

به‌گزینی ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris Medik*) با تأکید بر مقایسه شاخص‌های قدیمی و جدید

تحمل به تنش خشکی به‌منظور معرفی ژنوتیپ‌های امیدبخش

محمدحسن وفايي^۱، مهدی پارسا^{۲*}، احمد نظامی^۳ و علی گنجعلي^۴

۱- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، mhvafae45@gmail.com

۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی و عضو هیئت علمی پیوسته پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی و عضو هیئت علمی پیوسته پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، nezami@um.ac.ir

۴- دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم و عضو هیئت علمی پیوسته پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، ganjeali@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی و به‌گزینی ژنوتیپ‌های عدس متحمل به تنش خشکی و مقایسه شاخص‌های قدیمی و جدید تحمل به تنش، آزمایشی در قالب طرح آگمنت تحت دو شرایط متفاوت رطوبتی (یک‌بار آبیاری در زمان کاشت و آبیاری هر ۱۰ روز یک‌بار) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. ارزیابی تحمل به تنش خشکی، بر اساس هفت شاخص قدیمی (TOL, MP, SSI, STI, GMP, HARM, RDI) و سه شاخص جدید (SNPI, ATI و SSPI) با استفاده از ۷۳ ژنوتیپ عدس، شامل ۶۷ توده بومی و لاین از ایران و دیگر کشورها و شش نمونه شاهد (سه رقم ایرانی بیله‌سوار، کیمیا و گچساران و سه نمونه از ایکاردا شامل Cabralinta, ILL325 و ILL857) صورت گرفت. مطالعه همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط عدم‌تنش و تنش خشکی و شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که سه شاخص قدیمی HARM, STI, GMP و شاخص جدید SNPI، برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش مناسب هستند. برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، تجزیه کلاستر انجام گرفت و رسم دندروگرام، بر اساس عملکرد گیاه، تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های مورد بررسی، ژنوتیپ‌ها را به سه کلاستر گروه‌بندی کرد که ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و با عملکرد بالا در کلاستر سوم قرار گرفتند. همچنین ترسیم بای پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های ۳، ۸، ۴۰، ۴۵، ۴۸، ۵۲، ۷۱ و ۷۳ که دو ژنوتیپ آخر آن جزو شاهد‌های آزمایش بودند، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و با عملکرد بالا هستند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه کلاستر، شاخص‌های مقاومت به خشکی، همبستگی

مقدمه

غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌روند. این گیاهان با تثبیت زیستی نیتروژن هوا، بخش عمده نیتروژن موردنیاز خود را تأمین نموده (Walley et al., 2007) و به دلیل آن‌که از نظر فراهمی آب و عناصر غذایی موردنیاز، گیاهانی کم‌توقعی هستند، برای کشت در نظام‌های زراعی کم‌نهاد، گزینه‌ای مطلوب به‌شمار می‌روند (Parsa & Bagheri, 2008).

عدس (*Lens culinaris Medik*) یکی از حبوباتی است که با داشتن بیش از ۲۰ درصد پروتئین و خصوصیات همچون توانایی رشد در شرایط نامناسب و خاک‌های فقیر توانسته به‌عنوان یک‌گونه گیاهی باارزش نقش مهمی را در رژیم غذایی اقشار کم‌درآمد مردم کشورهای درحال توسعه ایفا کند (Tadayyon et al., 2011). بر اساس آمار FAO، سطح زیرکشت جهانی عدس در سال ۲۰۱۶ حدود ۵۴۸۱۰۰۰ هکتار و متوسط عملکرد جهانی آن ۱۱۵۲ کیلوگرم در هکتار بوده است

امروزه تنش خشکی یکی از مشکلات اساسی کشاورزی در ایران و جهان می‌باشد (Kafi et al., 2009)، به‌طوری‌که در بین عوامل محیطی محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی، خشکی، مهم‌ترین عامل کاهش تولید به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Alderfasia & Nielsen, 2001). تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان، باعث محدودیت رشد و بروز برخی تغییرات فیزیولوژیک و متابولیک در آن‌ها می‌گردد (Kafi et al., 2009).

حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین، نقش به‌سزایی در تأمین پروتئین موردنیاز بشر، خصوصاً در کشورهای کم‌درآمد و درحال توسعه داشته و بعد از

* نویسنده مسئول: parsaa@um.ac.ir

پژوهشگران در بررسی این شاخص‌ها دریافتند که کارآمدی آن‌ها، به‌شدت و مدت تنش خشکی بستگی دارد (Panthuwan *et al.*, 2002). از جمله این شاخص‌ها می‌توان به: شاخص حساسیت به تنش^۱ SSI (Fischer & Maurer, 1978)، شاخص خشکی نسبی^۲ RDI (Bidinger *et al.*, 1978)، شاخص تحمل^۳ TOL (Rosielle & Hamblin, 1981)، شاخص متوسط باروری^۴ MP (Rosielle & Hamblin, 1981) و همچنین شاخص‌های تحمل تنش^۵ STI و شاخص میانگین هندسی محصول^۶ GMP (Fernandez, 1992) اشاره کرد.

هر یک از شاخص‌های بالا دارای محاسن و معایبی هستند و تاکنون، محققان بسیاری برای تعیین میزان حساسیت گیاهان مورد مطالعه به تنش خشکی از آن‌ها استفاده کرده‌اند؛ اما به نظر (Moosavi *et al.*, 2008) مشکل عمده این شاخص‌ها، آن است که نمی‌توانند گروه‌های فرزندزی را به راحتی مجزا سازند. به همین جهت وی و همکارانش سه شاخص جدید: شاخص تنش‌های غیرزنده^۷ ATI، شاخص درصد حساسیت به تنش^۸ SSPI و شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش^۹ SNPI را پیشنهاد کردند که به عقیده وی و همکاران، دو شاخص اول، بهتر می‌توانند ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل را از ژنوتیپ‌های حساس جدا کنند و شاخص سوم نیز به خوبی قادر است ژنوتیپ‌های گروه A را که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش عملکرد بالایی دارند، از سایر گروه‌ها جدا سازد.

با توجه به جایگاه و اهمیت حبوبات و به‌ویژه گیاه عدس در ایران و لزوم مواجهه با تنش فزاینده خشکی در کشور، این مطالعه باهدف به‌گزینی ژنوتیپ‌های عدس متحمل به خشکی با تأکید بر مقایسه شاخص‌های قدیمی و جدید تحمل به تنش به منظور معرفی ژنوتیپ‌های امیدبخش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. در این پژوهش، ۷۳ ژنوتیپ عدس شامل توده‌های بومی و لاین‌های عدس کشور و نمونه‌هایی از سایر کشورها در دو قطعه مجزا تحت شرایط عدم تنش آبی و تنش، کشت شدند.

که قاره آمریکا (با ۵۵/۴ درصد) و آسیا (با ۳۶/۸ درصد) به ترتیب بیشترین سهم را در تولید این محصول به خود اختصاص داده‌اند. بنا بر گزارش وزارت جهاد کشاورزی، در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ سطح زیرکشت عدس در ایران ۱۳۱۴۵۰ هکتار بوده است که حدود ۱۶/۷ درصد از کل اراضی زیرکشت حبوبات (۷۸۷۳۰۰ هکتار) را شامل می‌شود. ۹۵ درصد عدس تولیدی کشور به صورت دیم بوده و تنها ۷۱۰۰ هکتار از آن به روش آبی تولید می‌گردد. متوسط عملکرد عدس دیم و آبی در کشور، به ترتیب ۵۹۴ و ۱۲۴۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Agricultural Statistics, 2016).

با توجه به این‌که موفقیت یک برنامه اصلاحی و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب، به حجم و تنوع موجود در ذخایر ژنتیکی بستگی دارد، بررسی تنوع ژنوتیپ‌ها، بزرگ‌ترین شانس برای رسیدن به موفقیت در گزینش محسوب می‌شود (Mishra *et al.*, 2007). لذا شناسایی ارقام پرمحصول و متحمل و همچنین شناخت عوامل محدودکننده پتانسیل عملکرد در عدس، امری ضروری به نظر می‌رسد. (Bitaraf *et al.*, 2010) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در گیاه عدس باید به گزینش لاین‌هایی با ارتفاع بوته بیشتر و دوره رشد طولانی‌تر اقدام نمود. (Rashidi *et al.*, 2012) با مطالعه اثر تنش خشکی در مرحله زایشی بر روی ۱۵ توده عدس بومی ایران اظهار داشتند که در بسیاری از صفات اندازه‌گیری شده، تنوع قابل توجهی بین توده‌های مورد مطالعه وجود دارد و عملکرد و تعداد دانه در بوته بیشترین تأثیرپذیری از شرایط تنش خشکی را دارند. تحمل به خشکی صفتی کمی است و برای اندازه‌گیری مستقیم آن روش واحدی وجود ندارد و همین موضوع، موجب مشکل شدن شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی می‌شود (Takeda & Matsuoaka, 2008).

