ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های عدس در مرحله گل‌دهی و تکمیل نیام

مهدی کاکایی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۱۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱)

چکیده

پدیده خشکی از جمله مهم‌ترین دلایل مهم کاهش عملکرد در گیاهان زراعی محسوب می‌شود. یکی از راه‌های به حداقل رساندن اثرات نامطلوب خشکی در شرایط خشک، شناسایی و کشت ژنوتیپ‌های متحمل با کمک شاخص‌های تحمل به تنش خشکی است. مهم‌ترین اهداف این پژوهش، مطالعه اثرات خشکی بر عملکرد شش ژنوتیپ عدس برای ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی، از جمله شاخص تحمل تنش (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HAM)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص تحمل تنش (STI) در دو شرایط تنش خشکی (بدون آبیاری) و شرایط طبیعی (آبیاری) است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و شش ژنوتیپ در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در محل مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه پیام‌نور اسدآباد همدان اجرا شد. از داده‌های به‌دست آمده از کشت ژنوتیپ‌ها در شرایط طبیعی و شرایط خشک برای محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی استفاده شد. تفاوت چشمگیری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تنش خشکی در مرحله انتهای رشد (فاز زایشی) وجود داشت که اغلب شاخص‌های مورد بررسی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و متحمل بودند. براساس شاخص‌های مذکور ژنوتیپ‌های ۵ (بیله‌سوار) و ۶ (گچساران) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناخته شدند. توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات وجود تنوع‌ژنتیکی بین آنها را نسبت به تنش خشکی ظاهر ساخت و بر این مبنا نیز ژنوتیپ‌های۵ (بیله‌سوار) و ۶ (گچساران) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا شناسایی شدند. همچنین با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اول و دوم در مجموع ۱۰۰ درصد از تنوع موجود در بین ژنوتیپ‌ها برای شاخص‌های تحمل به خشکی را توجیه کردند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، تنش خشکی، گل‌دهی، دانه، شاخص‌های تحمل به خشکی

۱. استادیار بخش علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Mehdikakaei37@gmail.com

مقدمه

حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌روند. این گیاهان با تثبیت زیستی نیتروژن ضمن بهبود حاصلخیزی خاک، به‌صورت گیاهان پوششی و یا در تناوب با بسیاری از گیاهان زراعی در جلوگیری از فرسایش خاک مؤثر بوده و نقش مهمی در پایداری نظام‌های کشاورزی ایفا می‌کنند و برای تنوع‌بخشی به نظام‌های کشت مبتنی بر غلات به‌عنوان محصولات ممتاز در نظر گرفته می‌شوند. رشد جمعیت و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور در دو دهه اخیر باعث شده است تا مصرف مواد پروتئینی به‌ویژه گوشت قرمز افزایش چشمگیری یابد. بر این اساس افزایش تولید مواد پروتئینی به‌ویژه پروتئین‌های گیاهی که منابع ارزشمندتری در تغذیه هستند، اجتناب‌ناپذیر است و لذا افزایش تولید حبوبات به‌عنوان مکمل منابع پروتئینی در برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور نیز مورد توجه قرار گرفته است (۱۲). عدس از جمله حبوبات سرمادوست بوده و گیاهی روز بلند است که دامنه تغییرات حرارتی مناسب آن ۱۵ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد است و نیز از نواحی دشت تا ارتفاع ۳۵۰۰ متری قابلیت کشت دارد (۱۵). تنش خشکی از پدیده‌های اقلیمی رایج در طبیعت است که مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان است و کمتر گیاهی به‌طور کامل از آن اجتناب می‌کند (۱۹). در حال حاضر، تنش کمبود آب موجب محدودیت تولید در ۲۵ درصد از اراضی جهان شده است و به‌طور متوسط ۵۰ درصد از عملکرد بالقوه گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (۱۱). ایران جزء مناطق دارای نوسانات بارندگی زیاد است و جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که ممکن است برخی از مراحل رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (۱۳). برای بازدهی بیشتر ارقام برتر در به‌نژادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید معیارهای تحمل به خشکی مطلوب مد نظر قرار گیرد (۲). خشکی از مهم‌ترین خطرات جدی برای افزایش راندمان و تولید موفق محصولات زراعی در ایران و جهان است. با توجه به محدودیت آب برای آبیاری و بحران آب در آینده و نیز با توجه به اینکه میانگین ریزش‌های جوی کشور کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است (میانگین ریزش‌های جوی سالیانه دنیا ۸۶۰ میلی‌متر)، لزوم توجه به انجام تحقیقات پایه‌ای در زمینه تنش خشکی اجتناب‌ناپذیر است (۶). با تشدید تنش خشکی، آب موجود در بافت‌ها و سلول‌های گیاهی به‌تدریج از دست رفته و در متابولیسم طبیعی بافت‌ها و سلول‌ها اختلال به‌وجود می‌آید و در نتیجه عملکرد به‌شدت کاهش می‌یابد (۱۰). در این راستا اصلاح و انتخاب ارقام عدس متحمل به خشکی مورد توجه پژوهشگران به‌نژادی است. تعیین میزان تحمل و حساسیت ارقام و لاین‌ها به تنش با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش انجام می‌شود (۳). فیشر و مورر (۴) شاخص حساسیت به تنش‌خشکی (SSI) را برای بررسی تخمین پایداری عملکرد ارائه کردند که تغییرات عملکرد بالقوه و واقعی را در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد. شاخص حساسیت کمتر از یک، نشان از تحمل رقم مورد تحقیق به خشکی است، هر چقدر مقدار عددی شاخص حساسیت به تنش کوچک‌تر باشد، میزان تحمل به تنش خشکی بالاتر است (۲). روزیل و هامبلین (۱۴)، شاخص تحمل (TOL) را به‌عنوان معیار تعیین اختلاف عملکرد در شرایط تنش‌خشکی و عدم تنش‌خشکی و همچنین میانگین بهره‌وری (MP) را به‌عنوان تخمین عملکرد متوسط ارائه کرده‌اند. پایین بودن میزان شاخص TOL یک معیار مناسب محسوب می‌شود ولیکن بالعکس در شاخص MP مقادیر پایین‌تر دلالت بر حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش‌خشکی دارد. شاخص متوسط بهره‌وری به‌علت تنوع‌ژنتیکی بالا و همبستگی بالا با عملکرد دانه برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی مطلوب است (۲). فرناندز (۳) شاخص STI را برای تحمل به خشکی پیشنهاد داده است. انتخاب براساس شاخص STI قادر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و تحمل به تنش‌خشکی بالا است. براساس روش فرناندز (۳) ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر توان عملکرد و تحمل به تنش به چهار گروه، A (ژنوتیپ‌هایی

