نرمال ($Z = +1/3$ و $Z = -1/3$) را برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم ($DRI < +1/3$) و حساس ($DRI > -1/3$) در نظر گرفتند. در اینجا مقدار DRI در ژنوتیپ‌های ۱۷، ۷ و ۸ بیشتر از $1/3$ و در ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۱ کمتر از $-1/3$ بود. این ژنوتیپ‌ها به ترتیب مقادیر بالا و پایینی از شاخص‌های DRI و DI را نیز داشتند و بنابراین بر اساس این شاخص‌ها به ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس شناسایی شدند. بالاترین مقدار MSTI شامل K₁STI و K₂STI متعلق به ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۴ و ۱۵ و پایین‌ترین مقدار آن متعلق به ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۱ و ۱۸ بود.

روش رتبه‌بندی

محاسبه و ارزیابی شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به خشکی (جدول ۲) نشان داد که شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی فقط بر اساس یک شاخص، گاهی باعث ایجاد نتایج ضدونقیضی می‌شود. برای مثال بر اساس شاخص TOL ژنوتیپ‌های ۷، ۱۷، ۱۳، ۲ و ۳ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند درحالی‌که بر اساس شاخص STI ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۴، ۱۵ و ۱۷ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند؛ بنابراین، به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس همه شاخص‌ها، پارامترهای میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه و RS محاسبه و بر اساس این پارامترها ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند (Farshadfar et al., 2012; Naghavi et al., 2013). در نظر گرفتن رتبه هر ژنوتیپ از نظر مقدار شاخص‌های محاسبه‌شده، عملکرد دانه تحت هر دو شرایط و نیز درصد تغییرات ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های ۱۷ (Ufrgs948886)، ۴ (Euro)، ۷ (Potoroo)، ۱۵

جدول ۳. ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه

Table 3. Simple correlation coefficients between different drought tolerance indices and grain yield

Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YI	YSI	HAM	SDI	DRI	DI	RDI	SSPI	K ₁ STI	K ₂ STI
1																
Yp	0.487*															
Ys		1														
SSI	0.373	-0.620**	1													
TOL	0.640**	-0.360	0.944**	1												
MP	0.890**	0.832**	-0.088	0.218	1											
GMP	0.835**	0.886**	-0.190	0.113	0.993**	1										
STI	0.835**	0.879**	-0.180	0.119	0.990**	0.996**	1									
YI	0.487*	1.000**	-0.620**	-0.360	0.832**	0.886**	0.879**	1								
YSI	-0.374	0.619**	-1.000**	-0.944**	0.086	0.189	0.178	0.619**	1							
HAM	0.775**	0.925**	-0.284	0.014	0.976**	0.994**	0.990**	0.925**	0.283	1						
SDI	0.374	-0.619**	1.000**	0.944**	-0.086	-0.189	-0.178	-0.619**	-1.000**	-0.283	1					
DRI	0.000	0.725**	-0.745**	-0.638**	0.380	0.458*	0.449*	0.725**	0.745**	0.526**	-0.745**	1				
DI	0.065	0.893**	-0.886**	-0.716**	0.508**	0.588**	0.580**	0.893**	0.885**	0.656**	-0.885**	0.809**	1			
RDI	-0.374	0.618**	-1.000**	-0.944**	0.084	0.187	0.176	0.618**	1.000**	0.281	-1.000**	0.743**	0.884**	1		
SSPI	0.640**	-0.360	0.944**	1.000**	0.218	0.113	0.119	-0.360	-0.944**	0.014	0.944**	-0.638**	-0.716**	-0.944**	1	
K ₁ STI	0.937**	0.665**	0.127	0.415*	0.943**	0.917**	0.935**	0.665**	-0.128	0.883**	0.128	0.185	0.282	-0.130	0.415*	1
K ₂ STI	0.626**	0.944**	-0.421*	-0.162	0.891**	0.922**	0.937**	0.944**	0.420*	0.939**	-0.420*	0.603**	0.772**	0.418*	-0.162	0.798**