(Blum, 1988) معتقد است که انتخاب برای مقاومت به خشکی باید با انتخاب مواد ژنتیکی برای پتانسیل عملکرد بالا در شرایط بدون تنش همراه باشد. بنابراین ارقامی که در شرایط رطوبتی مناسب و شرایط تنش خشکی عملکرد باثبات‌تری داشته و یا لاقط تفاوت عملکرد آن‌ها کم باشد، احتمالاً مقاومت نسبی بیشتری به خشکی خواهند داشت. به نظر می‌رسد که عملکرد دانه بالا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، اولین قدم برای انتخاب ژنوتیپ‌ها برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی در شرایط تنش خشکی باشد (Farshadfar *et al.*, 2001).

محققان، شاخص‌هایی تحت عنوان شاخص‌های تحمل به خشکی را معرفی نموده‌اند که جهت شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به این تنش مورد استفاده قرار می‌گیرند.

¹ Stress Susceptibility Index

² Relative Drought Index

³ Tolerance Index

⁴ Mean Productivity

⁵ Stress Tolerance Index

⁶ Geometric Mean Productivity

⁷ Abiotic Tolerance Index

⁸ Stress Susceptibility Percentage Index

⁹ Stress Non-stress Production Index

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های عدس مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Characteristics of lentil genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ ^۱ Genotype name (MLC ^۱)	منشأ ژنوتیپ Genotype origin	شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name (MLC)	منشأ ژنوتیپ Genotype origin	شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name (MLC)	منشأ ژنوتیپ Genotype origin
1	MLC 1	بیرجند Birjand	26	MLC 178	طَبَس Tabas	51	MLC 362	ایران Iran
2	MLC 12	فردوس Ferdaws	27	MLC 179	ایران Iran	52	MLC 363	ایران Iran
3	MLC 25	گناباد Gonabad	28	MLC 180	ILL75582	53	MLC 366	ایران Iran
4	MLC 35	ارومیه Urmia	29	MLC 182	ILL707	54	MLC 368	ایران Iran
5	MLC 49	قائن Qaen	30	MLC 189	ILL7211	55	MLC 370	ایران Iran
6	MLC 55	بجنورد Bojnord	31	MLC 193	ILL7667	56	MLC 373	ایران Iran
7	MLC 59	بجنورد Bojnord	32	MLC 196	ILL7678	57	MLC 375	ایران Iran
8	MLC 88	آشخانه Ashkhaneh	33	MLC 201	ILL7681	58	MLC 377	ایران Iran
9	MLC 91	آشخانه Ashkhaneh	34	MLC 209	ILL6434	59	MLC 382	ایران Iran
10	MLC 95	بیرجند Birjand	35	MLC 216	ILL7720	60	MLC 383	ایران Iran
11	MLC 97	بیرجند Birjand	36	MLC 220	ILL7155	61	MLC 384	ایران Iran
12	MLC 101	زابل Zabol	37	MLC 221	ILL6466	62	MLC 386	ایران Iran
13	MLC 102	زابل Zabol	38	MLC 232	ILL5588	63	MLC 387	ایران Iran
14	MLC 103	زابل Zabol	39	MLC 235	ILL4401	64	MLC 389	گیلان Gilan
15	MLC 105	زابل Zabol	40	MLC 239	ILL5729	65	رابط Robat	ایران Iran
16	MLC 121	گیلان Gilan	41	MLC 240	ILL5728	66	شاهرود Shahrood	ایران Iran
17	MLC 124	گیلان Gilan	42	MLC 241	ILL5750	67	قزوین Qazvin	ایران Iran
18	MLC 137	گیلان Gilan	43	MLC 260	گیلان Gilan			
19	MLC 138	ایران Iran	44	MLC 261	آشخانه Ashkhaneh		ژنوتیپ‌های شاهد: Control Genotypes	
20	MLC 139	ایران Iran	45	MLC 352	ایران Iran	68	بیله‌سوار Bilehsevar	ایران Iran
21	MLC 141	ایران Iran	46	MLC 353	ایران Iran	69	کیمیا Kimia	ایران Iran
22	MLC 154	ایران Iran	47	MLC 355	ایران Iran	70	گچساران Gachsaran	ایران Iran
23	MLC 156	ایران Iran	48	MLC 356	ایران Iran	71	ایکاردا Cabralinta	ایکاردا ICARDA
24	MLC 159	گیلان Iran	49	MLC 358	ایران Iran	72	ایکاردا ILL325	ایکاردا ICARDA
25	MLC 174	کلات Kalaat	50	MLC 360	ایران Iran	73	ایکاردا ILL857	ایکاردا ICARDA

* منشأ کلیه ژنوتیپ‌هایی که نام آنها با حرف I شروع شده، ایکاردا (ICARDA) می‌باشد.

* The origin of all genotypes that whose names are initiated with I letter is ICARDA.

^۱ کد بدر در بانک بدر پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ Mashhad Lentil Collection (MLC)

^۳ ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) Lentil Line (ILL)

۵- شاخص تحمل به خشکی (STI) (Fernandez,)

$$STI = \frac{(Y_s * Y_p)}{(\bar{Y}_p)^2} \quad (1992)$$

۶- شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

$$GMP = \sqrt{(Y_p * Y_s)} \quad (Fernandez, 1992)$$

۷- شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)

(Moosavi et al., 2008):

$$SSPI = 100 * \left[\frac{(Y_p - Y_s)}{2(\bar{Y}_p)} \right]$$

۸- شاخص تنش‌های غیرزنده (ATI) (Moosavi et al.,)

$$ATI = \left[\frac{(Y_p - Y_s)}{(\bar{Y}_p - \bar{Y}_s)} \right] * \left[\sqrt{Y_p * Y_s} \right] \quad (2008)$$

۹- شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش (SNPI)

(Moosavi et al., 2008):

$$SNPI = \sqrt[3]{\frac{(Y_p + Y_s)}{(Y_p - Y_s)}} * \sqrt[3]{Y_p * Y_s * Y_s}$$

۱۰- شاخص خشکی نسبی (RDI) (Biding et al.,)

$$RDI = (Y_s / Y_p) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p) \quad (1978)$$

Y_p : میانگین عملکرد ژنوتیپ در شرایط عدم تنش

(شاهد); Y_s : میانگین عملکرد ژنوتیپ تحت شرایط تنش;

\bar{Y}_p : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط عدم تنش و

\bar{Y}_s : میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش می‌باشد.

برای تعیین روابط بین عملکرد دانه در شرایط عدم تنش

(Y_p) و تنش (Y_s) با شاخص‌های تحمل، از ضرایب همبستگی

ساده استفاده شد. همچنین جهت تعیین فاصله ژنتیکی (میزان

خویشاوندی) ژنوتیپ‌های مورد بررسی، از تجزیه خوشه‌ای به

روش Ward استفاده گردید. برای انجام محاسبات آماری از

نرم‌افزار JMP 8.0، ترسیم نمودارهای سه‌بعدی و بای‌پلات از

نرم‌افزار Statgraphics XVII-X64 و برای خوشه‌بندی

ژنوتیپ‌ها و ترسیم دندروگرام از نرم‌افزار Minitab 17 استفاده

گردید.

نتایج و بحث

نتایج بررسی میانگین و انحراف معیار نشان داد که بین

عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در شرایط بدون تنش و تنش

خشکی، اختلافات قابل توجهی وجود دارد (جدول ۳).

بر این اساس، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش

۲۰/۴ گرم بر مترمربع بود که نسبت به میانگین آن در شرایط

بدون تنش با ۶۸/۶ گرم بر مترمربع، ۷۰/۳ درصد کاهش داشت.

