doi: 10.22124/c.2019.10113.1391

دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره هشتم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۷ (۴۹۴-۴۸۳)

ارزیابی ژنوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی (*Aegilops tauschii*) با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

مهران فلک‌ناز[۱]، علی اعلمی[۲*]، علی‌اشرف مهرابی[۳]، عاطفه صبوری[۴] و دانیال کهریزی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۲

چکیده

خشک‌سالی و آثار ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است که تولیدات کشاورزی را در جهان با محدودیت روبه‌رو ساخته است. یکی از راه‌بردهای مفید اصلاح گیاهان زراعی برای مقاومت به خشکی، حفظ و بهره‌گیری از تنوع موجود ژرم‌پلاسم آن‌ها می‌باشد. به‌منظور شناسایی منابع مقاومت به خشکی، ۱۲۵ ژنوتیپ گندم نیای آژیلوپس تائوشی در قالب طرح آگمنت با سه تکرار و تحت دو شرایط بدون تنش (آبیاری تکمیلی در سه مرحله ساقه‌دهی، گلدهی و پرشدن دانه) و تنش خشکی (بدون آبیاری تکمیلی) کشت و بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مطالعه همبستگی عملکرد با شاخص‌های تحمل نشان داد که شاخص‌های میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، تحمل به تنش (STI) و تحمل (TOL) برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی مناسب بودند. بر اساس این شاخص‌ها، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۵۵، ۵۰، ۵۸ و ۶۵ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های شماره ۴۵، ۳۴، ۳ و ۹ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها تعیین شدند. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های تحمل با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش متوسط فاصله بین گروه‌ها (UPGMA)، ژنوتیپ‌ها را در هفت گروه مختلف دسته‌بندی کرد. ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۵، ۵۸ و ۶۵ که دارای بیش‌ترین مقادیر برای این شاخص‌ها بودند، در دو گروه سه و پنج قرار گرفتند. نتایج تحلیل‌های آماری مختلف در این تحقیق نشان داد که دو ژنوتیپ شماره ۵۰ و ۵۵ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند و می‌توانند به‌عنوان منابع ژنتیکی مناسب در برنامه‌های به‌نژادی گندم برای تحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنش خشکی، ژرم‌پلاسم، عملکرد دانه

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
۲- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه ایلام
۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان
۵- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی
* نویسنده مسئول: ali_aalami@guilan.ac.ir

مقدمه

خشک‌سالی و تنش ناشی از آن مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را در جهان با محدودیت روبه‌رو ساخته است. تعاریف مختلفی برای تنش خشکی ارایه شده است. خشکی در کشاورزی به وضعیتی اطلاق می‌شود که میزان و توزیع بارندگی طی فصل رشد به اندازه‌ای کم و نامناسب باشد که موجب کاهش عملکرد گیاه زراعی شود (Siosemardeh *et al.*, 2006). دهاندا و همکاران (Dhanda *et al.*, 2004) معتقدند که تنش خشکی هنگامی افزایش می‌یابد که تقاضای تبخیری اتمسفر بالای برگ‌ها (تبخیر و تعرق پتانسیل) از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک (تبخیر و تعرق حقیقی) تجاوز کند و فراتر رود. در اغلب آزمایش‌ها برای گزینش مزرعه‌ای گیاهان زراعی فقط عملکرد دانه مدنظر قرار می‌گیرد، در صورتی‌که برخی پژوهشگران معتقدند که برای بازدهی بیش‌تر در اصلاح ارقام سازگار و برتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید شاخص‌هایی که در شناسایی پایداری ارقام تحت شرایط تنش خشکی مؤثر هستند را شناخت و آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه، به‌عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرار داد. بر این اساس، بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی می‌تواند آغازی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و استفاده از آن‌ها برای برنامه‌های به‌نژادی باشد.

ژنوتیپ‌ها را بر اساس واکنش آن‌ها به شرایط محیطی واجد تنش یا بدون تنش می‌توان در چهار گروه دسته‌بندی کرد: گروه اول (A) ژنوتیپ‌هایی هستند که عملکرد خوبی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند، گروه دوم (B) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی فقط در محیط بدون تنش دارند، گروه سوم (C) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی فقط در محیط تنش دارند و گروه چهارم (D) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد کمی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند (Fernandez, 1992). بر این اساس، شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها ارایه شده است. از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) مناسب‌ترین معیار شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. روزیل و هامبلین (Rosielle and Hambelin, 1981) شاخص‌های تحمل (TOL) و میانگین حسابی (MP) را معرفی کردند. شاخص تحمل (TOL) عبارت از اختلاف عملکرد ارقام در دو شرایط نرمال و تنش است. ارقامی که مقدار TOL کم‌تری دارند، تفاوت عملکرد دانه آن‌ها در آزمایش‌های آبی و دیم کم‌تر است. شاخص میانگین تولید (MP) منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا ولی با تحمل پایین به تنش می‌شود. همچنین امکان تفکیک ژنوتیپ‌های گروه B و C از یکدیگر با استفاده از شاخص‌های MP و TOL بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز وجود دارد (Fernandez, 1992). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) را به‌عنوان معیاری برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی پیشنهاد کرد. مقادیر بالای STI برای یک ژنوتیپ، نشان‌دهنده تحمل بیش‌تر به تنش و پتانسیل عملکرد بالاتر است. همچنین بنا به اظهارات فرناندز (Fernandez, 1992)، شاخص GMP برخلاف MP به اختلافات نسبتاً شدیدتر بین عملکرد تحت شرایط تنش (Ys) و عملکرد تحت شرایط بدون تنش (Yp) حساسیت کم‌تری نشان می‌دهد و بنابراین در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A از سه گروه دیگر می‌تواند شاخص مناسبی باشد.