جدول ۱. مجموع میزان بارش ماهانه (بارش بر حسب میلی‌متر)

سال زراعی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
۹۶-۱۳۹۵	صفر	۲/۸	۱۹/۶	۸۸/۳	۷۸/۱	۸۲/۴	۹۰/۷	۲۳/۷	صفر	صفر

که در هر دو محیط تنش و عدم‌تنش خشکی عملکرد بالایی دارند)، B (ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط محیطی عدم تنش‌خشکی عملکرد بالایی دارند)، C (ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش خشکی عملکرد نسبتاً بالایی دارند) و گروه D (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و عدم تنش‌خشکی عملکرد پایینی دارند)، تفکیک می‌شوند. ایشان معتقد است شاخص مناسب، شاخصی است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد (۶). در این راستا، ارزیابی عملکرد و تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های عدس به‌منظور دستیابی به ارقام متحمل به خشکی و تعیین بهترین شاخص(های) تحمل در شرایط رطوبتی مختلف در مزرعه، از جمله اهداف این تحقیق بودند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی- آموزشی دانشگاه پیام‌نور اسدآباد واقع در ۴۵ کیلومتری همدان اجرا شد. این تحقیق در قالب آزمایش اسپلیت‌پلات با آرایش طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در اواخر اسفندماه ۱۳۹۵ اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل چهار تیمار (آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله بعداز گل‌دهی، قطع آبیاری در مرحله رشدی بعد از نیام‌دهی و نیز شرایط بدون آبیاری) (که از شرایط آبیاری کامل و شرایط بدون آبیاری برای مطالعه شاخص‌های آماری استفاده شد). کرت‌های فرعی شامل شش رقم عدس شامل: سبز قزوین (۱)، توده محلی اسدآباد (۲) توده محلی کرمانشاه (۳) کیمیا (۴)، بیله‌سوار (۵) و گچساران (۶) (که با همکاری معاونت مؤسسه تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه تهیه شدند) بود. فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳ تا ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر کپه سه عدد بذر قرار گرفت که در مرحله چهار برگی تنک شدند تا در نهایت یک بوته در هر کپه باقی بماند. بافت خاک محل آزمایش رسی- شنی و متوسط pH خاک حدود هفت بود. کلیه عملیات مطابق با عرف منطقه تحقیق نظیر شخم و دیسک‌زنی قبل از کاشت، آبیاری (براساس تیمارهای مورد کشت)، کوددهی (اضافه کردن ۴۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 و ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول فصل کاشت انجام شد. با حذف اثرات حاشیه‌ای از هر کرت آزمایشی یک مترمربع برداشت شد و با جدا کردن بذور از نیام‌ها، عملکرد دانه به‌وسیله ترازوی دقیق محاسبه شد.

جدول ۱ مجموع میزان بارش ماهانه (بارش بر حسب میلی‌متر) در شرایط محل تحقیق را نمایش می‌دهد.

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Excel ۲۰۱۰ و SPSS ۱۶ استفاده شد. با در نظر گرفتن Yp: میانگین عملکرد دانه ارقام در شرایط عدم تنش‌خشکی، Ys: میانگین عملکرد ارقام مختلف در شرایط تنش‌خشکی، $\overline{Y}_p$: میانگین عملکرد دانه همه ارقام در شرایط عدم تنش‌خشکی و $\overline{Y}_s$: میانگین عملکرد همه ارقام در شرایط تنش‌خشکی باشد، شاخص‌های تنش به شرح زیر (جدول ۲) محاسبه شد.

نتایج و بحث

هدف اصلی این تحقیق ارزیابی تنوع تحمل به تنش خشکی شش ژنوتیپ عدس برای برنامه‌های اصلاحی است. جدول ۳ تجزیه واریانس شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش‌خشکی در ژنوتیپ‌های عدس را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه در دو شرایط رطوبتی و شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد