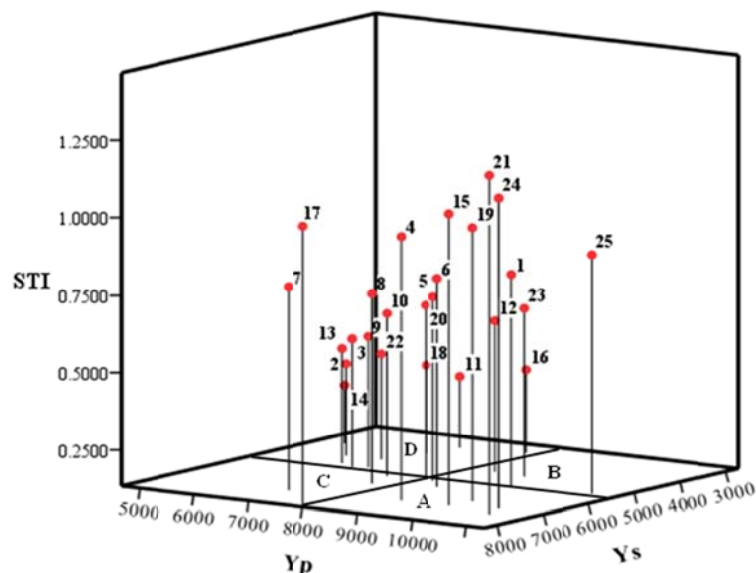
* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

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

جدول ۴. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی

مؤلفه	Component	Eigenvalue	مقدار ویژه	وارانس تجمعی (%)	بار عاملی										
					Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YSI	HAM	K ₁ STI	K ₂ STI
1		7.27	66.072	0.30	0.33	-0.08	0.03	0.37	0.37	0.08	0.37	0.08	0.37	0.34	0.35
2		3.59	98.741	0.31	-0.23	0.51	0.52	0.08	0.02	0.03	-0.51	-0.03	0.19	-0.12	

Table 4. Principal components analysis for drought tolerance indices



شکل ۲. گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص تحمل تنش (STI)

Fig. 2. Selection of drought tolerant genotypes using Stress Tolerance Index (STI)

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ژنوتیپ‌ها بر اساس این دو مؤلفه اصلی اول در گروه‌های مشخصی قرار می‌گیرند که بر مبنای میانگین عملکرد و تحمل یا حساسیت به تنش آن‌ها می‌باشد. دو مؤلفه اول جمعاً ۹۸/۷۴ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌ها را توجیه نمودند ولی سهم مؤلفه اول در تبیین تغییرات کل شاخص‌ها برابر با ۶۶/۰۷ درصد بود. عملکرد دانه تحت هر دو شرایط و نیز شاخص‌های MP، STI، GMP، HAM، K_1STI و K_2STI در این مؤلفه بیشترین ضرایب را به خود اختصاص دادند و این مؤلفه به‌عنوان مؤلفه پتانسیل تولید و متحمل به خشکی معرفی شد. مؤلفه دوم ۳۲/۶۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را تبیین و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش (Ys)، همبستگی بسیار پایینی با شاخص‌های MP، GMP و STI و همبستگی بالایی با شاخص‌های SSI و TOL داشت؛ بنابراین، مؤلفه دوم را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط تنش را جدا می‌کند، نام‌گذاری نمود. انتخاب بر مبنای این مؤلفه منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش خشکی شده و قادر به جداسازی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI می‌باشد. انتخاب ژنوتیپ‌هایی که از نظر مؤلفه اصلی اول بالا و از نظر مؤلفه اصلی دوم پایین هستند منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی

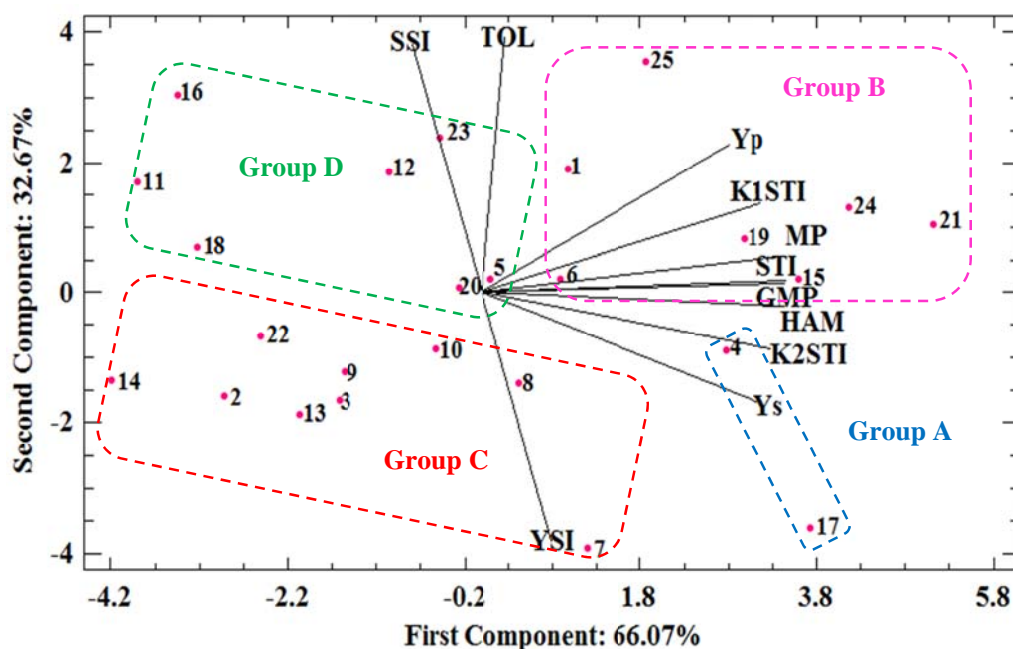
با مشاهده جدول ۲ نمایان است که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها برای GMP و STI در هر دو شرایط کاملاً یکسان است. از طرف دیگر وجود همبستگی معنی‌دار مثبت و بالا بین این دو شاخص و عملکرد دانه تحت هر دو شرایط حاکی از این است که برای ارزیابی تحمل و یا حساسیت به خشکی ژنوتیپ‌ها این دو شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها مناسب‌تر می‌باشند. محققان دیگری نیز اعلام نمودند شاخص‌های MP، GMP و STI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ارقام متحمل به خشکی در شرایط تنش ملایم هستند (Sio-Semardeh et al., 2006; İlker et al., 2011). نقوی و همکاران (Naghavi et al., 2013) ابراز داشتند که شاخص‌های MP، GMP و STI در انتخاب ژنوتیپ‌ها، معادل یکدیگر می‌باشند. در این پژوهش برای تعیین ژنوتیپ‌های پر عملکرد متحمل به خشکی از نمودار سه‌بعدی استفاده گردید. با توجه به کارایی شاخص‌های GMP و STI در شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A و نیز با توجه به وجود همبستگی بسیار بالا، مثبت و بسیار معنی‌دار ($r=0.996^{**}$) بین این دو شاخص، تنها نمودار سه‌بعدی مربوط به STI ارائه شده است (شکل ۲). در بررسی این شکل مشخص شد که ژنوتیپ‌های ۲۴، ۲۱، ۱۹، ۱۵، ۲۵، ۶ و ۴ حتی در گروه A طبقه‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) (عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش) قرار گرفتند.

بنابراین، به کمک بای‌پلات گابریل نیز این شاخص‌ها به‌عنوان شاخص‌های برتر در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی و ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۴ نیز برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند.

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد دانه و شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، HAM، K₁STI و K₂STI که همبستگی معنی‌دار مثبت و بالایی با عملکرد دانه داشتند، انجام شد، چراکه انتخاب بر اساس این معیارها امکان انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط را فراهم می‌آورد (Sio-Semardeh et al., 2006). بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای و با استفاده از اطلاعات شاخص‌های تحمل به خشکی و همچنین عملکرد دانه در شرایط دارای تنش و بدون تنش، ژنوتیپ‌ها در سه گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۴).

می‌شود که مناسب هر دو شرایط می‌باشند (Shahryari and Mollasadeghi, 2011). ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۴ با دارا بودن مؤلفه اول بالا و مؤلفه دوم پایین، برترین ژنوتیپ‌ها تحت هر دو شرایط بودند. این ژنوتیپ‌های عملکرد پایداری تحت شرایط بدون تنش و دارای تنش خشکی داشتند، بنابراین متعلق به گروه A طبقه‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) می‌باشند. ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۴، ۱۵، ۱۹، ۲۵، ۱ و ۶ به دلیل مناسب بودن برای شرایط بدون تنش، در گروه B جای می‌گیرند. ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۱، ۱۸، ۱۲، ۲۰، ۵ و ۲۳ حساس به خشکی و دارای عملکرد نسبتاً پایین‌تر تحت هر دو شرایط بودند، لذا متعلق به گروه D می‌باشند. ژنوتیپ‌های ۷، ۸، ۱۰، ۹، ۳، ۱۳، ۲۲، ۲ و ۱۴ با داشتن YSI نسبتاً بالا و عملکرد پایین (اما پایدار) تحت هر دو شرایط در گروه C جای گرفتند. به‌طورکلی با توجه به زاویه خطوط شاخص‌ها (شکل ۳) ملاحظه می‌شود که شاخص‌های MP، GMP، STI، HAM، K₁STI و K₂STI با عملکرد دانه در هر دو شرایط همبستگی بالایی دارند؛