طی دهه‌های اخیر، تغییر جهانی اقلیم یکی از موضوع‌های مهم تحقیقاتی محققین بوده است. ایران از نظر موقعیت آگروکلیمیایی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. ضمن اینکه با افزایش دمای کره زمین و تغییرات اقلیمی، در سال‌های اخیر روند کاهشی بارش‌ها برای بیش‌تر استان‌های کشور ثبت شده است (Nazeri *et al.*, 2016). از طرف دیگر، اهمیت اقتصادی گندم باعث شده است تا هر گونه راه‌کاری به‌منظور بهینه کردن تولید این محصول در شرایط آب و هوایی موجود کشور، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد. در این میان تولید و معرفی ارقام پر محصول و متحمل به تنش خشکی آخر فصل، از جمله راه‌کارهای مؤثری است که در تلفیق با سایر روش‌های مدیریت کم‌آبی می‌تواند تأثیر نامطلوب خشکی را به حداقل برساند (Aghaee-Sarbarzeh *et al.*, 2009).

در گندم سه ژنوم اصلی وجود دارد و از بین آن‌ها ژنوم D نقش کلیدی در بسیاری از ویژگی‌های مهم زراعی آن از جمله مقاومت به بیماری‌ها، تحمل به تنش‌های محیطی، کیفیت نانوایی و حتی عملکرد دارد (Jaffaraghaee *et al.*, 2008). این ژنوم نه‌تنها در گندم نان بلکه در چندین گونه تتراپلوئید و هگزاپلوئید دیگر از جنس آژیلوپس نیز یافت می‌شود که همگی این ژنوم را از یک‌گونه دیپلوئید به نام *Aegilops tauschii* Coss (2n=2x=14, DD) به

ارث برده‌اند. گونه هگزاپلوئید *T. aestivum* (2n=6x=42, AABBDD) از تلاقی گونه تتراپلوئید *T. durum* (2n=4x=28, AABB) و *A. tauschii* (2n=2x=14, DD) به‌دست‌آمده است (Hegde *et al.*, 2002). از دیگر گونه‌های تتراپلوئید دارای ژنوم D گونه‌های *A. cylindrica* و *A. crassa* هستند که در ایران نیز پراکندگی دارند (Jaffaraghaee *et al.*, 2008). پژوهش‌های مختلف نشان داده است که تنوع موجود در ژنوم D گندم نان کم‌تر از تنوع موجود در ژنوم D آژیلوپس تائوشی است و فقط تعداد محدودی از ژنوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی در پیدایش و تکامل گندم نان نقش داشته‌اند و گندم‌های معمولی مناطق جغرافیایی محدودی را در برمی‌گیرند. خویشاوندان وحشی گندم و از آن جمله گونه آژیلوپس تائوشی، منابع بالقوه‌ای از ژن‌های باارزش از جمله ژن‌های مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده برای انتقال به گندم دارند (Lagudah and Halloran, 1988; Lagudah and Halloran, 1989; Lagudah *et al.*, 1991).

هم‌لوژی کامل ژنوم D آژیلوپس تائوشی با ژنوم D گندم، وضعیت گیاه‌شناسی مشخص، سازگاری وسیع اکولوژیک، وجود تنوع بسیار بالا در این صفات و سهولت تلاقی با گندم، گونه *A. tauschii* را به منبع بسیار مهمی برای انتقال ژن و اصلاح گندم تبدیل کرده است. نقش ژنوم D در بهبود کیفیت نانوایی نیز مورد توجه بوده است. ثابت شده است که *A. tauschii* در مقایسه با گندم زراعی، تنوع ژنتیکی وسیعی برای پروتئین‌های ذخیره‌ای دانه شامل گلایدین‌ها و گلوتنین‌ها دارد (Ghasemzadeh *et al.*, 2011). شناسایی تنوع ژنتیکی موجود در کلکسیون خویشاوندان وحشی نیاز ضروری برای استفاده از آن‌ها در اصلاح نباتات است. ایران به‌عنوان یکی از مراکز اصلی پیدایش و تنوع گندم و خویشاوندان وحشی آن به‌ویژه آژیلوپس تائوشی مطرح است که این موضوع می‌تواند اهمیت بررسی این گونه جهت استفاده برای اصلاح گندم را توجیه کند (Ghasemzadeh *et al.*, 2011). با توجه به اهمیت آژیلوپس تائوشی به‌عنوان دهنده ژنوم D گندم نان و گنجینه ارزشمندی از ذخایر ژنی در تحمل به تنش‌ها و از طرف دیگر روند رو به خشکی اقلیم کشور، این تحقیق اجرا شد که هدف از آن، ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و پرمحصول *A. tauschii* بر اساس شاخص‌های تحمل بود. این ژنوتیپ‌ها می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی گندم مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این پژوهش، ۱۲۵ ژنوتیپ گندم نیای آژیلوپس تائوشی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور (جدول ۱) بود که به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی در قالب طرح آگمنت با سه بلوک و شش ژنوتیپ به‌عنوان شاهد در هر بلوک در دو سایت جداگانه تحت آبیاری تکمیلی و دیم مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. طول هر بلوک ۲۵ متر و عرض آن دو متر و طول هر ردیف کاشت ۱/۵ متر بود. با توجه ماهیت این گونه که به‌صورت خودرو و وحشی در طبیعت رشد می‌کند، جهت ارزیابی به‌صورت شرایط طبیعی، هیچ‌گونه کود و مکمل رشدی استفاده نشد. به‌منظور سبز شدن یکنواخت و جوانه‌زنی هم‌زمان، در آزمایش‌های دیم و آبی از یک‌بار آبیاری بلافاصله بعد از کاشت استفاده شد. در شرایط بدون تنش، آبیاری تکمیلی سه مرحله در شروع ساقه‌دهی، مرحله گل‌دهی و مرحله پرشدن دانه نیز انجام گرفت، اما در شرایط تنش، هیچ‌گونه آبیاری تا مرحله برداشت انجام نشد. برای مبارزه با علف‌های هرز نیز هیچ‌گونه علف‌کشی استفاده نشد و مبارزه با علف‌های هرز با وجین دستی انجام شد. پس از رسیدن و برداشت محصول، عملکرد دانه ارقام در دو شرایط (تنش و آبیاری تکمیلی) اندازه‌گیری و به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها برای نظر تحمل به خشکی جهت محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش (جدول ۲) مورد استفاده قرار گرفت. در روابط ریاضی ارایه شده در جدول ۲، Yp عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در شرایط تنش، $\overline{Y}_p$ میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، $\overline{Y}_s$ میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و SI شدت تنش می‌باشد.

