

شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی در لوبیای چشم‌بلبلی با استفاده از شاخص‌های مقاومت

سید حمزه حسینیان^۱ و ناصر مجنون حسینی^{۲*}

۱ و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰)

چکیده

برای بررسی و گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی لوبیای چشم‌بلبلی و تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت، سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران واقع در کرج انجام گرفت. در این پژوهش ۳۱ ژنوتیپ لوبیای چشم‌بلبلی تهیه‌شده از بانک ژن دانشکده کشاورزی در دو وضعیت آبیاری معمولی (بدون تنش) و آبیاری محدود (تنش خشکی از مرحله گلدهی تا پایان دوره رشد) در طرح بلوک‌های تصادفی در سه تکرار ارزیابی شد. ژنوتیپ‌ها از نظر مقاومت به خشکی با شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک بهره‌وری (HARM)، مقاومت به تنش (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، مقاومت (TOL) و پایداری عملکرد (YSI) ارزیابی شدند. با توجه به وضعیت همبستگی آنها با عملکرد در دو وضعیت تنش و بدون تنش، چهار شاخص MP، GMP، HARM و STI بهترین شاخص‌ها در جداسازی ژنوتیپ‌های مقاوم انتخاب شدند. پس از ترسیم نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰ و ۲۳ ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا و ژنوتیپ‌های ۲۸، ۳، ۹، ۱۴، ۲۶، ۱۷، ۲۰، ۳۰، ۲۷ و ۱۲ ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی، شاخص‌های خشکی، نمودار بای‌پلات.

مقدمه

در محیط‌های طبیعی گیاهان با انواع تنش‌هایی مواجهند که آثار منفی بر رشدونمو آنها دارند از این عوامل، خشکی بزرگ‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی است (Reddy et al., 2004). یک‌سوم از اراضی کشت‌پذیر جهان با مشکل کمبود آب کافی برای کشاورزی مواجهند که با تغییرات آب‌وهوایی و افزایش جمعیت این مشکل در آینده جدی‌تر خواهد شد (Houerou, 1996). بنابراین شناسایی گیاهان مقاوم به وضعیت خشک یا کم‌آبی با عملکرد مناسب و بررسی سازوکارهای مقاومت آنها از مهم‌ترین راه‌حل‌ها برای مبارزه با تنش خشکی است (Rebetzke et al., 2006). باتوجه به محدودیت منابع آب و پایین بودن بارندگی در

کشور، دورنمای تولید محصولات کشاورزی نامشخص است. بنابر پیش‌بینی‌ها، با گرم شدن کره زمین در آینده، نیاز آبی گیاهان افزایش خواهد یافت و استفاده از منابع آب بسیار محدود خواهد شد. براساس گزارش FAO، ۹۰ درصد کشور ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. امروزه اهمیت نقش پروتئین در رژیم غذایی بشر بر هیچ‌کس پوشیده نیست و تلاش متخصصان تغذیه در تأمین منابع پروتئین و ترکیب‌کردن آن با سایر منابع غذایی برای تأمین نیازهای غذایی بشر، موجب شده که توجه ویژه آنان به حبوبات معطوف شود که یکی از مهم‌ترین منابع غذایی سرشار از پروتئین (با محتوای ۱۸-۳۲ درصد) است (Saxena & Singh, 1997; Singh)