جدول ۲. فرمول‌های محاسباتی شاخص‌های تحمل به خشکی

نام شاخص	معادله	منبع
شاخص حساسیت به تنش (SSI) Stress Susceptibility Index	$SSI = \frac{1-(Y_s / Y_p)}{SI}$ $SI = 1-\left[\frac{\overline{Y}_s}{\overline{Y}_p}\right]$ در این فرمول، SI (Stress Intensity) شدت تنش است.	Fischer and Maurer, 1978
میانگین بهره‌وری (MP) Mean Productivity	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle and Hamblin, 1981
شاخص تحمل (TOL) Tolerance index	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle and Hamblin, 1981
شاخص تحمل تنش (STI) Stress Tolerance Index	$STI = \left(\frac{Y_p}{\overline{Y}_p}\right)\left(\frac{Ys}{\overline{Y}_s}\right)\left(\frac{\overline{Y}s}{\overline{Y}_p}\right) = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\overline{Y}_p)^2}$	Fernandez, 1992
میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) Geometric Mean Productivity	$GMP = \sqrt{(Y_s)(Y_p)}$	Kristin et al., 1997
شاخص پایداری عملکرد (YSI) Yield Stability Index	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bouslama and Schapaugh, 1984
شاخص عملکرد (YI) Yield Index	$YI = \frac{Y_s}{\overline{Y}_s}$	Gavuzzi et al., 1997 (5)
میانگین هارمونیک (HARM) Harmonic Mean	$HARM = \frac{2(Yp\,Ys)}{(Yp+Ys)}$	Fernandez, 1992

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش‌خشکی در ژنوتیپ‌های عدس

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		YP	YS	TOL	HARM	STI	YI	YSI	GMP	SSI	MP
تکرار	۲	۳۱/۷۲	۲۲/۰۵۵	۳۵۰	۴۴۱/۵۵۵	۰/۰۲۲۱	۰/۵۹۴	۰/۰۲۱۶	۱۱۵۵۰/۵	۰/۵۰۵	۱۶۶۶/۶۶۶
تیمار	۵	۱۹۶۶۰/۵۴**	۲۳۱۳۳/۹۵**	۲۱۸۶۱/۸۰**	۲۶۰۲۴/۳۴**	۰/۰۶۲۳*	۰/۲۸۲^{ns}	۰/۰۳۳۷^{ns}	۲۰۷۹۸/۸۸^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۱۵۸۲۵/۱۲**
اشتباه	۱۰	۹۹/۷۲	۸۰/۳۲	۵۰	۲۴۴/۳۵۵	۰/۰۱۱۶	۰/۲۹۱	۰/۰۳۰۳	۱۵۹۰۵/۵۵	۰/۲۹۹	۱۶۶۶/۶۶
ضریب تغییرات (%)		۱/۳۶۶	۳/۱۴۵	۱/۵۹	۳/۸۶۱	۲۷/۳۰۲	۵۳/۹۸	۴۱/۲۵	۲۷/۷۹۲	۵۴/۵۲	۸/۰۳۹

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار

که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکردها و بیشتر شاخص‌های تحمل به خشکی (TOL، HARM، STI و MP) با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. این اختلاف نشان از عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی و وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های عدس از این حیث است. کاکایی و همکاران (۸) نیز در استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی در تحقیقات خود شاخص‌های (GMP، MP، YI و STI) را معنی‌دار گزارش کردند. اختلاف در برخی شاخص‌های معنی‌دار با مطالعه حاضر، به علت اختلاف در شدت تنش (SI) در مطالعات گوناگون است. جدول ۴ رتبه‌بندی و مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل به خشکی را نشان می‌دهد. براساس شاخص‌های MP و YP ژنوتیپ شماره ۶ (گچساران) در رتبه اول قرار دارد. براساس شاخص‌های YS، YI، YSI، GMP، HARM و STI ژنوتیپ شماره ۵ (بیله‌سوار) در رتبه اول قرار دارد و براساس شاخص TOL ژنوتیپ شماره ۴ (کیمیا) در سطح نخست قرار دارد و شاخص SSI نیز ژنوتیپ شماره ۳ (توده محلی کرمانشاه) را در رده اول قرار داد. در شرایط آبی عملکرد دانه بین ۶۵۸/۶۶ و ۸۵۴ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و عملکرد دانه بالا به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۶ (گچساران)، ۴ (کیمیا) و ۵ (بیله‌سوار) و در شرایط دیم عملکرد دانه بین ۲۰۴/۶۶ و ۴۳۷/۶۶ کیلوگرم در هکتار و مقادیر بالای عملکرد در شرایط تنش‌خشکی به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۵ (بیله‌سوار)، ۶ (گچساران) و ۴ (کیمیا) را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). براساس جدول ۵، برای دست‌یابی به مناسب‌ترین معیار ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها، ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در دو شرایط رطوبتی متفاوت با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد. همان‌طور که از جدول مشخص است، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص MP و عملکرد در شرایط طبیعی وجود دارد. بین عملکرد دانه در شرایط تنش‌خشکی و شاخص‌های SSI، STI، HARM، GMP، YSI و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. شفیعی‌خورشیدی و همکاران (۱۷) در مطالعه برخی از ژنوتیپ‌های معمولی لوبیا با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی ابراز کردند که بهترین شاخص‌ها، شاخص‌هایی هستند که دارای همبستگی بالا با عملکرد در هر دو شرایط تنش‌خشکی و عدم تنش‌خشکی باشند و از این رو شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI را دارای همبستگی معنی‌دار با دو شاخص عملکرد در شرایط تنش‌خشکی و عدم تنش‌خشکی، گزارش کردند. محققان دیگری نیز شاخص‌های مذکور را شاخص‌های مناسبی برای شناسایی ارقام با عملکرد بالا در هر دو شرایط دانستند (۷ و ۲۰). شکل ۱ گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل فرناندز توسط شاخص STI را نمایش می‌دهد. در مطالعه نمودار سه‌بعدی مشاهده شد که ژنوتیپ شماره ۶ (گچساران) در گروه A قرار می‌گیرد. یعنی متحمل به خشکی و دارای عملکرد بالا و مطلوب در هر دو شرایط رطوبتی است. در ضمن این ژنوتیپ‌ها دارای میزان بالایی از شاخص STI نیز هستند. بر این اساس ژنوتیپ شماره ۵ (بیله‌سوار) در گروه C قرار می‌گیرد بدین معنی که این ژنوتیپ قادر است در محیط تنش‌خشکی عملکرد نسبی بالاتری نسبت به شرایط عدم تنش‌خشکی تولید کند ژنوتیپ شماره ۴ (کیمیا) در گروه B قرار می‌گیرد که در محیط عدم تنش‌خشکی عملکرد بالایی دارد و ژنوتیپ شماره ۱ (سبز قزوین)، ۲ (توده محلی اسدآباد) و ۳ (توده محلی کرمانشاه) در گروه D جای گرفتند که در هر دو شرایط تنش‌خشکی و عدم تنش‌خشکی از عملکرد پایین‌تری برخوردار هستند. نتایج حاصل از نمودارهای سه‌بعدی YP و YS با شاخص‌های HARM و MP با توجه به همبستگی بسیار بالا و معنی‌دار با شاخص STI نتایجی مشابه با نتایج ذکر شده داشت (شکل‌های ۲ و ۳). استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) به‌منظور درک دقیق‌تر ارتباط شاخص‌ها و عملکرد برای هر دو شرایط کاربرد زیادی داشته است. با توجه به مؤلفه‌های اصلی (جدول ۶) مشخص شد که دو مؤلفه اول مقادیر ویژه بیشتر از یک گرفته و بیشترین واریانس (۱۰۰ درصد) کل را توجیه کردند به‌گونه‌ای که مؤلفه اول ۷۹/۶ درصد و مؤلفه دوم ۲۰/۴ درصد از کل واریانس را به خود اختصاص دادند. مؤلفه اصلی اول