برای محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش بر اساس هر یک از روابط ریاضی مربوطه از نرم‌افزار Excel استفاده شد. محاسبه ضرایب همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش با روش متوسط فاصله بین گروه‌ها (UPGMA) با نرم‌افزار SPSS انجام شد. همچنین نمودار بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار STATISTCA رسم شد.

جدول ۱- فهرست و محل جمع‌آوری ژنوتیپ‌های آژیلوپس مورد استفاده در تحقیق حاضر

Table 1. List and collection site of the *Aegilops* genotypes used in this research

No.	Origin (place of collection)	No.	Origin (place of collection)	No.	Origin (place of collection)
1	Iran/jadeh Ardabil-Sarein	43	Iran/un noun	85	Iran/Golestan
2	Iran	44	Tajikistan	86	Iran/unknown
3	Azarbaijan	45	Iran/un noun	87	Iran/Mazandaran
4	Iran/Salman shahr	46	Azarbaijan	88	Iran
5	Iran/Gilan	47	Iran/un noun	89	Iran
6	Iran	48	Iran/un noun	90	Iran
7	Iran/un noun	49	Sweden	91	Iran
8	Iran/un noun	50	Iran/un noun	92	Iran/Semnan
9	Tajikistan	51	Iran/un noun	93	Iran
10	Iran/jadeh Ardabil-Sarein	52	Azarbaijan	94	Iran
11	Iran/roostaye Sadraldin	53	Iran/un noun	95	Iran
12	Iran/jadeh Astara-Ardabil	54	Iran/jadeh Karaj-Chaloos	96	Iran
13	Iran/Ahar-Kelibar	55	Armenia	97	Iran
14	Iran/ramsar	56	Iran/Mazandaran-Amol	98	Iran
15	Iran/ Zanjan	57	Iran/roostaye Ghaemabad-Lahijan	99	Iran
16	Iran/ Salmanshahr-Ramsar	58	Iran/30km Ahar-Kelaibar	100	Iran
17	Iran/Gilan	59	Iran/Gilan-Kalachay	101	Iran/Rasht
18	Iran/Karaj-Chaloos,	60	Iran/un noun	102	Iran
19	Iran/Karaj-Chaloos	61	Iran/un noun	103	Iran
20	Iran/Mazandaran-Amol	62	Iran/5km ta Astaneh Ashrafyeh	104	Iran
21	Iran/ Salmanshahr-Mazandaran	63	Iran/Dashte Moghan	105	Iran/Baraghan
22	Iran/Gilan-3km Astara	64	Iran/Abbasabad –Ramsar	106	Iran/Rezvanshahr
23	Iran/jadeh Karaj- Chaloos,	65	Iran/30km Ahar-Kelaibar	107	Iran/Rezvanshahr
24	Iran/Mazandaran-Amol	66	Iran/Mazandaran-Noshahr	108	Iran/Rezvanshahr
25	Iran/Rasht	67	Iran/20km jadeh Chalooos	109	Iran/Somesara
26	Iran/km5 jadeh Sarein-Ardabil	68	Iran/shahrestan Noor	110	Iran/Astara
27	Iran/Chaloos	69	Iran/shahrestan Noor	111	Iran/Somesara
28	Iran/jadeh galoogah Bandar Behshahr	70	Iran/Rasht- Talesh,	112	Iran/Somesara
29	Iran/10km jadeh Ahar-Tabriz	71	Iran/Karaj-Chaloos	113	Iran/Somesara
30	Afghanistan	72	Iran	114	Iran/rasht-Feiz mahaleh
31	Turkmenistan	73	Iran	115	Iran/rasht-Feiz mahaleh
32	Azarbaijan	74	Iran	116	Iran/rasht-Feiz mahaleh
33	Turkey	75	Iran	117	Iran/Jadeh Ponel
34	Japn	76	Iran/Azarbayjan sharghi	118	Iran/Foman
35	Turkey	77	Iran/Khorasan	119	Iran/Karaj
36	Armenia	78	Iran/Khorasan	120	Iran/Ardabil-roostaye Hayran
37	Iran	79	Iran/Azarbayjan gharbi	121	Iran/Golestan-Aliabad_Ketol
38	Iran	80	Iran/Azarbayjan sharghi	122	Iran/jadeh Ardabil-Sarein,
39	Afghanistan	81	Iran/Semnan	123	Iran/3km ta Astara
40	Iran	82	Iran/Gilan	124	Iran/ebtedaye jadeh Harsin-Noorabad
41	Afghanistan	83	Iran/Gilan	125	Iran
42	Turkey	84	Iran/Azarbayjan sharghi		

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به خشکی استفاده شده در این تحقیق به‌همراه روش محاسبه آن‌ها

Table 2. Drought tolerance indices used in this research together with their calculated formulas

Index name	Symbol	Formula	Reference
Tolerance index	TOL	$TOL = Yp - Ys$	Rosielle and Hamblin (1981)
Mean productivity	MP	$MP = \frac{Ys + Yp}{2}$	Rosielle and Hamblin (1981)
Geometric mean productivity	GMP	$GMP = \sqrt{(Ys)(Yp)}$	Fernandez (1992)
Stress tolerance index	STI	$STI = \left(\frac{Yp}{\overline{Yp}}\right)\left(\frac{Ys}{\overline{Ys}}\right)\left(\frac{\overline{Ys}}{\overline{Yp}}\right) = \frac{(Yp)(Ys)}{(\overline{Yp})^2}$	Fernandez (1992)
Stress susceptibility index	SSI	$SSI = \frac{1 - (\frac{Ys}{Yp})}{SI}$	Fischer and Maurer (1978)
Harmonic mean	HM	$HI = \frac{2(Yp.Ys)}{Yp+Ys}$	Fischer and Maurer (1978)
Yield index	YI	$\frac{Ys}{\overline{Ys}}$	Gavuzzi *et al*. (1997)
Yield stability index	YSI	$YSI = Ys/Yp$	Bouslama and Schapaugh (1984)
Stress intensity	SI	$SI = 1 - \frac{\overline{Ys}}{\overline{Yp}}$	Fischer and Maurer (1978)