با توجه به میزان ۱۴۷ میلی‌متر بارندگی از زمان کاشت تا

با توجه به تعداد زیاد ژنوتیپ‌ها، از طرح آماری مقایسه عملکرد مقدماتی (آگمنت^۱) برای کاشت استفاده گردید و در هر قطعه، چهار بلوک در نظر گرفته شد. هر بلوک شامل ۲۵ خط کاشت، با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و طول سه متر بود و در هر خط، یک ژنوتیپ کاشته شد. با توجه به نوع طرح، از شش ژنوتیپ (سه رقم ایرانی بیل‌سوار، کیمیا و گچساران و سه ژنوتیپ از یکاردا شامل ILL325، Cabralinta و ILL857) به عنوان شاهد استفاده گردید (جدول ۱).

نمونه‌های شاهد، در هر چهار بلوک در هر قطعه زمین، به صورت تکراری و سایر ژنوتیپ‌ها بدون تکرار کشت گردیدند. قبل از انجام عملیات کاشت، از خاک مزرعه در عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید و مقادیر pH، درصد ماده آلی، EC، عناصر ماکرو (N، P و K) و همچنین نوع بافت خاک تعیین شدند (جدول ۲). کاشت در تاریخ ۲۰ اسفندماه سال ۱۳۹۲ انجام شد و همزمان با کاشت، بر اساس توصیه کودی آزمایشگاه مقدار عناصر مورد نیاز، به خاک اضافه گردید و بلافاصله پس از کشت، جهت اطمینان از سبزشدن تمامی بذور، یک مرحله آبیاری برای هر دو شرایط کشت دیم (تنش خشکی) و آبی (عدم تنش) صورت گرفت. پس از آن، آبیاری فقط برای تیمارهای عدم تنش و به صورت هر ۱۰ روز یک‌بار انجام شد.

عملیات مقابله با علف‌های هرز در طول فصل رشد، طی دو نوبت در تاریخ‌های ۸ و ۲۸ اردیبهشت‌ماه به صورت وجین دستی انجام گرفت. برداشت محصول از ۲۷ خردادماه آغاز شد و بوته‌ها پس از حذف حاشیه، برداشت شدند و پس از کوبیدن و جداسازی دانه‌ها، عملکرد دانه آن‌ها محاسبه گردید. به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های امیدبخش متحمل به خشکی، از هفت شاخص قدیمی و سه شاخص جدید (SSPI، ATI و SNPI) به شرح زیر استفاده شد:

۱- شاخص حساسیت به تنش (SSI) (Fischer & Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)}$$

۲- شاخص میانگین هارمونیک (HARM^۲) (Kristin et al., 1997):

$$HARM = 2(Y_p * Y_s) / (Y_p + Y_s)$$

۳- شاخص تحمل (TOL) (Rosielle & Hamblin, 1981):

$$TOL = (Y_p - Y_s)$$

۴- شاخص متوسط باروری (MP) (Rosielle & Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{(Y_s + Y_p)}{2}$$

^۱ Augmented Designs for Preliminary Yield Trials

^۲ Harmonic Mean index

به‌عنوان ذخیره ژنتیکی ارزشمندی جهت مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

برداشت، این کاهش عملکرد، دور از انتظار نبود و بیانگر نیاز بیشتر این گیاه به آبیاری تکمیلی می‌باشد. وجود انحراف معیار بالا بین ژنوتیپ‌ها (جدول ۳)، نشان‌دهنده تنوع زیاد بین ژنوتیپ‌های عدس مورد مطالعه بوده و این تنوع وسیع می‌تواند

جدول ۲- مشخصات خاک محل آزمایش

Table 2. Soil properties of experimental field

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (پی‌پی‌ام) P (ppm)	پتاسیم (پی‌پی‌ام) K (ppm)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
سیلت لوم Silt Loam	7.20	0.99	0.089	32	162.6	0.65	1.12

جدول ۳- عملکرد ۷۳ ژنوتیپ عدس در شرایط غیر تنش و تنش

Table 3. Yield of 73 lentil genotypes under stress and non- stress condition

شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیر تنش Yp (g.m ⁻²)	عملکرد تنش Ys (g.m ⁻²)	شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیر تنش Yp (g.m ⁻²)	عملکرد تنش Ys (g.m ⁻²)	شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیر تنش Yp (g.m ⁻²)	عملکرد تنش Ys (g.m ⁻²)	شماره ژنوتیپ Genotype number	عملکرد غیر تنش Yp (g.m ⁻²)	عملکرد تنش Ys (g.m ⁻²)
1	90.00	35.00	21	40.02	18.01	41	122.06	32.31	61	64.72	15.98
2	54.79	9.91	22	65.01	18.05	42	80.01	23.01	62	108.39	20.77
3	81.48	43.33	23	35.27	9.93	43	34.54	15.67	63	58.05	9.42
4	70.10	28.04	24	107.36	19.04	44	50.06	8.56	64	76.61	33.56
5	31.91	5.50	25	80.01	30.02	45	110.02	50.02	65	65.41	12.77
6	52.15	14.46	26	60.07	25.03	46	90.01	30.01	66	51.72	14.35
7	40.05	18.02	27	119.58	18.79	47	18.23	4.03	67	74.59	16.27
8	93.49	43.34	28	35.83	6.50	48	112.8	51.61	68	61.17	27.24
9	70.88	17.46	29	15.59	3.01	49	87.41	18.01	69	94.43	21.27
10	7.24	3.13	30	96.6	20.03	50	108.66	32.18	70	63.14	25.53
11	85.35	18.84	31	6.47	1.51	51	114.26	18.23	71	97.16	48.69
12	49.87	10.07	32	62.03	10.01	52	78.12	39.88	72	104.79	20.97
13	31.79	5.51	33	70.01	23.02	53	74.57	25.64	73	96.41	54.26
14	45.56	10.11	34	112.12	18.12	54	65.15	11.02			
15	99.04	35.05	35	87.8	16.44	55	41.75	18.71			
16	70.01	10.01	36	108.08	20.03	56	31.45	6.48			
17	41.85	16.13	37	8.21	3.13	57	97.92	20.71	میانگین Mean	68.63	20.44
18	82.21	24.24	38	50.43	21.37	58	102.17	34.76			
19	82.51	20.02	39	52.51	10.01	59	6.12	1.50	انحراف معیار Std.	30.85	13.10
20	37.71	7.53	40	115.46	56.77	60	21.69	5.01			

عملکرد در شرایط بدون تنش با شاخص‌های قدیمی GMP و STI، MP، TOL، HARM و SNPI، ATI و SSPI همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p \leq 0/01$) وجود داشت؛ اما همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش، با شاخص‌های SSI و RDI معنی‌دار نگردید و همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و SSI نیز منفی بود. بر اساس همین جدول (جدول ۴) بین عملکرد در شرایط تنش با شاخص‌های قدیمی STI، MP، TOL، HARM،

به عقیده محققان، بهترین شاخص تحمل خشکی، شاخصی است که هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش، همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشته باشد (Blum, 1988). بر همین اساس، ضریب همبستگی بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط غیر تنش و تنش با شاخص‌های مقاومت به خشکی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴). نتایج این جدول نشان داد که بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، همبستگی معنی‌داری ($p \leq 0/01$) وجود دارد. همچنین بین

بیشتر خواهد بود؛ البته انتخاب بر اساس شاخص SSI باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که نسبت به تنش متحمل هستند، اما پتانسیل عملکرد پایینی دارند (Schneider *et al.*, 1997). به همین جهت، این شاخص قادر به تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط، عملکرد بالایی دارند، نیست.