جدول ۴. رتبه‌بندی و مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش‌خشکی در ژنوتیپ‌های عدس

شماره ژنوتیپ	Yp	رتبه	Ys	رتبه	YI	رتبه	YSI	رتبه	GMP	رتبه	HARM	رتبه	STI	رتبه	TOL	رتبه	MP	رتبه	SSI	رتبه
۱	۶۷۱/۶۶^{c}	۴	۲۶۸/۶۶^{c}	۳	۰/۹۴۲^{bc}	۳	۰/۳۹۹^{b}	۲	۴۲۴/۷۹^{c}	۴	۳۸۳/۸۰^{c}	۴	۰/۳۳۸^{cd}	۴	۴۰۳^{c}	۲	۴۷۰/۱۶^{b}	۴	۰/۹۸۳^{c}	۲
۲	۶۵۸/۶۶^{d}	۶	۲۰۷/۶۶^{d}	۵	۰/۷۲۸^{d}	۵	۰/۳۱۵^{d}	۵	۳۶۹/۸۳^{d}	۵	۳۱۵/۷۶^{d}	۵	۰/۲۵۶^{d}	۵	۴۵۱^{b}	۳	۴۳۳/۱۶^{c}	۶	۱/۱۲۲^{a}	۵
۳	۶۶۳/۶^{cd}	۵	۲۰۴/۶۶^{d}	۶	۰/۷۱۸^{d}	۶	۰/۳۰۸^{d}	۶	۳۶۸/۵۴^{d}	۶	۳۱۲/۸۴^{d}	۶	۰/۲۵۴^{d}	۶	۴۵۹^{b}	۴	۴۳۴/۱۶^{c}	۵	۱/۱۳۳^{a}	۶
۴	۷۹۵/۶^{ab}	۲	۲۶۳/۶۶^{c}	۴	۰/۹۲۵^{c}	۴	۰/۳۳۱^{c}	۴	۴۵۸/۰۲^{b}	۳	۳۹۶/۰۷^{c}	۳	۰/۳۹۲^{c}	۳	۵۳۲^{a}	۶	۵۲۹/۶^{ab}	۳	۱/۰۹۶^{b}	۴
۵	۷۴۰/۳۳^{b}	۳	۴۳۷/۶۶^{a}	۱	۱/۵۳۵^{a}	۱	۰/۵۹۱^{a}	۱	۵۶۹/۲۲^{a}	۱	۵۵۰/۱۱^{a}	۱	۰/۶۰۶^{a}	۱	۳۰۲/۶۷^{d}	۱	۵۸۸/۹۹^{a}	۲	۰/۶۷۰^{d}	۱
۶	۸۵۴^{a}	۱	۳۲۷/۶۶^{b}	۲	۱/۱۴۹۷^{b}	۲	۰/۳۸۳^{bc}	۳	۵۲۸/۹^{ab}	۲	۴۷۳/۶۰^{b}	۲	۰/۵۲۴^{b}	۲	۵۲۶/۳^{ab}	۵	۵۹۰/۸۳^{a}	۱	۱/۰۱۰^{bc}	۳