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که به‌جز صفت قطر دانه، اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در کلیه صفات دیگر و نیز برهمکنش ژنوتیپ × محیط در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود که دلالت بر وجود تنوع ژنتیکی بالای ژنوتیپ‌های مورد بررسی و رفتار متفاوت آن‌ها در دو شرایط محیطی تنش و بدون تنش داشت. با توجه به معنی‌دار بودن تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای عملکرد، شاخص‌های متفاوت تحمل به تنش در هر یک از ژنوتیپ‌ها محاسبه و تحلیل شد (به‌دلیل طولانی شدن مقاله، جدول ارایه نشده است). بر اساس شاخص TOL ژنوتیپ‌های شماره ۵۵ و ۵۰ که کم‌ترین مقادیر را برای این شاخص داشتند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند. البته انتخاب بر اساس شاخص TOL باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در محیط بدون تنش میانگین بهره‌وری کم‌تری دارند (Rosielle and Hambling, 1981; Fernandez, 1992)، و از این‌رو این شاخص به‌تنهایی نمی‌تواند جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گروه A (که عملکرد خوبی در دو محیط تنش و بدون تنش دارند) مناسب باشد. بر اساس شاخص SSI ژنوتیپ‌های شماره ۱۵ و ۳۶ انتخاب شدند که دارای عملکرد کمی در شرایط تنش بودند. انتخاب بر اساس شاخص SSI نیز باعث می‌شود ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد پایین انتخاب شوند (Fernandez, 1992). از این‌رو، این شاخص نیز نمی‌تواند ژنوتیپ‌های با عملکرد بالای در هر دو شرایط را انتخاب کند. در رابطه با شاخص‌های MP و GMP، ژنوتیپ‌های ۵۵، ۵۸، ۶۵ و ۸۲ دارای بالاترین مقادیر و ژنوتیپ‌های ۴۵، ۳۴، ۳ و ۹ به‌ترتیب دارای کم‌ترین مقادیر بودند. بر اساس شاخص STI نیز ژنوتیپ‌های شماره ۵۵، ۵۸ و ۶۵ دارای بالاترین مقادیر و ژنوتیپ‌های ۴۵، ۳۴، ۳ و ۹ کم‌ترین میزان را داشتند. انتخاب بر اساس GMP، MP و STI نتایج مشابهی نشان داد. جمع‌بندی نتایج تا این مرحله نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۵، ۵۸ و ۶۵ ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های شماره ۴۵، ۳۴، ۳ و ۹ حساس‌ترین هستند. در ادامه جهت حصول اطمینان از افت کم‌تر عملکرد در شرایط تنش، از بین ژنوتیپ‌هایی که بر اساس شاخص‌های بالا انتخاب شدند، آن‌هایی که بیش‌ترین عملکرد را در شرایط تنش (Ys) داشتند، شناسایی شدند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های شماره ۵۰ و ۵۵ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و با عملکرد بالا شناسایی شدند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Results of combined analysis of variance for the traits in stressed and non-stress conditions

Source of variations	df	Mean squares†							
		HI	SPGY	SPB	SPFW	PH	SL	GD	GPS
Environment (E)	1	489.68 ns	468.55**	3587.98**	7171.43**	1951.48**	47.86**	31.28**	50.40**
Block / E	4	410.10	1.14	198.81	459.74	90.165	1.53	0.32	2.31
Genotype (G)	124	461.8**	9.04**	145.64**	355.18**	166.63**	2.21*	0.5 ns	1.95*
G × E	124	400.88**	9.76**	170.36**	393.73**	81.64**	1.94**	0.3 7 ns	1.68**
Error	20	373.94	8.32	342.66	785.72	81.62	1.78	0.54	1.39

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: HI, harvest index; SPGY, single plant grain yield; SPB, single plant biomass; SPFW, single plant fresh weight; PH, plant height; SL, spike length; GD, grain diameter; GPS, grain per spike.

ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل

ضریب همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های تحمل به تنش محاسبه و در جدول ۴ ارایه شد. در تطابق با نتایج بالا، شاخص‌های STI، MP، GMP و TOL همبستگی بالا و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش نشان دادند. این نتیجه با نتایج کاکایی و همکاران (Kakaei *et al.*, 2011) در کلزا و زبرجدی و همکاران (Zebarjadi *et al.*, 2013)در گندم دوروم مطابقت داشت. نورمند و همکاران (Normand *et al.*, 2002) و عزیزی‌نیا و همکاران (Azizinya *et al.*, 2005)در گندم نان گزارش کردند که شاخص STI در یافتن ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد بالایی دارند و متحمل به تنش هستند، از سایر شاخص‌های معرفی‌شده موفق‌تر هستند. فیشر و مائورر (Fisher and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد کردند. این محققین نشان دادند که مقدار کم‌تر SSI، تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و در نتیجه پایداری بیش‌تر آن را نشان می‌دهد. آن‌ها اظهار داشتند که هر چه مقدار عملکرد در شرایط تنش به عملکرد در شرایط بدون تنش نزدیک‌تر باشد، حساسیت رقم به خشکی کم‌تر است (Fisher and Maure, 1978). همچنین با استفاده از شاخص SSI ژنوتیپ‌های گروه C و B از سایر گروه‌ها بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) قابل تمایزند. احمدزاده و همکاران (Ahmadzadeh *et al.*, 1989) گزارش کردند که استفاده از شاخص SSI از مزایای بیش‌تری برای گزینش ارقام مطلوب گندم در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار است. برخی محققین تلاش‌هایی در جهت تعیین بهترین معیار به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب برای مناطق خشک انجام داده‌اند. سی و سه مرده و همکاران (Siosemardeh *et al.*, 2006) گزارش کردند که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های GMP، MP و STI برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند.