RDI, GMP و شاخص‌های جدید SNPI, ATI و SSPI همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p \leq 0/01$) وجود داشت؛ اما همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و شاخص SSI منفی و معنی‌دار ($p \leq 0/01$) بود. شاخص SSI، شاخص حساسیت به خشکی است و هرچه مقدار این شاخص کوچک‌تر باشد، تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های مقاومت در ژنوتیپ‌های عدس

Table 4. Correlation coefficient between Yp, Ys and tolerance indices in Lentil genotypes

	Yp	Ys	SSI	HARM	TOL	MP	STI	GMP	SSPI	ATI	SNPI	RDI
Yp	-											
Ys	0.712 **	-										
SSI	-0.065 ns	-0.696 **	-									
HARM	0.796 **	0.991 **	-0.612 **	-								
TOL	0.920 **	0.379 **	0.304 **	0.494 **	-							
MP	0.975 **	0.851 **	-0.270 *	0.910 **	0.809 **	-						
STI	0.795 **	0.960 **	-0.531 **	0.970 **	0.511 **	0.900 **	-					
GMP	0.895 **	0.950 **	-0.471 **	0.982 **	0.648 **	0.972 **	0.960 **	-				
SSPI	0.920 **	0.379 **	0.304 **	0.494 **	1.00 **	0.809 **	0.511 **	0.648 **	-			
ATI	0.970 **	0.694 **	-0.069 ns	0.776 **	0.890 **	0.947 **	0.819 **	0.872 **	0.890 **	-		
SNPI	0.744 **	0.999 **	-0.665 **	0.994 **	0.421 **	0.874 **	0.967 **	0.962 **	0.421 **	0.724 **	-	
RDI	0.063 ns	0.695 **	-1.00 **	0.611 **	-0.306 **	0.268 *	0.531 **	0.469 **	-0.306 **	0.068 ns	0.664 **	-

Yp: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ SSI: شاخص حساسیت تنش؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ TOL: شاخص تحمل تنش؛ MP: میانگین هندسی؛ STI: شاخص تحمل تنش؛ GMP: میانگین حسابی؛ SSPI: شاخص حساسیت به تنش؛ ATI: شاخص تنش‌های غیرزنده؛ SNPI: شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش؛ RDI: شاخص خشکی نسبی
Yp: Potential Yield; Ys: Stress yield; SSI: Stress Susceptibility Index; HARM: Harmonic mean; TOL: Tolerance Index; MP: Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometrical; SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index; ATI: Abiotic Tolerance Index; SNPI: Stress-Non stress Production Index; RDI: Relative Drought Index

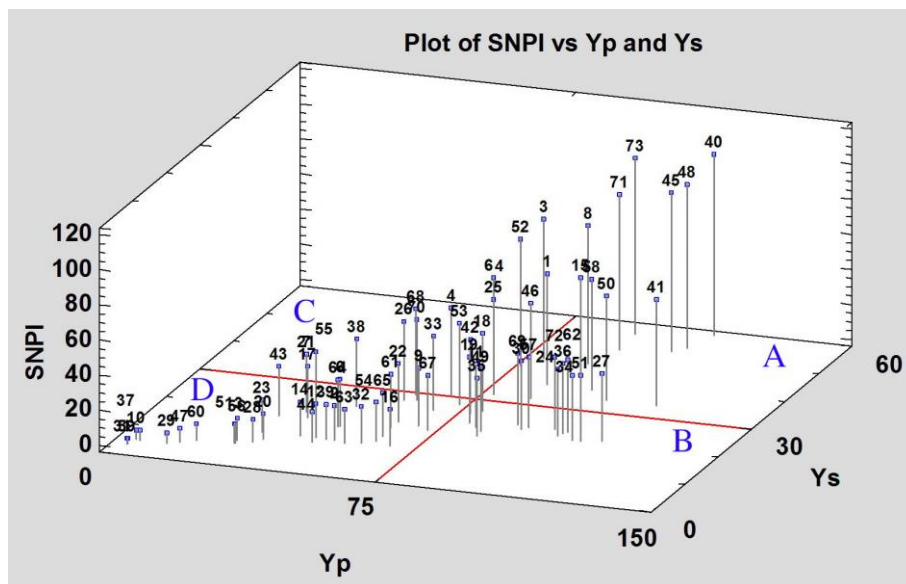
مقادیر بالای این شاخص‌ها، به‌عنوان لاین‌های متحمل معرفی شدند. در بررسی عملکرد گندم دوروم تحت شرایط تنش و عدم تنش نیز شاخص‌های MP, GMP, HARM و TOL مناسب‌ترین موارد جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی تشخیص داده شدند و بر همین اساس، چهار ژنوتیپ منتخب معرفی گردیدند (Biosci *et al.*, 2017). در پژوهشی که بر روی ژنوتیپ‌های گندم انجام شد، پس از تحلیل همبستگی عملکرد تحت شرایط تنش و عدم‌تنش، شاخص‌های MP, GMP, STI, RDI و SNPI جهت انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم معرفی شدند (Aktaş, 2016). در مطالعه ۱۶ ژنوتیپ گندم نیز شاخص‌های SSPI, RDI, ATI, SNPI و چند شاخص تغییریافته دیگر به‌عنوان بهترین موارد جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل تشخیص داده شدند (Farshadfar *et al.*, 2013).

Fernandez, (1992) ژنوتیپ‌ها را بر اساس میزان عملکردشان در شرایط تنش و عدم‌تنش به چهار گروه تقسیم کرد. ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد خوبی دارند (A)، ژنوتیپ‌هایی که تنها در محیط بدون تنش تظاهر خوبی دارند (B)، ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش عملکرد خوبی دارند (C) و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش تظاهر ضعیفی دارند (D). بر اساس نظر این

با توجه به مطالب گفته‌شده و نتایج حاصل در جدول ۴، می‌توان شاخص‌های قدیمی HARM, TOL, STI, GMP, MP و سه شاخص جدید SSPI, SNPI و ATI که همگی، با عملکرد در شرایط تنش و عدم‌تنش، همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p \leq 0/01$) داشتند را به‌عنوان شاخص‌های مناسب، جهت غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش انتخاب نمود. وجود همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های مقاومت به تنش خشکی و عملکرد در هر دو شرایط تنش و عدم‌تنش، نشان دهنده کارآمد بودن این شاخص‌ها در ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها می‌باشد. به‌منظور انجام ارزیابی دقیق‌تر و کاهش تعداد شاخص‌های منتخب، می‌توان شاخص‌هایی را برگزید که همبستگی شدیدتری با عملکرد در شرایط تنش دارند. بر این مبنا، می‌توان شاخص جدید SNPI که با عملکرد در شرایط تنش، همبستگی ۹۹/۹ درصدی داشته و همچنین شاخص‌های قدیمی HARM, STI و GMP را که با عملکرد در شرایط تنش، به‌ترتیب ۹۹/۱، ۹۶/۰ و ۹۵/۰ درصد همبستگی داشتند را به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی نمود. در مطالعه‌ای که Rahimi *et al.*, (2017) بر روی ۱۶۸ لاین اینبرد عدس انجام دادند، شاخص‌های HARM, STI, MP, GMP بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در هر دو شرایط غیرتنش و تنش خشکی نشان دادند و بر همین اساس، سه ژنوتیپ با

در شکل ۱، نمودار سه‌بعدی عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش و شاخص جدید SNPI نشان داده شده است. در این شکل، به ترتیب، ژنوتیپ‌های ۴۰، ۷۳، ۴۸، ۴۵، ۷۱، ۳، ۸ و ۵۲ در ناحیه A قرار دارند. از آنجا که ژنوتیپ‌های این ناحیه، هم در شرایط تنش و هم غیرتنش، دارای عملکرد بالایی هستند، می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها معرفی نمود. همچنین ژنوتیپ‌های ۴۹، ۳۴، ۵۱، ۲۴، ۲۷ و ۳۰ که در ناحیه B قرار گرفته و بالاترین میزان شاخص SNPI را دارا هستند، می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل با عملکرد بالا، معرفی نمود. (Fathi et al, (2012) نیز در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی از این روش استفاده کرده و بر اساس شاخص‌های STI، HARM، GMP، MP، تعداد ۱۰ ژنوتیپ برتر را شناسایی کرده‌اند.

محقق، مناسب‌ترین معیار برای گزینش، معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد. با توجه به این‌که در این مطالعه، شاخص جدید SNPI و شاخص‌های قدیمی STI، HARM و GMP به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت جداسازی گروه A از سایر گروه‌ها تشخیص داده شدند، لذا از روش ترسیم نمودارهای سه‌بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها استفاده گردید و بر مبنای این نمودارها، ژنوتیپ‌های برتر گزینش شدند (شکل‌های ۱ تا ۴). در این نمودارها محور اول و دوم، عملکرد گیاه در شرایط غیرتنش و تنش و محور سوم شامل یکی از شاخص‌های برگزیده می‌باشد. قسمت سطح هر نمودار بر اساس تقسیم‌بندی چهارگانه (Fernandez, (1992) به چهار بخش مساوی A، B، C و D تقسیم شد.