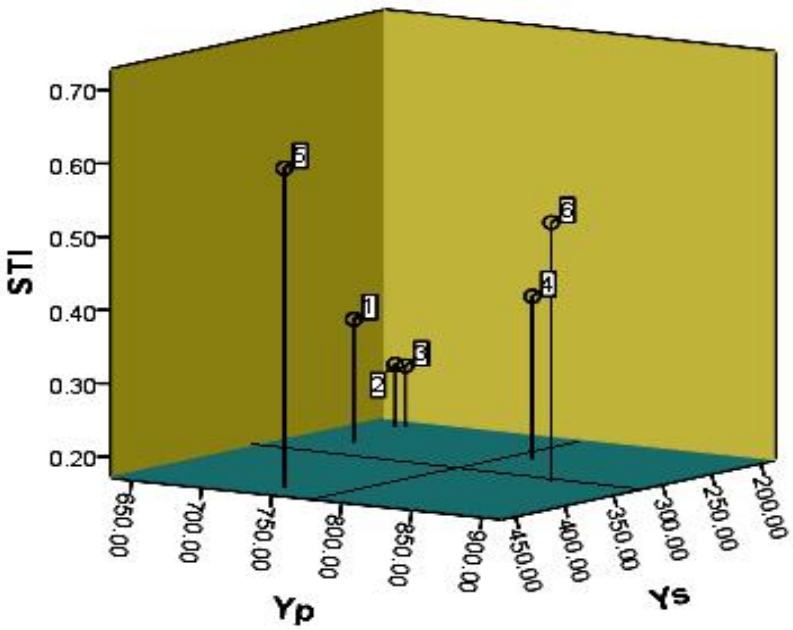
حروف انگلیسی در کنار اعداد مربوط به ستون هر شاخص، نشان‌دهنده گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای روش مقایسه میانگین دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

اعداد موجود در ستون رتبه مربوط به هر شاخص، نشان‌دهنده رتبه تعلق یافته به هر ژنوتیپ در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر آن شاخص است (اعداد کوچک‌تر رتبه برتر محسوب می‌شوند).

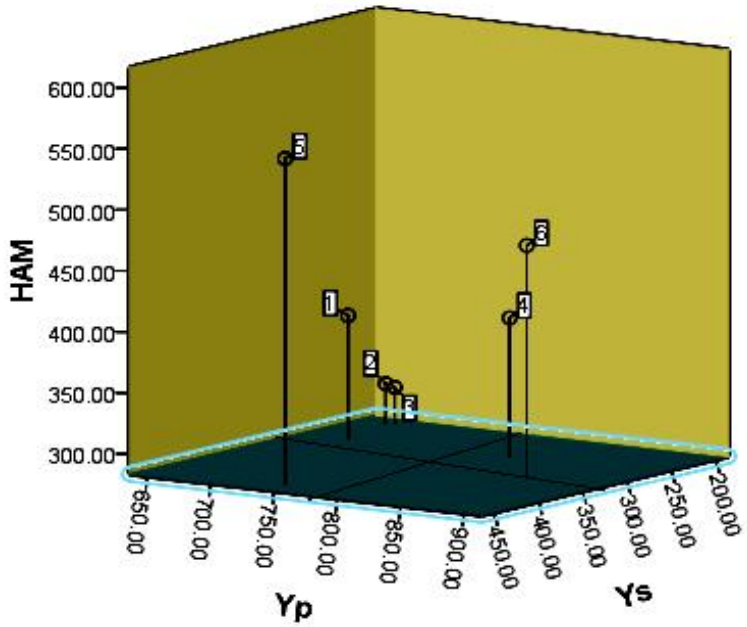
جدول ۵. ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش‌خشکی با شاخص‌های تحمل در ارقام عدس

	Yp	Ys	SSI	MP	TOL	STI	HAM	GMP	YSI	YI
Yp	۱									
Ys	۰/۴۸۸	۱								
SSI	-۰/۱۸۷	۰/۹۴۵**	۱							
MP	۰/۸۵۱*	۰/۸۷۴*	۰/۶۶۸	۱						
TOL	۰/۴۴۷	-۰/۵۶۳	۰/۸۰۱	-۰/۰۹۰	۱					
STI	۰/۶۹۷	۰/۹۶۵**	-۰/۸۲۷*	۰/۹۶۹**	۰/۳۲۹	۱				
HAM	۰/۶۱۹	۰/۹۸۷**	-۰/۸۸۲*	۰/۹۳۹**	۰/۴۲۵	۰/۹۹۳**	۱			
GMP	۰/۷۲۲	۰/۹۵۶**	-۰/۸۰۸	۰/۹۷۸**	-۰/۲۹۵	۰/۹۹۸**	۰/۹۹۰**	۱		
YSI	۰/۱۷۸	۰/۹۴۵**	-۱**	۰/۶۶۸	۰/۸۰۱	۰/۸۲۷*	۰/۸۸۲*	۰/۸۰۸	۱	
YI	۰/۴۸۸	۱**	-۰/۹۴۵**	۰/۸۷۴**	-۰/۵۶۳	۰/۹۶۵**	۰/۹۸۷**	۰/۹۵۶**	۰/۹۴۵**	۱

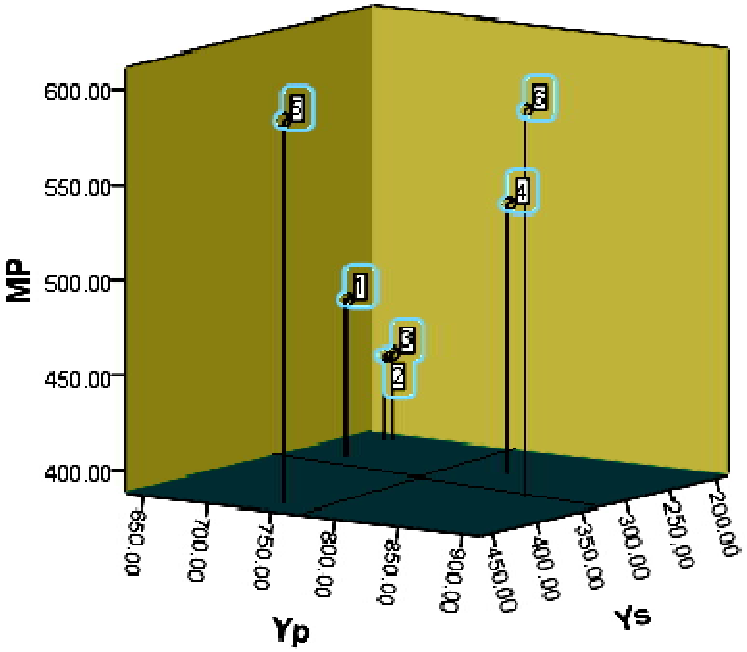
*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی‌دار