جدول ۴- ضریب همبستگی بین شاخص‌های تحمل مورد بررسی در این تحقیق

Table 4. Corrolation coefficients between the studied drought indices in this research

Index†	Yp	Ys	SSI	STI	MP	GMP	TOL	YI	YSI	HARM
Yp	1									
Ys	-0.48ns	1								
SSI	0.472**	-0.735**	1							
STI	0.596**	0.696**	0.007ns	1						
MP	0.838**	0.503**	-0.118ns	0.895**	1					
GMP	0.631**	0.676**	0.775**	0.967**	0.914**	1				
TOL	0.853**	-0.562**	-0.735**	0.129ns	0.43**	0.169ns	1			
YI	-0.048ns	0.999**	-0.999**	0.696**	0.503**	0.675**	-0.526**	1		
YSI	-0.472**	0.735**	-0.204*	0.163ns	-0.01ns	0.118ns	-0.775**	0.736**	1	
HARM	0.381**	0.731**	-0.114*	0.901**	0.729**	0.942**	-0.066ns	0.731**	0.205*	1

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

†: Yp, yield in non-stress conditions; Ys, yield in stress conditions; GMP, geometric mean productivity; HARM, harmonic mean; MP, mean productivity; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; TOL, tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index.

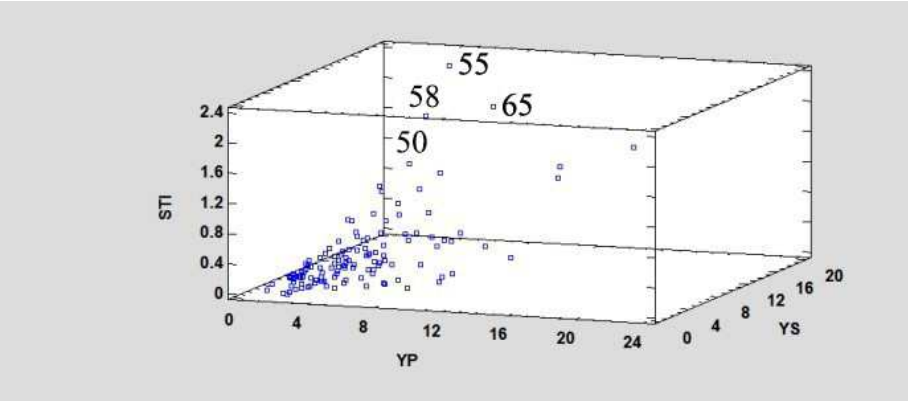
نمودار سه‌بعدی

با توجه به نتایج بهتر و مشابه سه شاخص GMP، MP و STI و همبستگی بالای آن‌ها با عملکرد در هر دو شرایط تنش و آبیاری تکمیلی، نمودار سه‌بعدی (شکل ۱) رسم شد که در آن شاخص STI به‌عنوان نماینده شاخص‌های مطلوب تحمل به تنش در مقابل عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان داده شده است. نتایج این نمودار نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۵، ۵۸ و ۶۵ به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بودند و در نتیجه به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گروه A فرناندز (Fernandez, 1992) قرار گرفتند. از نمودار سه‌بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها در مطالعات دیگری نیز استفاده شده است (Khaksar *et al.*, 2014).

تجزیه به مولفه‌های اصلی

برای توصیف و تحلیل ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تحمل به خشکی از تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده و نتایج در جدول ۵ ارایه شد. در این تجزیه، از ماتریس ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به همراه عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش در ۱۲۵ ژنوتیپ استفاده و پس از استخراج مولفه‌های اصلی، سهم هر مولفه و سهم تجمعی آن‌ها در توجیه واریانس کل داده‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد که ۹۷/۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها به‌وسیله دو مولفه اصلی اول و دوم بیان شد، به‌طوری‌که سهم مولفه اصلی اول در توجیه واریانس داده‌ها ۶۷/۶۷ درصد و سهم مولفه اصلی دوم ۲۳/۹۵ درصد بود.

مولفه اصلی اول، همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش و نیز شاخص‌های GMP، MP، STI و TOL داشت. بنابراین، مولفه اول را می‌توان به‌عنوان مولفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد (Zebarjadi *et al.*, 2013). با توجه به اینکه میزان بالای این شاخص‌ها مطلوب است، بنابراین اگر در بای‌پلات حاصل (شکل ۲)، مقادیر بالا و مثبت این مولفه در نظر گرفته شود، ارقامی انتخاب می‌شوند که دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش و GMP، MP، STI و TOL بالایی هستند.



شکل ۱- نمودار سه‌بعدی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و شاخص تحمل به تنش (STI)

Figure 1. Three dimentional graph of the studied genotypes using yield under non-stress (Yp) and drought stress (Ys) conditions and stress tolerance index (STI)

جدول ۵- تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش

Table 5. Principle component analysis (PCA) using stress tolerance indices

Principal component	Eigen value	Cumulative variance (%)	Yp	Ys	HARM	YSI	YI	TOL	GMP	MP	STI	SSI
1	34.27	67.67	0.94	-0.35	0.14	-0.69	-0.35	0.97	0.38	0.62	0.34	0.69
2	14.86	97.02	0.3	0.93	0.88	-0.69	0.92	-0.22	0.89	0.77	0.89	-0.51