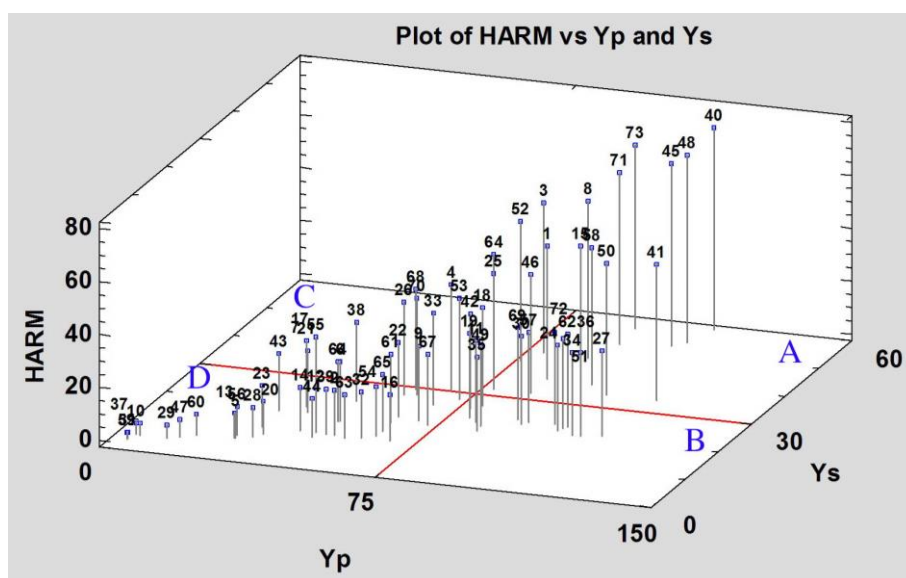
شکل ۱- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص SNPI
 Fig. 1. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress and non-stress yield (Yp, Ys) and SNPI index

نتایج حاصل از بررسی شاخص HARM نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴۰، ۷۳، ۴۸، ۴۵، ۷۱، ۳، ۸ و ۵۲ به ترتیب، در ناحیه A قرار دارند (شکل ۲)؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را که در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی، عملکرد بالایی دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب نمود. همچنین ژنوتیپ‌های ۷۲، ۶۲، ۶۹، ۵۷ و ۳۶ که در ناحیه B قرار گرفته و دارای مقدار بالای شاخص HARM بودند، می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و نسبتاً متحمل معرفی نمود. این روش انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم قبلاً توسط (Mafakheri et al, (2015) بر روی ژنوتیپ‌های لوبیا چشم‌بلبلی اعمال گردیده و موجب گزینش چهار ژنوتیپ گردیده است. ترسیم نمودار سه‌بعدی Yp و Ys با شاخص STI (شکل ۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴۰، ۷۳، ۷۱، ۳، ۸، ۴۱ و ۵۸ به ترتیب، در ناحیه A قرار دارند؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را بر اساس شاخص STI به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی نمود و ژنوتیپ‌های ۶۲، ۲۷، ۷۲، ۳۶ و ۵۱ را که در ناحیه B قرار گرفته و دارای مقدار بالای این شاخص هستند نیز می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و نسبتاً متحمل، برگزید.

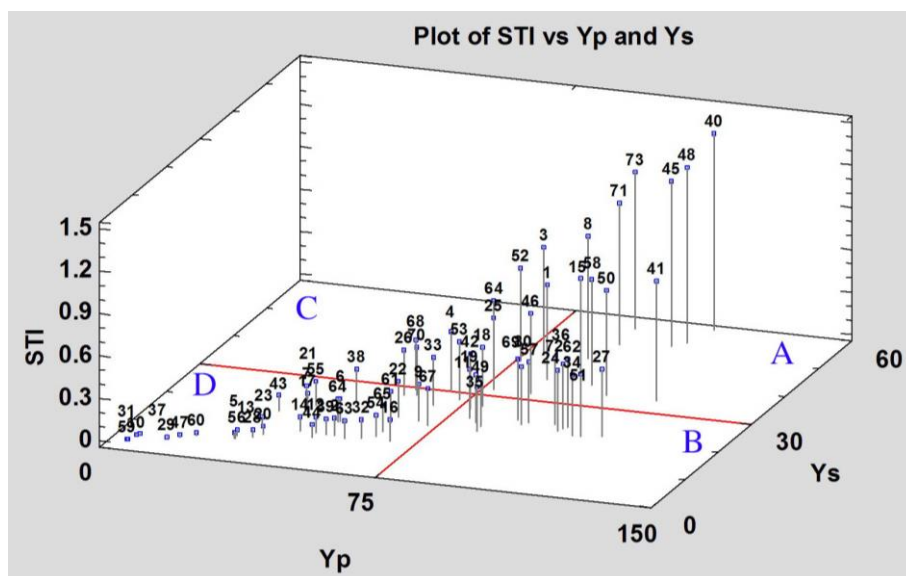
نتایج حاصل از بررسی شاخص HARM نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴۰، ۷۳، ۴۸، ۴۵، ۷۱، ۳، ۸ و ۵۲ به ترتیب، در ناحیه A قرار دارند (شکل ۲)؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را که در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی، عملکرد بالایی دارند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب نمود. همچنین ژنوتیپ‌های ۷۲، ۶۲، ۶۹، ۵۷ و ۳۶ که در ناحیه B قرار گرفته و دارای مقدار بالای شاخص HARM بودند، می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و نسبتاً متحمل معرفی نمود. این روش انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم قبلاً توسط (Mafakheri et al, (2015) بر روی ژنوتیپ‌های لوبیا چشم‌بلبلی اعمال گردیده و موجب گزینش چهار ژنوتیپ گردیده است. ترسیم نمودار سه‌بعدی Yp و Ys با شاخص STI (شکل ۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴۰، ۷۳، ۷۱، ۳، ۸، ۴۱ و ۵۸ به ترتیب، در ناحیه A قرار دارند؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را بر اساس شاخص STI به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی نمود و ژنوتیپ‌های ۶۲، ۲۷، ۷۲، ۳۶ و ۵۱ را که در ناحیه B قرار گرفته و دارای مقدار بالای این شاخص هستند نیز می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و نسبتاً متحمل، برگزید.

آنجا که ناحیه A محل قرار گرفتن ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط غیرتنش و تنش خشکی می‌باشد، می‌توان گفت که این ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص GMP متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند. اعمال این روش انتخاب بر روی ژنوتیپ‌های مقاوم توسط Rahimi *et al.*, (2017) بر روی ژنوتیپ‌های عدس موجب گزینش پنج ژنوتیپ و در گیاه تاج‌خروس موجب انتخاب چهار ژنوتیپ متحمل گردیده است (Ajayi *et al.*, 2016).

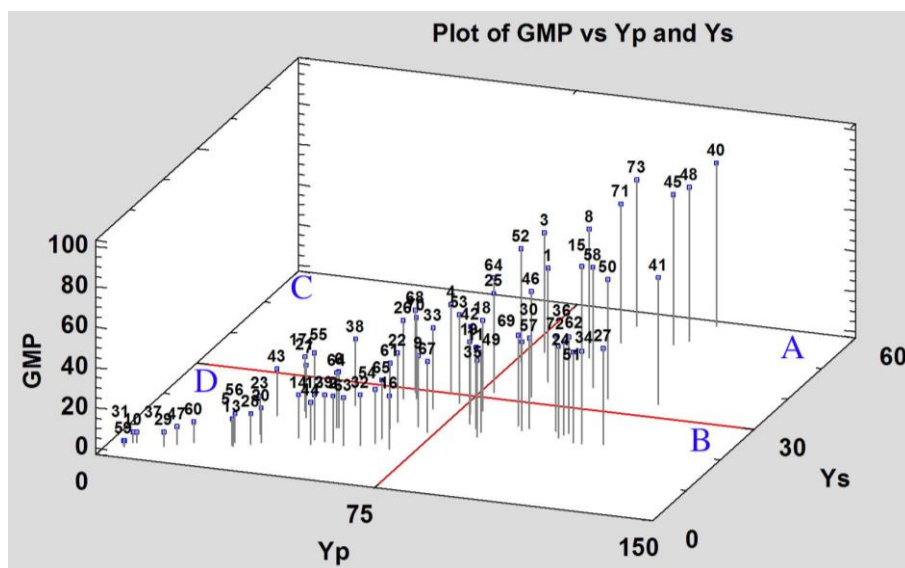
Ganjali *et al.*, (2009) از این شیوه جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل گیاه نخود استفاده کرده و بر اساس شاخص‌های MP, GMP, HARM سه ژنوتیپ متحمل را جداسازی نموده‌اند. نمودار سه‌بعدی عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش و شاخص GMP نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴۰، ۴۸، ۷۳، ۷۱، ۸، ۴۱ و ۵۸ به‌ترتیب، در ناحیه A قرار دارند (شکل ۴).