شکل ۱. نمودار سه بعدی جهت تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص



شکل ۲. نمودار سه بعدی جهت تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص HARM

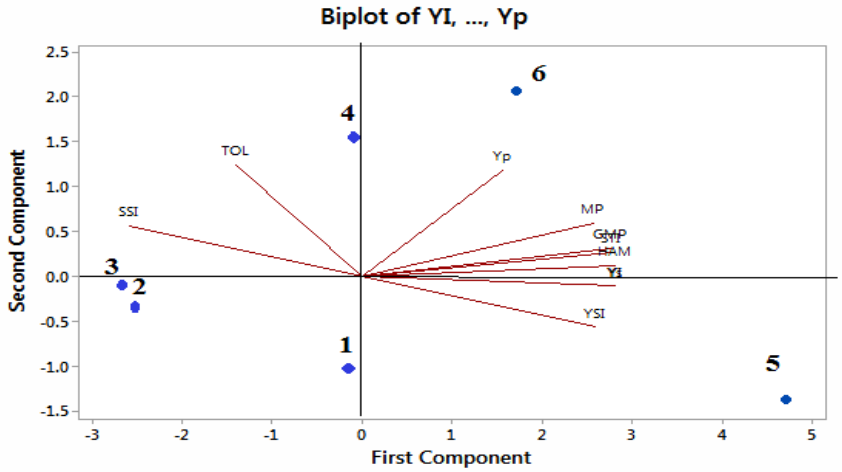


شکل ۳. نمودار سه بعدی جهت تعیین ارقام متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص MP

با شاخص‌های MP، GMP، HARM، YSI و STI دارای همبستگی مثبت و بالایی بود. لذا این مؤلفه، مؤلفه تحمل به خشکی نام‌گذاری شد. با توجه به اینکه مقدار بالای این شاخص‌ها مطلوب است هر چقدر مؤلفه اول افزایش یابد ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و متحمل به خشکی گزینش می‌شوند. مؤلفه دوم نیز با شاخص‌های TOL و SSI و عملکرد در شرایط عدم تنش‌خشکی همبستگی مثبت و بالایی داشته و از آنجایی که مقادیر پایین شاخص‌های SSI و TOL مد نظر است،

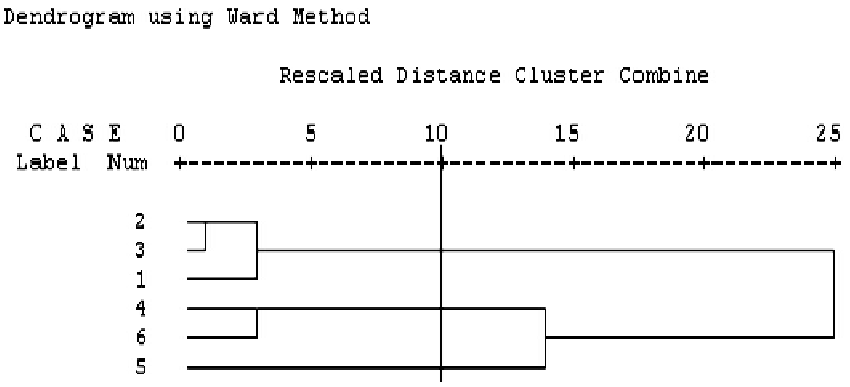
جدول ۶. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل خشکی عملکرد دانه در دو شرایط تنش‌خشکی و عدم تنش‌خشکی

Component Number	Eigen Value	Cumulative variance%	YI	YSI	GMP	HAM	STI	TOL	MP	SSI	YS	YP
۱	۷/۹۶	% ۷۹/۶	۰/۳۵۳	۰/۳۲۵	۰/۳۴۶	۰/۳۵۳	۰/۳۴۸	-۰/۱۷۶	۰/۳۲۲	-۰/۳۲۵	۰/۳۵۳	۰/۱۹۶
۲	۲/۰۳	% ۱۰۰	-۰/۰۵۴	-۰/۲۷۹	۰/۱۵۳	۰/۰۵۶	۰/۱۲۹	۰/۶۰۸	۰/۲۹۲	۰/۲۷۹	-۰/۰۵۴	۰/۵۸۳



شکل ۴. نمودار بای‌پلات ارقام عدس در شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم