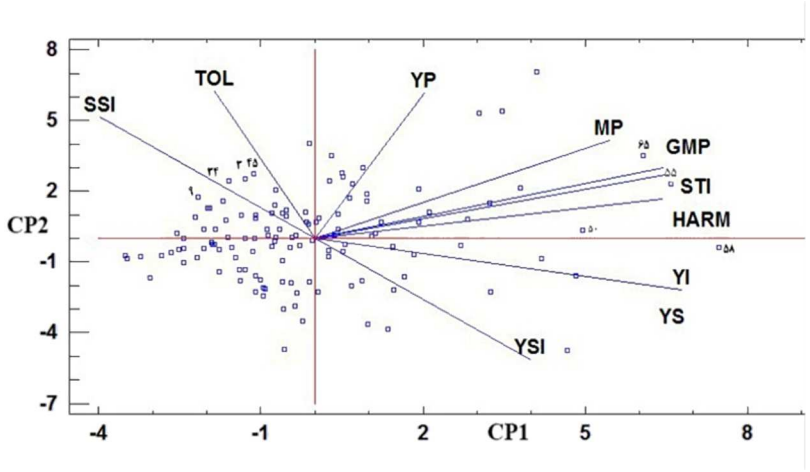
Yp, yield under non-stress conditions; Ys, yield under stress conditions; GMP, geometric mean productivity; HARM, harmonic mean; MP, mean productivity; SSI, stress susceptibility index; STI, stress tolerance index; TOL, tolerance index; YI, yield index; YSI, yield stability index.

در مقابل، مولفه اصلی دوم ۲۹/۳۵ درصد از سهم تغییرات کل را توجیه کرد و همبستگی منفی بالا با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت بالا با GMP، MP، STI و TOL و تا حدودی عملکرد در شرایط بدون تنش داشت. ازاین‌رو، به نام مولفه حساسیت به تنش خشکی و پایداری عملکرد نام‌گذاری شد. این مولفه می‌تواند ژنوتیپ‌های با پایداری عملکرد کم و پتانسیل عملکرد متوسط را انتخاب کند. ازآنجایی که مقادیر کم TOL و SSI مطلوب هستند، پس اگر در بای‌پلات حاصل (شکل ۲)، نواحی با میزان پایین این مولفه در نظر گرفته شود، می‌توان ژنوتیپ‌های با Ys بالا و TOL و SSI پایین را انتخاب کرد. خضری عفراوی و همکاران (Khezri Afravi *et al.*, 2010) نیز به‌منظور بررسی تعدادی از ارقام بومی و تجاری گندم دوروم از نظر برخی صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و مورفولوژیک مرتبط با مقاومت به خشکی تحت شرایط تنش آبی و بدون تنش نشان دادند که شاخص‌های میانگین هارمونیک، بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی و تحمل به خشکی همبستگی مثبت و بسیار بالایی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارند و به‌عنوان بهترین شاخص‌ها شناسایی شدند. طالبی و همکاران (Talebi *et al.*, 2009) نیز با مطالعه لاین‌های گندم دوروم به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری، بهره‌وری متوسط و شاخص تحمل به خشکی شاخص‌های مطلوبی برای شناسایی لاین‌های گندم تحت شرایط تنش و بدون تنش هستند.

رسم نمودار بای‌پلات

از آنجا که مولفه اول تغییراتی را در بر می‌گیرد که توسط مولفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، از این جهت دو مولفه را می‌توان به صورت دو محور عمود بر هم نمایش داد و پراکنش ژنوتیپ‌ها را بر اساس این دو مولفه در قالب یک نمودار دوبعدی به نام بای‌پلات مشخص کرد. در نمودار بای‌پلات ترسیم شده بر مبنای مولفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۲) ژنوتیپ‌ها در درون گروه‌هایی قرار گرفته‌اند که با میانگین عملکرد و تحمل به تنش مرتبط هستند.

نمودار بای‌پلات (شکل ۲) نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۵، ۵۸ و ۶۵ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی (MP، GMP و STI) قرار گرفتند. ژنوتیپ شماره ۵۵ به بردار مربوط به عملکرد در شرایط آبیاری تکمیلی تمایل داشت و این بیانگر این است که مقادیر بالا برای شاخص تحمل به خشکی در این ژنوتیپ بیش‌تر به‌علت عملکرد بالای آن تحت شرایط آبیاری تکمیلی (بدون تنش) بوده است. ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۹، ۳۴ و ۴۵ نیز در مجاورت شاخص‌های حساسیت به تنش و تحمل قرار گرفتند و بنابراین، این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی و دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های آبی هستند. زاویه حاده بین شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM نیز نشان دهنده وجود همبستگی بین این شاخص‌ها است.