پیشنهاد شده است. در مناطق نیمه‌خشک با پراکنش بارندگی نامناسب، پتانسیل عملکرد در وضعیت تنش، بهترین معیار مقاومت به خشکی نیست، بلکه پایداری عملکرد و مقایسه میزان عملکرد در وضعیت تنش و مناسب، معیارهای مناسب‌تری برای واکنش گونه‌ها به تنش رطوبتی معرفی شده‌اند (Silim *et al.*, 1988). معیار تحمل به خشکی، میزان عملکرد دانه در وضعیت خشک بیان شده است (Fisher & Maurer, 1978)، بنابراین وضعیت عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در وضعیت تنش خشکی و در وضعیت مناسب، یک نقطه شروع برای شناسایی صفات مربوط به خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌ها برای اصلاح در محیط‌های خشک مطرح است (Golestani & Pakniyat, 2004). بدین ترتیب توانایی گیاه برای تولید در وضعیت تنش در مقایسه با تولید در وضعیت بدون تنش معیار مقاومت به خشکی مطرح شده است (Fisher & Maurer, 1978). برای تمایز ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در وضعیت مزرعه، چندین شاخص انتخاب براساس عملکرد دانه در وضعیت تنش و بدون تنش خشکی پیشنهاد شده است. شاخص انتخاب مناسب، شاخصی است که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو وضعیت تنش و بدون تنش را از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز کند (Fernandez, 1992). Rosielle & Hamblin (1981) شاخص‌های مقاومت^۱ (TOL) و میانگین حسابی^۲ (MP) را معرفی کردند. انتخاب بر مبنای مقادیر کمتر TOL منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد آنها در محیط تنش نسبت به محیط طبیعی، کاهش کمتری داشته و ثبات عملکرد داشته باشند. از طرف دیگر انتخاب بر مبنای شاخص MP منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود. Fisher & Maurer (1978) شاخص حساسیت به تنش^۳ (SSI) را پیشنهاد کردند. مقدار کمتر SSI نشان‌دهنده تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در وضعیت تنش نسبت به وضعیت بدون تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ است. Fernandez (1992) شاخص مقاومت به تنش (STI)^۴ را معرفی کرد. مقدار زیاد این شاخص برای

(Saxena, 2000). لوبیای چشم‌بلیلی یکی از حبوباتی است که در وضعیت‌های کاملاً متفاوت آب‌وهوایی رشد کرده و گونه‌هایی با سازگاری بالا دارد. در ضمن از جمله حبوباتی است که در کشورهای گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌خصوص کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکای جنوبی در سطحی بالغ بر هفت میلیون هکتار در جهان کشت می‌شود (FAO, 2010). طبق مطالعات، لوبیای چشم‌بلیلی قادر به نگهداری پتانسیل آب برگ بالا یا محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها در تنش رطوبتی است؛ بنابراین از پسابدگی بافت‌های آن جلوگیری می‌شود (Souza, *et al.*, 2004)، با وجود این به گفته Chaves *et al.*, (1991) این راهبرد با بسته شدن روزنه‌ها ممکن است سبب کاهش در آسیمیلیاسیون CO₂ و کاهش رشد و عملکرد شود. De *et al.*, (1998) Carvalho بیان کردند که سازگاری به خشکی در لوبیای چشم‌بلیلی و به حداقل رساندن هدرروی آب به کنترل شکاف روزنه وابسته است. Fatokun *et al.*, (2012) برای انتخاب لاین‌های مقاوم به خشکی لوبیای چشم‌بلیلی با بررسی اثر تنش خشکی ۵ هفته پس از کاشت روی ۱۲۰۰ لاین گزارش کردند که تنش خشکی به طور میانگین، تعداد روز تا گلدهی را ۱۲ روز و میانگین عملکرد دانه در بوته را ۶۷/۲۸ درصد کاهش داد. Bastos *et al.*, (2011) با بررسی اثر تنش خشکی بر ۲۰ ژنوتیپ لوبیای چشم‌بلیلی در مرحله زایشی به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش شاخص سطح برگ (۲۰ درصد)، میزان کلروفیل (۱۶ درصد)، تعداد غلاف در بوته (۱۷۵ درصد) و عملکرد دانه (۶۰ درصد) شده است. Ahmad & Suliman (2010) با بررسی تنش خشکی در دو فصل زراعی بر روی سه ژنوتیپ لوبیای چشم‌بلیلی در مراحل رویشی و زایشی گزارش کردند که حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، مرحله زایشی بود که باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد شد. در حالی که تنش خشکی در مرحله رویشی، تفاوت معناداری با وضعیت طبیعی نداشت در نتیجه گیاه در این مرحله با مقاومت به تنش خشکی می‌تواند خود را بهبود دهد.