لذا این مؤلفه به مؤلفه حساسیت به تنش تأکید دارد. در حقیقت این مؤلفه قادر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالا در شرایط تنش‌خشکی دارند (ژنوتیپ منطقه C)، است. با توجه به مؤلفه‌های اول و دوم، بای‌پلات تشکیل شد (شکل ۴) که براساس این شکل ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات تقسیم شدند. با توجه به تصویر بای‌پلات مشاهده می‌شود که ژنوتیپ‌های ۶ (گچساران)، ۵ (بیله‌سوار) و ۴ (کیمیا) به‌علت قرار گرفتن در مجاورت شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، ژنوتیپ‌های مناسبی برای هر دو محیط تحت کشت (تنش‌خشکی و عدم تنش‌خشکی) هستند. لذا کشت این دو ژنوتیپ را در هر دو شرایط تنش‌خشکی و عدم تنش‌خشکی می‌توان در نظر گرفت. زوایای تند شاخص‌های تحمل به خشکی نسبت به یکدیگر نشان از همبستگی بالای این شاخص‌ها نسبت به هم هستند و دو ژنوتیپ ۲ (توده محلی اسدآباد) و ۳ (توده محلی کرمانشاه) به‌علت اینکه تقریباً در مجاورت دو شاخص TOL و SSI قرار گرفته‌اند و دارای میزان کمی از مؤلفه اول و مقدار بیشتری از مؤلفه دوم هستند (با توجه به محل قرارگیری آنها در فضای بای‌پلات) ژنوتیپ‌هایی هستند که در شرایط این آزمایش برای کشت در شرایط تنش‌خشکی توصیه نمی‌شود. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی توسط کاکایی (۷) و سیاح و همکاران (۱۶) نیز گزارش شده است. برای اطلاع از تنوع ژنتیکی، تعیین فاصله ژنتیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های معنی‌داری از تجزیه خوشه‌ای به روش WARD استفاده شد (شکل ۵). برش دندروگرام بر مبنای اطلاعات تابع تشخیص انجام شد که بر این مبنا ژنوتیپ‌ها در سه گروه آماری دسته‌بندی شدند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های شماره ۱ (سبز قزوین)، ۲ (توده محلی اسدآباد) و ۳ (توده محلی کرمانشاه) و گروه دوم ژنوتیپ‌های شماره ۴ (کیمیا) و ۶ (گچساران) را در خود جای داد و ژنوتیپ شماره ۵ (بیله‌سوار) در گروه سوم دندروگرام قرار گرفت که این گروه‌بندی به‌طور ۱۰۰ درصد مورد تأیید تجزیه تابع تشخیص قرار گرفت (جدول ۷). ژنوتیپ شماره ۱ (سبز قزوین)، ۲ (توده محلی اسدآباد) و ۳ (توده محلی کرمانشاه)



شکل ۵. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های عدس بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش WARD

جدول ۷. نتایج تابع تشخیص برای گروه‌بندی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های عدس

گروه‌ها، بر مبنای تجزیه خوشه‌ای	گروه‌های پیش‌بینی شده						مجموع	
	یک		دو		سه			
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
یک	۳	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۳	۱۰۰
دو	۰	۰	۲	۱۰۰	۰	۰	۲	۱۰۰
سه	۰	۰	۰	۱۰۰	۱	۱۰۰	۱	۱۰۰

که براساس تجزیه خوشه‌ای در گروه اول آماری قرار گرفتند، در نمودار سه‌بعدی نیز در یک گروه (گروه D) جای گرفتند. استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی برای تجزیه کلاستر، تجزیه تابع تشخیص، تجزیه بای‌پلات و ترسیم نمودار سه‌بعدی توسط محققین بسیاری از جمله (کاکایی و همکاران (۸) در گندم و شفیعی‌خورشیدی و همکاران (۱۸) در لوبیا) مورد بهره‌گیری قرار گرفته است. آقایی‌پور و همکاران (۱) در مطالعه تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی ارقام سویا، به نحو مطلوبی از شاخص‌های MP، GMP، SSI، STI و TOL در تحقیق خود استفاده کردند که نتایج مطالعه حاضر نیز شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM را شاخص‌های قابل اعتمادی برای شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گزارش کرد.

نتیجه‌گیری

در ایران و بسیاری ازکشورهای مختلف جهان عده کثیری از مردم برای تأمین پروتئین مورد نیاز خود از حبوباتی نظیر نخود، عدس، لوبیا، ماش و غیره استفاده می‌کنند. کشت این محصولات و به‌دست آوردن لاین‌هایی با بیشترین عملکرد در شرایط کم‌آبی، از جمله مسایل قابل اهمیت برای تحقیق در کشور به‌شمار می‌رود. بر اساس مجموع نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، مشخص می‌شود که شاخص‌های تحمل به خشکی، روش‌های مناسب و مفیدی برای انتخاب عملکرد دانه هستند که می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی ژنوتیپ‌ها را از هم تفکیک کند. عدم تطابق نتایج این آزمایش با نتایج برخی مطالعات می‌تواند به‌علت متفاوت بودن شرایط آزمایش به‌خصوص شدت تنش خشکی (SI) روی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، شاخص‌های GMP، STI، HARM،MP و YSI به‌عنوان بهترین شاخص‌ها شناسایی شدند که نشان‌دهنده واکنش ارقام عدس با شدت تنش (SI=۰/۶۱) در شرایط تنش‌خشکی بود و می‌توانند ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا را