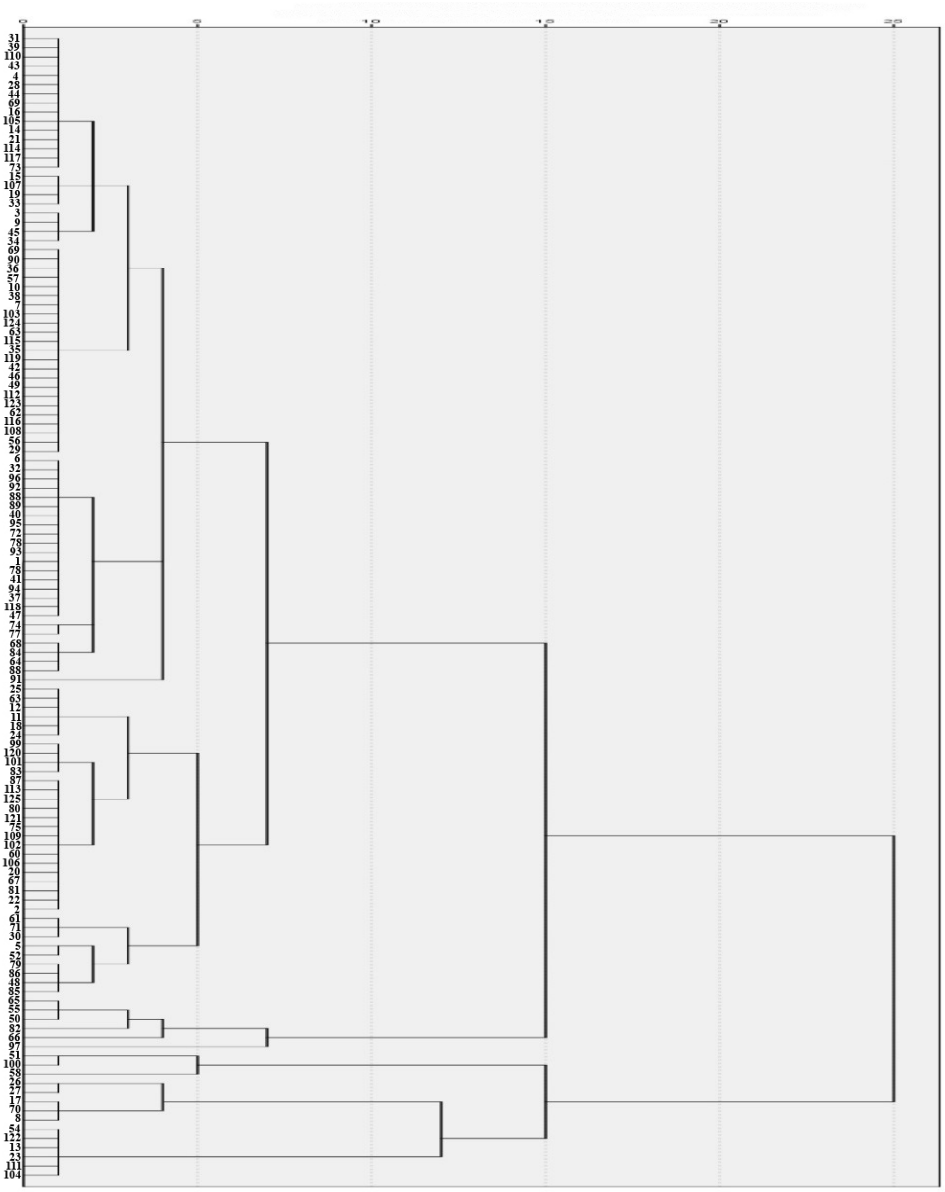


شکل ۲- بای‌پلات مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های آژیلوپس تائوشی بر اساس دو مولفه اصلی اول و دوم

Figure 2. Biplot of drought tolerance indices in *Aegilops tauschii* genotypes based on first and second principal components

تجزیه خوشه‌ای

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های MP، GMP، STI، TOL، Ys و Yp از تجزیه خوشه‌ای به روش متوسط فاصله بین گروه‌ها (UPGMA) استفاده و نتایج در شکل ۳ ارایه شد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را می‌توان در هفت گروه مختلف دسته‌بندی کرد (شکل ۳). بر این اساس، تجزیه ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۵، ۵۸ و ۶۵ که دارای بالاترین مقادیر برای شاخص‌های تحمل به تنش بالا بودند، در دو گروه ۳ و ۵ قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۵۰، ۵۵ و ۶۵ در گروه ۳ و ژنوتیپ شماره ۵۸ در گروه ۵ قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۸۲ و ۶۶ که دارای مقادیر مطلوب شاخص‌ها بودند نیز در گروه شماره ۳ قرار گرفتند. به‌طور کلی بررسی مقادیر شاخص‌های تحمل در هر یک از گروه‌های هفت‌گانه حاصل از این تجزیه و مقایسه این مقادیر در بین گروه‌ها نشان داد که دو گروه ۶ و ۷ دارای مقادیر مناسب و مطلوبی برای شاخص‌های مختلف هستند و بنابراین ژنوتیپ‌های موجود در این دو گروه را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی معرفی کرد.



شکل ۳- تجزیه خوشه‌ای ۱۲۵ ژنوتیپ آژیلوپس تائوشی بر اساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از روش UPGMA

Figure 3. Cluster analysis of 125 *Aegilops tauschii* genotypes based on grain yield and drought tolerance indices using UPGMA method

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، STI و TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و با عملکرد تحت دو شرایط بدون تنش (آبیاری تکمیلی) و تنش خشکی (بدون آبیاری تکمیلی) داشتند و می‌توان از آن‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی استفاده کرد. در مجموع بر اساس نتایج تجزیه‌های آماری مختلف، ژنوتیپ‌های ۵۰، ۵۵، ۵۸ و ۶۵ متحمل و ژنوتیپ‌های ۴۵، ۳۴، ۳ و ۹ حساس به خشکی شناخته شدند. در نهایت، با بررسی دقیق‌تر و توجه به افت عملکرد کم‌تر ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش، دو ژنوتیپ ۵۰ و ۵۵ از امتیاز بالاتری برخوردار بودند و به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه ژنوم D گندم نان از والد دیپلوئید وحشی آن، آژیلوپس تائوشی به ارث رسیده است که علاوه بر نقش مهم آن در کیفیت و عملکرد گندم نان، از نظر دامنه وسیع سازگاری نیز بسیار حائز اهمیت است، از این‌رو به‌نظر می‌رسد که بتوان از ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شده در مطالعات مربوط به خشکی استفاده و برنامه‌های به‌نژادی هدف‌مندی را جهت انتقال ژن‌های مفید آن‌ها به ارقام گندم طراحی کرد.

References

Aghaee-Sarbarzeh, M., Rostaee, M., Mohammadi, R., Haghparast, R. and Rajabi, R. 2009. Determination of drought tolerant genotypes in bread wheat. **Journal of Crop Production** 2 (1): 1-23. (In Persian with English Abstract).

Ahmadzadeh, S. and Jafari Shabestari, H. 1989. Evaluation of wheat cultivars for drought resistance. **Iranian Journal of Agriculture Science** 19: 37-42. (In Persian with English Abstract).

Azizinya, Sh., Ghanadha, M. R., Zali, A. A., Yazdi Samadi, B. and Ahmadi, A. 2005. An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotypes in stress and non-stress conditions. **Iranian Journal of Agriculture Science** 36 (2): 281-293. (In Persian with English Abstract).

Bouslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science** 24: 933-937.

Dhanda, S. S., Sethi, G. S. and Behl, R. K. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. **Journal of Agronomy and Crop Science** 190: 6-12.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of an International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. August 13-16, 1992, Taiwan. pp: 257-270.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research** 14: 742-754.