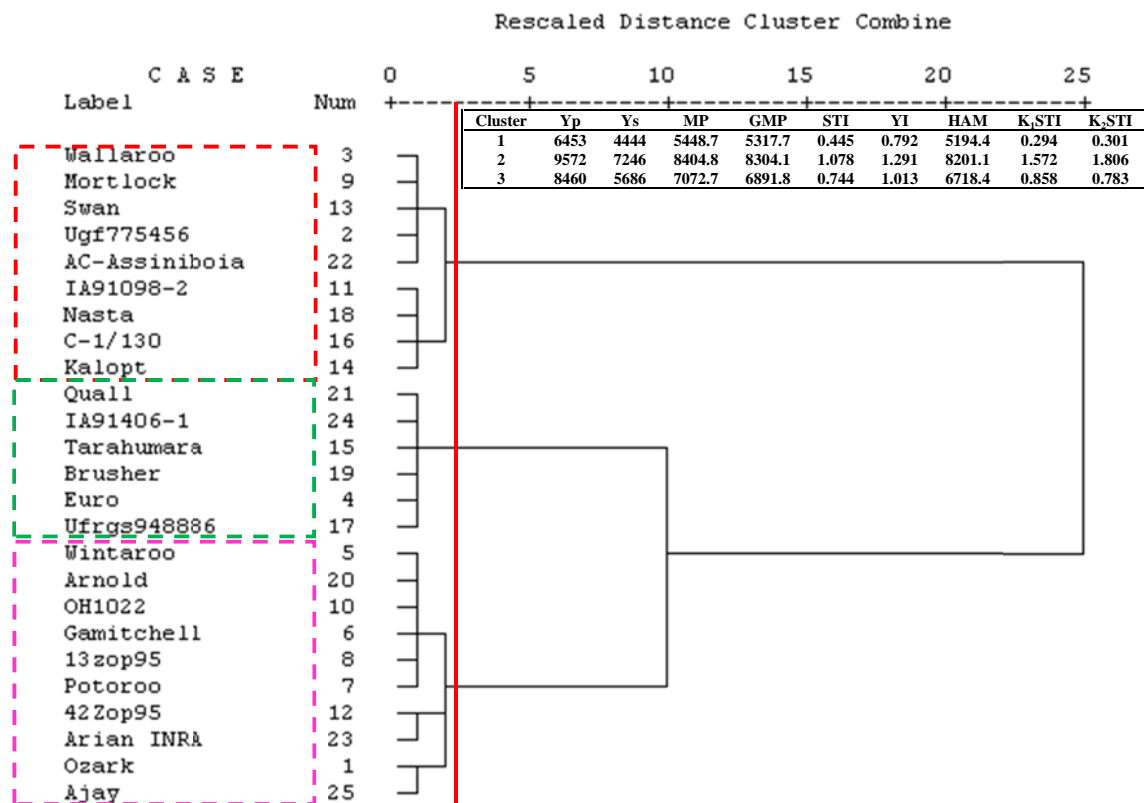
شکل ۳. نمایش بای‌پلات شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در ۲۵ ژنوتیپ یولاف بر اساس دو مؤلفه اصلی اول
 Fig. 3. Biplot display tolerance and sensitivity to drought in 25 oat genotypes based on first two principal components

خشکی در گندم دوروم از نظر گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها تشابه وجود دارد.

نتیجه‌گیری

آنچه که می‌توان از این پژوهش نتیجه گرفت عبارت است از: (۱) شناسایی شاخص‌های HAM, STI, GMP, MP, K₁STI و K₂STI به‌عنوان شاخص‌های کارآمد در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی یولاف، (۲) شناسایی ژنوتیپ‌های ۱۷ (Ufrgs948886) و ۴ (Euro) به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار تحت هر دو شرایط، (۳) شناسایی ژنوتیپ‌های ۱۶ (C-1/130)، ۱۱ (IA91098-2) و ۱۸ (Nasta) به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی و (۴) پیشنهاد ژنوتیپ‌های ۲۵ (Ajay)، ۲۱ (Quall)، ۲۴ (IA91406-1) و ۱۹ (Brusher) برای شرایط فاریاب.