شکل ۲- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص HARM
 Fig. 2. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress yield (Yp) and non-stress yield (Ys) with HARM index



شکل ۳- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص STI
 Fig. 3. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress yield (Yp) and non-stress yield (Ys) with STI index



شکل ۴- نمودار پراکنش سه‌بعدی برای تعیین ارقام متحمل به خشکی بر اساس عملکرد در شرایط غیرتنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص GMP

Fig. 4. 3Dimensional plot for determination tolerant genotypes to drought stress based on stress yield (Yp) and non-stress yield (Ys) with GMP index

تحمل نسبی دارند که در این صورت این مؤلفه را می‌توان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش، نام‌گذاری نمود. مؤلفه دوم نیز به تنهایی ۲۶/۷ درصد از تغییرات را توجیه می‌کند. این مؤلفه با عملکرد در شرایط بدون تنش رابطه مثبت و با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های SNPI, GMP, STI, HARM و RDI رابطه منفی دارد. اگر مؤلفه دوم افزایش یابد، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا تحت شرایط غیرتنش و عملکرد پایین تحت شرایط تنش خشکی هستند، انتخاب می‌گردند؛ بنابراین، مقدار کم این مؤلفه مطلوب بوده و با کاهش مقدار این مؤلفه، ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد پایین تحت شرایط عدم‌تنش و عملکرد بالا تحت شرایط تنش هستند، انتخاب می‌گردند. مؤلفه دوم را می‌توان مؤلفه حساسیت به تنش نام‌گذاری نمود.

برای بررسی همزمان روابط بیش از سه متغیر و ترسیم نمودار بای‌پلات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس عملکرد تحت شرایط غیرتنش و تنش و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی صورت گرفت (جدول ۵) که در نتیجه، مؤلفه اول به تنهایی ۷۱/۳ درصد از کل تغییرات را توجیه نمود. این مؤلفه با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش و همچنین شاخص‌های قدیمی HARM, TOL, MP, STI, GMP و RDI و شاخص‌های جدید SNPI, SSPI و ATI همبستگی مثبت و بالایی داشته و با شاخص حساسیت (SSI) رابطه منفی دارد؛ بنابراین، مقدار زیاد این مؤلفه مطلوب بوده و با افزایش مقدار این مؤلفه، عملکرد در شرایط عدم‌تنش و تنش افزایش می‌یابد؛ در نتیجه این مؤلفه ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کند که در شرایط غیرتنش، دارای پتانسیل عملکرد بالا بوده و به تنش خشکی

جدول ۵- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های مقاومت و عملکرد در شرایط غیرتنش و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های عدس

Table 5. Eigen values, vector values and cumulative variance of tolerance indices, Yp and Ys in lentil genotypes

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen values	درصد سهم تجمعی Cumulative of variance (%)	شاخص‌ها												
			Yp	Ys	SSI	HARM	TOL	MP	STI	GMP	SSPI	ATI	SNPI	RDI	
1	8.55	71.28	0.31	0.32	-0.15	0.33	0.24	0.34	0.33	0.34	0.24	0.31	0.32	0.15	
2	3.20	97.95	0.21	-0.20	0.49	-0.13	0.40	0.10	-0.10	-0.03	0.40	0.21	-0.18	-0.49	

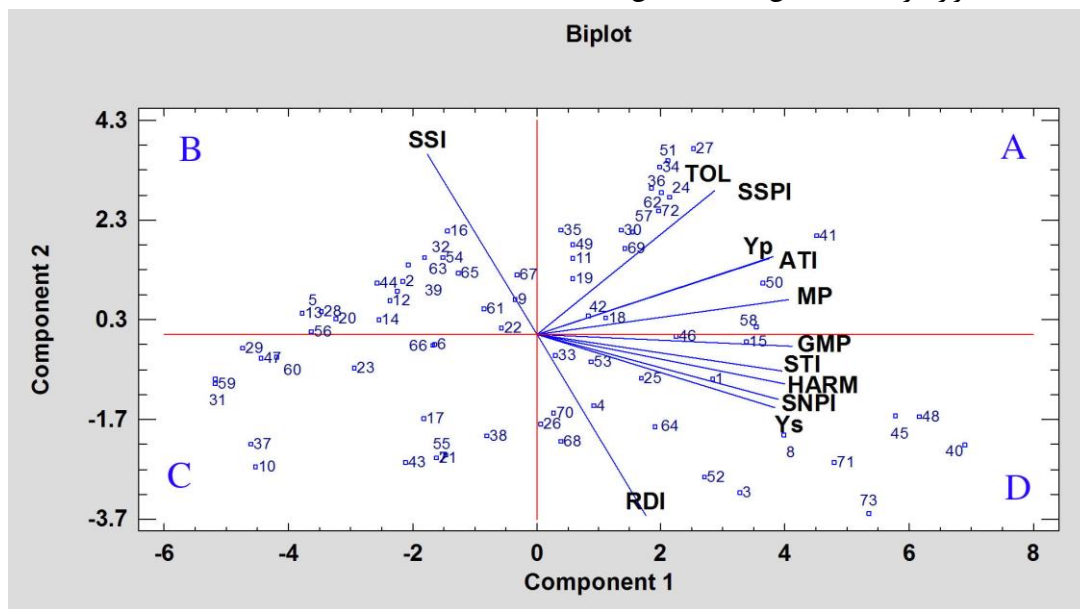
Yp: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ SSI: شاخص حساسیت تنش؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ TOL: شاخص تحمل تنش؛ MP: میانگین هندسی؛ STI: شاخص تحمل تنش؛ GMP: میانگین حسابی؛ SSPI: شاخص حساسیت به تنش؛ ATI: شاخص تنش‌های غیرزنده؛ SNPI: شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش؛ RDI: شاخص خشکی نسبی
Yp: Potential Yield; Ys: Stress yield; SSI: Stress Susceptibility Index; HARM: Harmonic mean; TOL: Tolerance Index; MP: Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometrical; SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index; ATI: Abiotic Tolerance Index; SNPI: Stress-Non stress Production Index; RDI: Relative Drought Index

رسم بای پلات

رابطه سه متغیر را می‌توان با استفاده از نمودار سه بعدی بررسی نمود، اما در صورتی که بررسی رابطه بیش از سه متغیر مدنظر باشد، از نمودار چندمتغیره موسوم به نمودار بای پلات استفاده می‌شود. با استفاده از روش ترسیمی بای پلات می‌توان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به خشکی را در یک شکل واحد ترسیم نمود. بای پلات ابزاری مفید برای تجزیه اطلاعات بوده و ارزیابی نظری ساختار یک ماتریس بزرگ دوطرفه را ممکن می‌سازد. بدین منظور ماتریس موردنظر که از اطلاعات جدول ۵ تشکیل شده بود، از طریق تکنیک تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به سه مؤلفه تقسیم شد که دو مؤلفه اول در مجموع ۹۷/۹ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه نمود که استفاده از دو مؤلفه اول تنها موجب از دست رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات (۰/۰۲) می‌شود. از آنجا که تفسیر نتایج، بر اساس دو مؤلفه اول و دوم کافی بوده و این مؤلفه‌ها دارای کارایی لازم می‌باشند، ترسیم بای پلات بر اساس دو مؤلفه اول صورت گرفت (شکل ۵) که بر این اساس، ژنوتیپ‌های متحمل و پرمحصول در ناحیه D قرار گرفتند. در این ناحیه، شاخص‌های قدیمی RDI, GMP, STI, HARM و شاخص جدید SNPI قرار دارند که همه آن‌ها با شاخص Ys

هم جهت بوده و با آن همبستگی مثبت دارند. به همین جهت، این شاخص‌ها را می‌توان به عنوان شاخص‌های مطلوب معرفی نمود. زاویه بین بردارها میزان همبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد. وجود زاویه تند بین Ys و شاخص جدید SNPI و شاخص‌های HARM و STI بیانگر وجود همبستگی شدید و مثبت بین این شاخص‌ها بوده و نشان دهنده برتری آن‌ها می‌باشد. با در نظر گرفتن این معیار، می‌توان ژنوتیپ‌های ۴۰، ۴۸، ۷۱، ۷۳، ۳، ۸، ۴۵ و ۵۲ را که با سه شاخص مذکور بیشترین هم‌جهتی را داشته و در انتهای ناحیه D قرار دارند، به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل معرفی نمود. نتایج این گزینش، با نتایج حاصل از روش گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به وسیله ترسیم نمودارهای سه بعدی (شکل‌های ۱ تا ۴) نیز همخوانی دارد.