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

Ghasemzadeh, R., Bihamta, M. R., Omidi, M., Mohammadi, V. and Aghaii M. J. 2011. Morphological variation in *Aegilops tauschii* wild populations in Iran and their reaction to yellow rust 134E134A at seedling stage. **Iranian Journal of Crop Science** 42 (3): 431-443. (In Persian with English Abstract).

Hegde, S. G., Valkoun, J. and Waines, J. G. 2002. Genetic diversity in wild and weedy *Aegilops*, *Amblyopyrum* and *Secale* species - a preliminary survey. **Crop Science** 42 (2): 608-614.

Jaffar Aghaei, M., Naghavi, M. R., Taleei, A. R., Omidi, M. and Mozafari, J. 2008. A study of chromosome homology between three Iranian *Aegilops* species with D genome and bread wheat (*T. aestivum*). **Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research** 2: 95-112. (In Persian with English Abstract).

Jia, J., Zhao, S., Kong, X., Li, Y., Zhao, G., He, W., Appels, R., Pfeifer, M., Tao, Y., Zhang, X., Jing, R., Zhang, C., Ma, Y., Gao, L., Gao, C., Mayer, K. F., Li, D., Pan, S., Zheng, F., Hu, Q., Xia, X., Li, J., Liang, Q., Chen, J., Wicker, T., Gou, C., Kuang, H., He, G., Luo, Y., Keller, B., Xia, Q., Lu, P., Wang, J., Zou, H., Zhang, R., Xu, J., Gao, J., Middleton, C., Quan, Z., Liu, G., Wang, J., Yang, H., Liu, X., He, Z., Mao, L. and Wang, J. 2013. *Aegilops tauschii* draft genome sequence reveals a gene repertoire for wheat adaptation. **Nature** 496: 91-95.

Kakaei, M., Zebarjadi, A., Mostafaie, A. and Rezaeizad, A. 2011. Determination of drought tolerant genotypes in *Brassica napus* L. based on drought tolerance indice. **Journal of Crop Production** 4: 107-124. (In Persian with English Abstract).

Khaksar, N., Farshadfar, E. and Mohammadi, R. 2014. Evaluation of durum wheat advanced genotypes based on drought tolerance indices. **Cereal Research** 3 (4): 267-279. (In Persian with English Abstract).

Khezri Afrawi, M., Hoseinzadeh, A., Mohammadi, V. and Ahmadi, A. 2010. Evaluation of drought resistance in some Iranian landraces of durum wheat (*Triticum turgidum*). **Iranian Journal of Field Crop Science** 41 (4): 741-753. (In Persian with English Abstract).

Lagudah, E. S. and Halloran, G. M. 1988. Phylogenetic relationships of *Triticum tauschii* the D genome donor to hexaploid wheat. 1. Variation in HMW subunits of glutenin and gliadins. **Theoretical and Applied Genetics** 75: 592-598.

Lagudah, E. S. and Halloran, G. M. 1989. Phylogenetic relationships of Triticum tauschii the D genome donor to hexaploid wheat. 3. Variation in, and the genetics of, seed esterases. **Theoretical and Applied Genetics** 77: 851-856.

Lagudah, E. S., Appels, R. and McNeil, D. 1991. The *Nor-D3* locus of *Triticum tauschii*. Natural variation and genetic likage to markers in chromosome 5. **Genome** 34 (3): 387-397.

Nazeri Tahrudi, M., Khalili, K. and Ahmadi, F. 2016. Spatial and regional analysis of precipitation trend over Iran in the last half of century. **Journal of Water and Soil** 30 (2): 643-654. (In Persian with English Abstract).

Normand Moaied, F., Rostami, M. and Ghanadha, M. 2002. Evaluation of drought resistance indices in bread wheat. **Iranian Journal of Agriculture Science** 32 (4): 795-805. (In Persian with English Abstract).

Rosielle, A. T. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science** 21: 943-945.

Siosemardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research** 98: 222-229.

Talebi, R., Fayaz, F. and Mohammadnaji, A. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology** 35: 64-74.

Zebarjadi, A., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A. and Mohamadi, R. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices**. Seed and Plant Improvment Journal** 29: 1-12. (In Persian with English Abstract).

doi: 10.22124/c.2019.10113.1391

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 8, No. 4, Winter 2019 (483-494)

Assessing *Aegilops tauschii* genotypes to drought stress using tolerance indices

Mehran Falaknaz[1], Ali Aalami[2*], Ali Ashraf Mehrabi[3], Atefeh Sabouri[4] and Danial Kahrizi[5]

Received: April 28, 2018 Accepted: November 3, 2018

Abstract

The drought and its effect are the most important and common environmental stress that has limited agricultural production in the world. One of the useful strategies of crop breeding for drought resistance is maintaining and exploiting the diversity of their germplasms. To identify drought tolerant sources, 125 *Aegilops tauschii* genotypes in an augmented design with three replications under two control (supplementary irrigation in three stages of jointing, flowering and seed filling) and drought stress (without supplementary irrigation) conditions were cultivated and evaluated based on tolerance indices. Correlation coefficients between yield and tolerance indices showed that the indices of mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance index (STI) and tolerance index (TOL) were suitable for identifying high yielding genotypes under both stress and non-stress conditions. Based on these indices, genotypes 50, 55, 58 and 65 were identified as the most tolerant genotypes and genotypes 45, 34, 3 and 9 as the most sensitive genotypes. Cluster analysis based on tolerance indices using between-group average method (UPGMA) classified the studied genotypes into seven different groups. Genotypes number 50, 55, 58, and 65, with the highest values for above mentioned indices, were placed in two groups three and five. Finally, according to the results of different analyzes, genotypes number 50 and 55 were identified as the most tolerant genotypes, which could be considered as suitable genetic sources in wheat breeding programs for drought tolerance.

Keywords: Cluster analysis, Drought stress, Germplasm, Grain yield

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
3. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran
4. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
5. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Razi, Kermanshah, Iran
* Corresponding author: ali_aalami@guilan.ac.ir