در گروه اول ژنوتیپ‌های ۳، ۹، ۱۳، ۲، ۲۲، ۱۱، ۱۸، ۱۶ و ۱۴ قرار گرفتند که در هر دو محیط دارای میانگین عملکرد پایین و حساس به خشکی بودند که در تطابق با رتبه‌بندی اغلب آن‌ها بر اساس شاخص‌ها می‌باشد. گروه دوم دارای میانگین عملکرد بالا در هر دو شرایط بود. ژنوتیپ‌های ۲۱، ۲۴، ۱۵، ۱۹، ۴ و ۱۷ در این گروه قرار گرفتند. مابقی ژنوتیپ‌ها در گروه سوم جای گرفتند و هرچند بین آن‌ها تنوع وجود داشت، اما در مجموع در حد متوسط بودند. در اثر تنش خشکی، عملکرد دانه در این گروه به میزان متوسط ۳۲ درصد کاهش یافت در صورتی‌که این کاهش برای گروه اول و دوم به ترتیب برابر ۳۱ و ۲۴ درصد بود. نتایج تجزیه خوشه‌ای تا حد زیادی با نتایج بای‌پلات رسم شده مشابه بود. خیاط‌نژاد (Khayatnezhad, 2012) بیان کرد بین نتایج تجزیه خوشه‌ای و تجزیه بای‌پلات برای بررسی تنش



شکل ۴. دندروگرام ژنوتیپ‌های یولاف بر اساس عملکرد دانه و شاخص‌های متحمل به خشکی (MP, GMP, STI, YI, HAM, K₁STI و K₂STI)

Fig. 4. Dendrogram of oat genotypes based on grain yield and drought tolerance indices (MP, GMP, STI, YI, HAM, K₁STI and K₂STI)

منابع

- Achleitner, A., Tinker, N.A., Zechner, E., Buerstmayr, H., 2008. Genetic diversity among oat varieties of worldwide origin and associations of AFLP markers with quantitative. *Theoretical and Applied Genetics*. 117, 1041-1053.
- Aghaee Sarbarzeh, M., Rostaee, M., Mohammadi, R., Haghparast, R., Rajabi, R., 2009. Determination of drought tolerant genotypes in bread wheat. *Electronic Journal of Crop Production*. 2(1), 1-23. [In Persian with English Summary].
- Akcura, M., Ceri, S., 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions. *Zemdirbyste Agriculture*. 98(2), 157-166.
- Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, Sh., Ghobadi, M., 2014. Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20(1), 101-111.
- Becher, R., 2007. EST-derived microsatellites as a rich source of molecular markers for oats. *Plant Breeding*. 126, 274-278.
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V., Rao, G.D.P., 1978. Assessment of drought resistance in millet Factors effecting yields under stress. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38, 37-48.
- Blum, A., 1988. *Plant Breeding for Stress Environment*. CRC press. Boca Raton, FL. pp. 38-78.
- Buerstmayr, H., Krenn, N., Stephan, U., Grausgruber, H., Zechner, E., 2007. Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under central European growing conditions. *Field Crops Research*. 101, 341-351.
- Emam, Y., 2011. *Cereal Production*. Shiraz University Press. Fourth edition. 190 pages. [In Persian].
- Fallahi, H.A., Alte-Jafarbai, J., Seyedi, F., 2011. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 27(1), 15-22. [In Persian].
- FAO, 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Quarterly Bulletin of Statistics*. Rome, Italy.
- FAO, 2010. Food and Agriculture Organization, Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved November, 2010. From <http://fao.org/crop/statistics>.
- FAO, 2013. Food and Agriculture Organization, Statistics: FAOSTAT agriculture. From <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- Farshadfar, E., Elyasi, P., 2012. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. *European Journal of Experimental Biology*. 2(3), 577-584.
- Farshadfar, E., Farshadfar, M., Dabiri, S., 2012. Comparison between effective selection criteria of drought tolerance in bread wheat landraces of Iran. *Annals of Biological Research*. 3(7), 3381-3389.
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceeding of the International Symposium on adaptation of vegetable and other food crops in temperature and water stress, Taiwan*, pp. 257-270.
- Frey, K.J., Colville, D.C., 1986. Development rate and growth duration of oats in response to delayed sowing. *Agronomy Journal*. 78, 417-421.
- Gabriel, K.R., 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. *Biometrika*. 58, 453-467.
- Ganjali, A., Bagheri, A., Porsa, H., 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7(1), 183-194. [In Persian with English Summary].
- İlker, E., Tatar, Ö., Aykut Tonk, F., Tosun, M., Turk, J., 2011. Determination of Tolerance Level of Some Wheat Genotypes to Post-Anthesis Drought. *Turkish Journal of Field Crops*. 16(1), 59-63.
- Jazayeri, M.R., Rezai, A.M., 2006. Evaluation of drought tolerance of oat (*Avena sativa* L.) cultivars in climatic conditions of Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 10(3), 393-404. [In Persian].
- Khayatnezhad, M., 2012. Evaluation of the reaction of durum wheat genotypes (*Triticum durum* Desf.) to drought conditions using