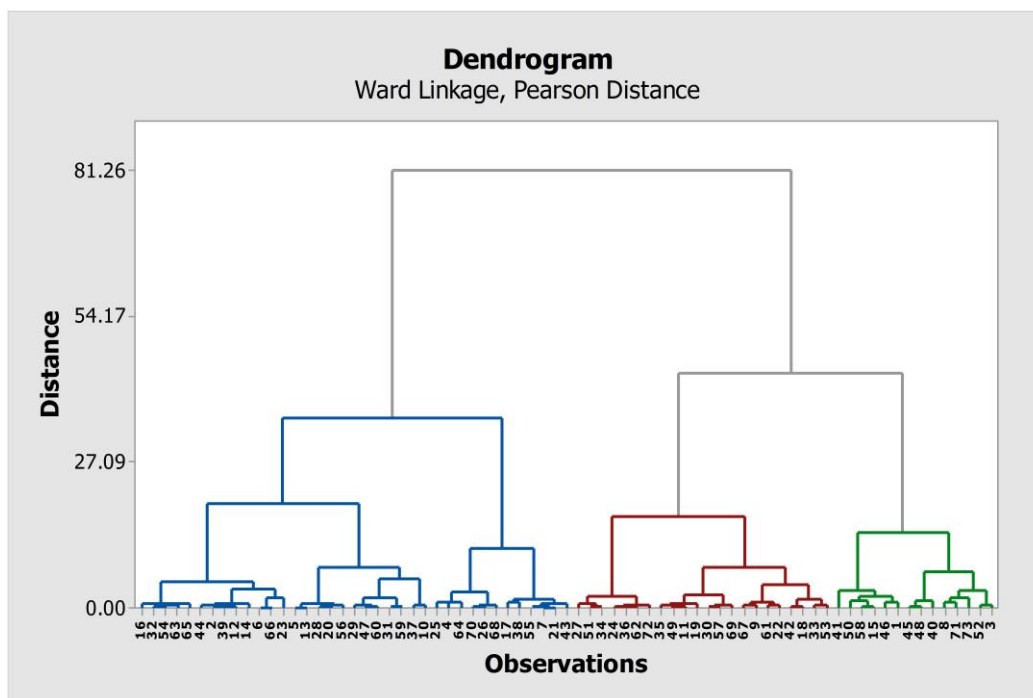
بر اساس شکل ۵، شاخص Yp و ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط غیر تنش و دارای عملکرد پایین در شرایط تنش، در ناحیه A قرار دارند. همچنین در این شکل، ژنوتیپ‌های حساس به تنش و دارای عملکرد پایین، در ناحیه B قرار گرفتند.



شکل ۵- نمایش بای پلات ژنوتیپ‌های عدس در ۱۰ شاخص تحمل به خشکی بر اساس دو مؤلفه اول و دوم

Fig. 5. Biplot for lentil genotypes at 10 tolerance to drought indices on the basis of first and second components

Yp: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ SSI: شاخص حساسیت تنش؛ HARM: میانگین هارمونیک؛ TOL: شاخص تحمل تنش؛ MP: میانگین هندسی؛ STI: شاخص تحمل تنش؛ GMP: میانگین حسابی؛ SSPI: شاخص حساسیت به تنش؛ ATI: شاخص تنش‌های غیرزنده؛ SNPI: شاخص محصول محیط تنش و غیرتنش؛ RDI: شاخص خشکی نسبی؛ Yp: Potential Yield; Ys: Stress yield; SSI: Stress Susceptibility Index; HARM: Harmonic mean; TOL: Tolerance Index; MP: Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; GMP: Geometrical; SSPI: Stress Susceptibility Percentage Index; ATI: Abiotic Tolerance Index; SNPI: Stress-Non stress Production Index; RDI: Relative Drought Index



شکل ۶- دندروگرام حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس بر اساس عملکرد، تحت شرایط عدم تنش (Yp) و شرایط تنش (Ys) و شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش Ward

Fig. 6. Dendrogram obtained by cluster analysis of lentil genotypes bases on Yp, Ys and tolerance indices using by Wards method

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان شاخص جدید SNPI را که از همبستگی بسیار بالایی (۹۹/۹ درصد) با عملکرد در شرایط تنش برخوردار است و همچنین شاخص‌های قدیمی HARM، STI و GMP که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با یکدیگر و با عملکرد در دو شرایط عدم تنش و تنش را دارند، به‌عنوان مناسب‌ترین و کارآمدترین معیارها جهت شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی نمود. نتایج به‌دست‌آمده از روش ترسیم سه‌بعدی، بای‌پلات و تجزیه کلاستر برای گزینش لاین‌هایی با عملکرد بالا و مقاوم به خشکی، در توافق با یکدیگر بوده و بر همین اساس، به نظر می‌رسد که می‌توان ژنوتیپ‌های ۴۰، ۴۸، ۷۱، ۷۳، ۳، ۸، ۴۵ و ۵۲ را به‌عنوان ژنوتیپ برتر و امیدبخش در اقلیم مشهد برای مطالعات بعدی معرفی نمود. پیشنهاد می‌گردد که جهت رسیدن به دو یا سه ژنوتیپ امیدبخش، آزمایش مزرعه‌ای دیگری در قالب طرح‌های دارای تکرار، در بین هشت ژنوتیپ شناسایی شده در این پژوهش که بالاترین مقدار از شاخص‌های برگزیده را کسب کرده‌اند، طراحی و اجرا گردد.

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس دو شاخص عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش و ۱۰ شاخص حساسیت، از تجزیه کلاستر به روش Ward استفاده شد (شکل ۶). در این روش، ژنوتیپ‌ها بر حسب میزان شباهتشان به یکدیگر و بر اساس میزان شاخص‌های تحمل به تنش، به سه کلاستر جداگانه تقسیم شدند که در این خوشه‌بندی، ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل، در کلاستر سوم قرار گرفتند. بر همین اساس، ژنوتیپ‌های ۳، ۵۲، ۷۳، ۷۱، ۸، ۴۰، ۴۸ و ۴۸ که در قسمت بالای خوشه سوم قرار گرفته بودند، برگزیده شده و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی شدند. این نتایج، با نتایج به‌دست‌آمده به روش نمودارهای سه‌بعدی (شکل‌های ۱ تا ۴) و روش ترسیم بای‌پلات (شکل ۵) نیز همخوانی دارد. استفاده از تجزیه کلاستر جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در گندم توسط Mohammed & Kadhem (2017)، در تاج‌خروس توسط Ajayi et al, (2016) و در لوبیا چشم‌بلبلی توسط Fathi et al., (2012) مورد استفاده قرار گرفته است.