در هر دو شرایط تنش رطوبتی شناسایی کنند. به نظر می‌رسد تولید و ارائه ژنوتیپ‌های پر محصول و متحمل به خشکی در محصولات زراعی کم آب‌بر در تلفیق با دیگر روش‌های مدیریت کم‌آبی، از جمله راهکارهای مؤثر برای کاهش اثرات زیانبار خشکی باشد. این نتایج می‌تواند مورد توجه و استفاده در مطالعات آتی به‌نژادی قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش با امکانات دانشگاه پیام‌نور اسدآباد انجام شده است که از همکاری سایر بخش‌های مرکز دانشگاهی تشکر می‌شود. از جناب آقای دکتر محمد احمدی به لحاظ تهیه داده‌های هواشناسی محل پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Aghaeipour, N., M. Zavareh, M. R. Khaledian and G. Mohsenabadi. 2014. Effect of Various Soil Moisture Regimes on Grain Yield and Yield Components of Two Soybean Cultivars and Determination Their Best Drought Resistance Index. *Journal of Crop Production and Processing* 4(11): 41-51. (In Farsi).
2. Azizi Chakherchaman, SH., H. Kazemi Arbat, M. Yarnia and H. Mostafaei. 2009. Evaluation of drought toleranc in some improved lines and varieties of lentil (*Lens culinaris* L.) using stress suscebility and tolerance indices. *Journal of Crop Science* 1(1): 1-11. (In Farsi).
3. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In:* Proceeding of the Symposium. Taiwan, PP. 257-270.
4. Fisher, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
5. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523-531.
6. Kakaei, M. 2010. Study and comparison of rainfed cultivation (without irrigation) and supplementary irrigation application in chickpea cultivars in Asadabad Regional weather conditions. The Final Report of the Research Project, Payame Noor University of Hamedan.
7. Kakaei, M., A. R. Zabarjadi, A. Mostafaei and A. Rezaeizad. 2010. Identification of drought stress tolerant genotypes in canola using tolerance indices. *Electronic Journal of Crop Production* 4(3): 124-107. (In Farsi).
8. Kakaei, M., H. Mazaheri, A. R. Zarbajdi and A. M. Mahdavi-Damghani. 2012. Evaluation of drought stress tolerance in some bread wheat genotypes. *Journal of Technology in Plant Production* 1(12): 1-13. (In Farsi).
9. Kristin, A. S., R. R. Senra, F. I. Perez, B. C. Enriques, J. A. A. Gallegos, P. R. Vallego, N. Wassimi and J. D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under Drought stress. *Crop Science* 37: 43-50.
10. Moayedi, A. K., A. N. Boyce, S. S. Barakbah and M. Ghodsi. 2009. Tillering behaviors of promising durum wheat genotypes and bread wheat cultivar under different water deficit conditions. *In:* Plant Science in Indian Journal of Fundamental and Applied life Sciences ISSN: 2231-6345 (Online).
11. Muscolo, A., A. Junker, C. Klukas, K. Weigelt-Fischer, D. Riewe and T. Altmann. 2015. Phenotypic and metabolic responses to drought and salinity of four contrasting lentil accessions. *Journal of Experimental Botany* 66(18): 5467-5480.
12. Parsa, M. and A. S. Bagheri. 2008. Legumes. Publications University of Mashhad. Mashhad.
13. Rahimi, M. H., S. Hoshmand and M. Khodambashi. 2016. Evaluation of lentil recombinant inbred lines using drought tolerance indices. *Journal of Crop Ecophysiology* 4(40): 907-926.
14. Rosielle, A. A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21: 943-946.
15. Sadeghi pour, A. 2001. Science of Crop Production. First Part, Legumes (Translation). Pezeshkian nezhad Publication, Tehran.
16. Sayyah, S., M. Ghobadi, S. Mansourifar and A. R. Zebarjadi. 2012. Evaluation of drought tolerant in some wheat genotypes to post-anthesis drought stress. *Journal of Agricultural Science* 4(11): 248-256. (In Farsi).
17. Shafiee Khorshidi, M., M. R. Bihamta, F. Khialparast and M. R. Naghavi. 2013. Comparison of Some Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes for Drought Tolerance. *Iranian Journal of Field Crop Science* 44(1): 95-107. (In Farsi).
18. Soltani, A., F. R. Khoie, K. Ghassemi and M. Moghaddam. 2001. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in semi-arid environments. *Agricultural Water Management* 49: 225-237.
19. Xue, Q., Z. Zhu, J. T. Musick, B. A. Stewart and A. D. Donald. 2006. Physiological mechanisms contributing to the increased water-use efficiency in winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Plant Physiology* 163: 154-164.
20. Zebarjadi, A. R., T. Mirany, D. Kahrizi, M. Ghobadi and R. Nikoseresht. 2012. Assessment of drought tolerance in some bread wheat genotypes using drought resistance indices. *Biharean Biologist* 6(2): 94-98.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 8, No. 4, Winter 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Terminal Drought Stress Tolerance in Lentil (*Lens Culinaris*)

M. Kakaei[1*]

(Received: November 4-2017 ; Accepted: March 12-2018)

Abstract

Drought occurrence is one of the most important reasons for reduced yield in crops. At least in arid and semi-arid areas an efficient approach to tackle this problem is to identify and grow tolerant genotypes with the help of drought tolerance indices. The main objective of this research was to study the effects of drought on the performance of six genotypes of lentil in order to evaluate some of the drought tolerance and sensitivity indices, including stress tolerance index (TOL), stress susceptibility index (SSI), mean arithmetic (MP), geometric productivity of productivity (GMP), harmonic mean (HAM), yield stability index(YSI) and stress tolerance index (STI) in two conditions of drought stress (Non-irrigation) and normal conditions (irrigation). The experiment was conducted as a split plot based on randomized complete block design with three replications and six genotypes in Research Farm of Payame Noor University Center of Asadabad, Hamedan-Iran in 2017. Data obtained from growing genotypes under normal and drought conditions were used to calculate drought tolerance indices. There was a significant difference between genotypes in terms of response to late drought, most of the studied indices were able to discriminate susceptible and tolerant genotypes. Based on the examined indices, Bile Savar and Gachsaran genotypes were recognized as tolerant genotypes. The distribution of genotypes in the biplot space revealed a genetic variation between them in relation to drought stress and based on this, Bile Savar and Ghachsaran genotypes were recognized as drought tolerant and high yielding. Also, according to the results of the main components analysis, the first and second components described 100 percent of variation among the genotypes for the examined drought tolerance indices.

Keywords: Yield, Drought Stress, Flowering, Seed, Drought tolerance index

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, PO BOX 19395-4697, Tehran- Iran.
*: Corresponding Author, Email: Mehdikakaei37@gmail.com