- various stress tolerance indices. African Journal of Microbiology Research. 6(20), 4315-4323.
- Lan, J., 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica. 7, 85-87.
- Jelic, M., Dugalic, G., Milivojevic, J., Djekic, V., 2013. Effect of liming and fertilization on yield and quality of oat (*Avena sativa* L.) on an acid luvisol soil. Romanian Agricultural Research. 30, 249-258.
- Moori, S., Y. Emam, H.A. Karimzadeh Sourashjani. 2012. Evaluation of late season drought resistance in wheat cultivars using grain yield, its components and drought resistance indices. Environmental Stresses in Crop Sciences. 5(1), 19-32. [In Persian].
- Naghavi, M.R., Pour Aboughadareh, A., Khalili, M., 2013. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. Notulae Scientia Biologicae. 5(3), 388-393.
- Nirmalakumari, R., Sellammal, G., Thamotharan, T., Ezhilarasi, T., Ravikesavan, R., 2013. Trait association and path analysis for grain yield in oat in the Western zone of Tamil Nadu. International Journal of Agricultural Science. 3(2), 331-338.
- Ober, E.S., Le-Bloa, M., Clark, C.J.A., Royal, A., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D., 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. Field Crops Research. 91, 231-249.
- Peterson, D.M., Wesenberg, D.M., Burrup, D.E., Erickson, C.A., 2005. Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. Crop Science. 45, 1249-1255.
- Ren, C.Z., Ma, B.L., Burrows, V., Zhou, J., Hu, Y.G., Guo, L., Wei, L., Sha, L., Deng, L., 2007. Evaluation of early mature naked oat varieties as a summer-seeded crop in dryland Northern climate regions. Field Crop Research. 103, 248-254.
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 21, 943-946.
- Sadeghzadeh-Ahari, D., 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land-promising durum wheat genotype. Crop Science. 8, 30-45.
- Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-vallejo, P., Wassimi, N., Kelly, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science. 37, 43-50.
- Shahryari, R., Mollasadeghi, V., 2011. Introduction of two principle components for screening of wheat genotypes under end seasonal drought. Advances in Environmental Biology. 5(3), 519-522.
- 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.
- Tiwari, U., Cummins, E., 2009. Simulation of the factors affecting β -glucan levels during the cultivation of oats. Journal of Cereal Science. 50, 175-183.
- Walsh, M.E., Dela Torre Ugarte, D.G., Shapouri, H., Slinsky, S.P., 2003. Bioenergy crop production in the United States. Environmental and Resource Economics. 24, 313-333.
- Zaheri, A., Bahraminejad, S., 2012. Assessment of drought tolerance in oat (*Avena sativa*) genotypes. Annals of Biological Research. 3(5), 2194-2201.
- Zare, M., 2012. Evaluation of drought tolerance indices for the selection of Iranian barley (*Hordeum vulgare*) cultivars. African Journal of Biotechnology. 11(93), 15975-15981.
- Zebarjadi, A.R, Tavakoli Shadpi, S., Etminan, A., Mohammadi, R., 2013. Evaluation of Drought Stress Tolerance in Durum Wheat Genotype Using Drought Tolerance Indices. Seed and Plant Improvement Journal. 29(1), 1-12. [In Persian].