منابع

1. Agricultural Statistics. 2016. Ministry of Agriculture Jihad. First Volume (Crop Products). 21-22.
2. Ajayi, E.O., Sakariyamo, O.S., Okeleye, K.A., Ariyo, O.J., Sakariyawo, O.S., Okeleye, K.A., and Ariyo, O.J. 2016. Preliminary evaluation of grain amaranth (*Amaranthus* spp.) accessions for drought tolerance by multivariate technique. *Agronomski Glasnik* 78(5/6): 231-249.
3. Aktaş, H. 2016. Drought tolerance indices of selected landraces and bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) genotypes derived from synthetic wheats. *Applied Ecology and Environmental Research* 14(4): 177-189.
4. Alderfasi, A.A., and Nielsen, D.C. 2001. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. *Agricultural Water Management* 47(1): 69-75.
5. Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V., and Rao, G.D.P. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]. I. Factors affecting yields under stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38(1): 37-48.
6. Biosci, I.J., Semcheddinne, N., Guendouz, A., Oulmi, A., and Hafsi, M. 2017. Screening of wheat (*Triticum durum*) for drought tolerance in semiarid conditions. *International Journal of Biosciences* 6655: 166-178.
7. Bitaraf, N., Khoddambashi, M., and Hooshmand, S. 2010. Correlation and path analysis of grain yield and its components for lentil under Shahrekord climate. *Iranian Journal of Pulses Research* 1(1): 51-56. (In Persian with English Summary).
8. Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*. Boca Raton: CRC Press.
9. FAO. 2016. FAOSTAT. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
10. Farshadfar, A., Zamani, M.R., Motallebi, M., and Emam Jomae, A. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 32(4): 65-77. (In Persian).
11. Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M., and Safavi, S.M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1(2): 2322-4827.
12. Fathi, M., M.R. Bihamta, N., Majnoon Hosseini, A.A., Shah Nejat Boushehry, and Ali Pour Yamchi, M. 2012. Screening for terminal drought stress tolerance in cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research* 3(2): 45-54. (In Persian with English Summary).
13. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Taiwan, August 13-18, 1992. p. 257-270.
14. Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agriculture Agriculture Research* 29(5): 897-912.
15. Fischer, R.A., and Wood, J.T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research* 30(6): 1001-1020.
16. Ganjali, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7(1): 183-193. (In Persian with English Summary).
17. Kafi, M., Borzoe, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. *Physiology of Environmental Stress in Plant*. Jihad-e-Daneshgahi Publishers. 502 pp. (In Persian).
18. Kristin, A.S., Serna, R.R., Perez, F.I., Enriquez, B.C., Gallegos, A.J.A., Vallejo, R.P., Wassimi, N., and Kelly, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*. 37(1): 43-50.
19. Mafakheri, K., Bihamta, M.R., and Abbasi, A.R. 2015. Screening for drought stress tolerance in cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research* 6(2): 123-138. (In Persian with English Summary).
20. Mishra, S.K., Sharma, B., and Sharma, S.K. 2007. Genetics and Cytogenetics of Lentil. In: SS. Yadav, D.K. McNeil and C.P. Stevenson (Eds.). *Lentil: An Ancient Crop for Modern Times*. Springer. p. 187-208.
21. Mohammed, A.K., and Kadhem, F.A. 2017. Screening drought tolerance in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) using drought indices and multivariate analysis. *The Iraqi Journal of Agricultural Sciences* 48 (Special Issue): 41-51.
22. Moosavi, S.S., Samadi, B.Y., Naghavi, M.R., and Zali, A.A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert* 12: 165-178.
23. Panthuwan, G., Fokai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, S., and O'Toole, J.C. 2002. Yield response of rice genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part 1: Grain yield and yield components. *Field Crop Research* 41: 45-54.
24. Parsa, M., and Bagheri, A.R. 2008. *Pulses*. Jahad Daneshgahi Publication. 530 pp. (In Persian).

25. Petersen, R.G. 1985. Augmented Designs for Preliminary Yield Trials (Revised). FAO of the UN-Oregon State Univ., Corvallis (USA).
26. Rahimi, M.H., Houshmand, S., and Khodambashi, M. 2017. Evaluation of lentil recombinant inbred lines using drought tolerance indices. *Journal of Crop Ecophysiology* 10(4/40): 907-927. (In Persian with English Summary).
27. Rashidi, V.S.C., Sharifi, M., and Effatdust, N. 2012. Comparison and classification of lentil (*Lens culinaris*) landraces under drought stress conditions after flowering. *Journal of Crop and Weed Eco-Physiology* 5(4): 81-96. (In Persian with English Summary).
28. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21(6): 943-946.
29. Safari, S., Dehghani, H., and Choghan, R. 2007. Evaluation of maize inbred lines for drought tolerance based on resistance indices and biplot method. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 38(1/2): 215-228.
30. Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37(1): 43-50.
31. Tadayyon, A., Hashemi, L., and Khodambashi, M. 2011. Effective morphological and phenological traits on seed and biological yield in lentil genotypes in Shahrekord region. *Iranian Journal of Pulses Research* 2(2): 47-62. (In Persian with English Summary).
32. Takeda, S., and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. *Nature Reviews Genetics* 9(6): 444-457.
33. Walley, F.L., Clayton, G.W., Miller, P.R., Carr, P.M., and Lafond, G.P. 2007. Nitrogen economy of pulse crop production in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 99(6): 1710-1718.

Screening for drought tolerance in lentil genotypes (*Lens culinaris* Medik) with emphasis on comparing old and new indices of stress tolerance in order to introduce promising genotypes

Vafaei¹, M.H., Parsa^{2*}, M., Nezami², A. & Ganjeali³, A.

1. Contribution from College of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, mhvafae45@gmail.com

2. Contributions from College of Agriculture & Research Center for Plant Sciences, University of Mashhad, pars@um.ac.ir & nezami@um.ac.ir, respectively

3. Contribution from College of Biology & Research Center for Plant Sciences, University of Mashhad, ganjeali@um.ac.ir

Received: 7 February 2018

Accepted: 29 May 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.70269

Introduction

Drought stress is one of the main problems in agriculture of Iran and the world. Among the environmental limiting factors of the yield crops, drought is the most important factor to reduce production, especially in arid and semi-arid regions. Drought stress reduces water content in plant tissues, lead to growth shrinkage and some physiological and metabolic changes in them. Food legumes, as one of the most important protein-rich vegetable sources, played a major role in providing human protein, especially in low-income and developing countries, and after cereals are the second most important source of human food. These plants, with bio-stabilization of nitrogen, provide a large portion of their nitrogen, and because they require low water and nutrients, they are highly desirable for cultivation in poor lands. Lentil (*Lens culinaris* Medik) is one of the beans that had more than 20% protein content and characteristics such as the ability to grow in inappropriate conditions and poor soils, has been able to play an important role in the low-income diet of people in developing countries. Regarding to the success of a breeding program depends on the size and diversity of genetic resources, genetic diversity lead to succeeding in selection, so identification of cultivars with high yield, as well as limiting factors of yield potential and genotypes tolerant to these factors in lentil seems to be necessary.

Materials & Methods

This research was carried out in the research farm of Ferdowsi University of Mashhad in 2014. In this experiment, 73 lentil genotypes including native genotypes and lines from other countries were cultivated in two separate plots under non stress and stress conditions in Augmented design. Five genotypes used as control (Kimia, Gachsaran, Cabralinta, ILL325 and ILL857). Controls were cultivated in all blocks. Before planting, field soil was sampled from a depth of 30 cm and pH values, organic matter, EC, macro elements (N, P and K) and soil texture were measured. The planting was carried out on March 20, 2014. At the same time, according to the fertilizer recommendation, the amount of required elements was added to the soil and immediately after cultivation, an irrigation step was conducted to ensure the emergence of all the seeds for both dry conditions (drought stress) and non-stress. Afterwards, irrigation was performed only for non-stress treatments and every 10 days.

Results & Discussion

The results showed that mean and standard deviation of lentil genotype yields under drought stress and non stress conditions revealed significant differences. Accordingly, the average yield of genotypes under conditions of stress was 20.4 g.m⁻², which showed a decrease of 70.3% in non-stress conditions with 68.6 g.m⁻². According to 147 mm rainfall from planting to harvest, this yield reduction was not expected, indicating the need for supplementary irrigation. High standard deviation between genotypes indicates a large variety of lentil genotypes, and this wide variety can be used as a valuable genetic resources for later

* Corresponding Author: pars@um.ac.ir

studies. According to the results, there was a significant correlation between yield and stress ($P \leq 0.01$) ($r=0.71^{**}$). Also, there was a positive and significant correlation between performance in non stress conditions with the old indices HARM, TOL, MP, STI, GMP, SSPI, ATI and the new SNPI index ($P \leq 0.01$), and the correlation between yield in non stress conditions and SSI and RDI were not significant. There was also a positive and significant correlation between performance in non-stress conditions and ATI, GMP, HARM, RDI, STI, SSI, TOL and MP, and the new SNPI index ($P \leq 0.01$), but between yield in non stress conditions and the SSI was a significant negative correlation ($P \leq 0.01$). Old indices of HARM, TOL, STI, GMP, MP, ATI, and two new indicators of SSPI and SNPI, all have a positive and significant correlation ($p \leq 0.01$) with performance under stress and non stress conditions and can be considered as suitable indicators for screening stress tolerant genotypes.

Conclusion

The results of current study showed that the new SNPI index, which has a very high correlation (99.9%) with yield in stress conditions, as well as the old indices of HARM, STI and GMP, which have the positive and significant correlation with each other and with performance in two. The conditions of non stress and stress have been identified as the most suitable and effective criteria for identifying and selecting genotypes tolerant to drought stress. The results obtained from the three-dimensional, biplot, and cluster analysis methods are in agreement with each other for selection of high yielding and drought tolerant lines. Accordingly, it seems that genotypes 40, 48, 71, 73, 3, 8, 45 and 52 are the promising and proposing genotypes in the Mashhad climate for further studies.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Correlation, Tolerance indices