برای یافتن گونه‌های مقاوم به خشکی با عملکرد و تولید مناسب، معیارهای متفاوتی از سوی محققان

1. Tolerance
2. Mean Productivity
3. Stress Susceptibility Index
4. Stress Tolerance Index

لوبیای چشم‌بلبلی مقاوم در برابر تنش خشکی با استفاده از شاخص‌ها، معرفی شاخص‌های برتر و در نهایت دستیابی به ژنوتیپ‌های برتر بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۳۱ ژنوتیپ لوبیای چشم‌بلبلی (جدول ۱) در دو وضعیت آبیاری معمول (بدون تنش) و آبیاری محدود (تنش خشکی از مرحله گلدهی تا پایان دوره رشد) در طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران واقع در دولت‌آباد کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۱۱۲/۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. ژنوتیپ‌ها از مجموعه حبوبات بانک ژن گیاهی گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انتخاب شده بودند. عملیات تهیه زمین شامل شخم بهاره و تسطیح به موقع انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل دو خط کاشت به طول ۲ متر با فاصله بین خطوط ۰/۵ متر، و فاصله بین بوته‌ها (روی ردیف) پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مراقبت‌های زراعی نظیر آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز به‌طور منظم براساس برنامه مشخصی انجام شد. در آزمایش تنش آبی، از مرحله گلدهی به بعد تا پایان دوره رشد، آبیاری متوقف شد. در پایان دوره رشد و مرحله برداشت با حذف آثار حاشیه ابتدا و انتهای خطوط هر کرت نمونه‌برداری از مابقی بوته‌های موجود انجام شد. با استفاده از میانگین عملکرد بوته‌های هر کرت در وضعیت بدون تنش (Y_{pi}) و تنش (Y_{si}) شاخص‌های اندازه مقاومت به تنش به شرح زیر محاسبه شد:

ژنوتیپ نمایانگر مقاومت به خشکی بیشتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ است. همچنین شاخص دیگری Fernandez (1992) نشان داد، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)^۱ بود. این شاخص در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها قدرت بیشتری دارد. براساس میانگین هارمونیک بهره‌وری (HARM)^۲ که Kristin *et al.*, (1997) پیشنهاد داد، ژنوتیپ‌هایی مقاوم‌تر محسوب می‌شوند که مقادیر بیشتری از شاخص HARM را داشته باشند. شاخص پایداری عملکرد (YSI)^۳ نشان‌دهنده مقدار مقاومت ژنتیکی گونه به تنش خشکی است (Bousslama & Schapau, 1984). و در نتیجه ژنوتیپی با شاخص YSI باید عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش داشته باشد. Fernandez (1992) با بررسی عملکرد گونه‌های ماش در دو محیط تنش و بدون تنش آنها را به چهار گروه دسته‌بندی کرد:

الف) ژنوتیپ‌هایی که تظاهر یکسانی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند (گروه A).

ب) ژنوتیپ‌هایی که فقط تظاهر خوبی در محیط بدون تنش دارند (گروه B).

ج) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی در محیط تنش دارند (گروه C).

د) ژنوتیپ‌هایی که تظاهر ضعیفی در هر دو محیط دارند (گروه D).

به عقیده فرناندز مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تنش، معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد. بنابراین این محقق برای شناسایی گونه‌های گروه A، شاخص مقاومت به تنش (STI) را بیان کرد. Fernandez (1992) دو شاخص STI و MP را برای غربال لاین‌های مقاوم لوبیا نسبت به خشکی معرفی کرد. هدف از این پژوهش بررسی واکنش ژنوتیپ‌های

(Rosielle & Hamblin, 1981)

(Rosielle & Hamblin, 1981)

(Fernandez, 1992)

(Fernandez, 1992)

(Fisher & Maurer, 1978)

(Fisher & Maurer, 1978)

(Bousslama & Schapau, 1984)

(Kristin *et al.*, 1997)

$$MP = (Y_{pi} + Y_{si}) / 2$$

$$TOL = Y_{pi} - Y_{si}$$

$$GMP = \sqrt{(Y_{ip} \times Y_{si})}$$

$$STI = (Y_{pi} \times Y_{si}) / (Y_p)^2$$

$$SI = 1 - (Y_s / Y_p)$$

$$SSI = (1 - (Y_s / Y_{pi})) / SI$$

$$YSI = Y_{si} / Y_{pi}$$

$$HARM = (2 \times (Y_{pi} \times Y_{si})) / (Y_{pi} + Y_{si})$$

(شاخص میانگین بهره‌وری)

(شاخص مقاومت)

(شاخص میانگین هندسی بهره‌وری)

(شاخص مقاومت به تنش)

(شدت تنش)

(شاخص حساسیت به تنش)

(شاخص پایداری عملکرد)

(میانگین هارمونیک بهره‌وری)

1. Geometric Mean Productivity

2. Harmonic Mean Productivity

3. Yield Stability Index

Excel، برای محاسبات آماری از نرم‌افزار SPSS 19 و برای ترسیم نمودارهای سه‌بعدی و بای‌پلات از برنامه Statgraphics استفاده شد.

Yp میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های گوناگون در وضعیت بدون تنش، Ys میانگین عملکرد در وضعیت تنش خشکی است. برای دسته‌بندی داده‌ها از نرم‌افزار

جدول ۱. کد و مبدأ ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلیلی آزمایشی

شماره ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	مبدأ	شماره ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	مبدأ
۱	۶۲-۰۳۴-۰۰۰۰۷	کلمبیا	۱۷	۶۲-۰۶۹-۰۰۰۲۷۳	هند
۲	۶۲-۱۵۳-۰۰۰۰۴۲	ترکیه	۱۸	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۰۱	آمریکا
۳	۶۲-۱۵۳-۰۰۰۰۵۲	ترکیه	۱۹	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۱۸	آمریکا
۴	۶۲-۰۶۹-۰۰۰۰۵۸	هند	۲۰	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۲۲	آمریکا
۵	۶۲-۰۶۹-۰۰۰۰۶۱	هند	۲۱	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۲۸	آمریکا
۶	۶۲-۱۵۳-۰۰۰۰۶۶	ترکیه	۲۲	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۴۱	آمریکا
۷	۶۲-۰۰۰-۰۰۰۰۷۳	آفریقا	۲۳	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۵۱	آمریکا
۸	۶۲-۱۱۰-۰۰۰۰۹۱	نیجریه	۲۴	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۵۴	آمریکا
۹	۶۲-۱۱۰-۰۰۰۱۰۷	نیجریه	۲۵	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۵۵	آمریکا
۱۰	۶۲-۰۱۵-۰۰۰۱۱۰	کنگو	۲۶	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۷۲	آمریکا
۱۱	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۱۱۸	آمریکا	۲۷	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۷۴	آمریکا
۱۲	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۱۲۲	آمریکا	۲۸	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۷۷	آمریکا
۱۳	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۱۳۷	آمریکا	۲۹	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۸۰	آمریکا
۱۴	۶۲-۱۱۰-۰۰۰۲۴۰	نیجریه	۳۰	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۹۶	آمریکا
۱۵	۶۲-۱۱۰-۰۰۰۲۶۰	نیجریه	۳۱	۶۲-۱۵۷-۰۰۰۳۴۷	آمریکا
۱۶	۶۲-۰۶۹-۰۰۰۲۷۰	هند			

نتایج و بحث

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم، شاخص‌های مقاومت به خشکی برای ژنوتیپ‌های بررسی‌شده محاسبه شدند (جدول ۲). در مجموع تنش خشکی ۳۲/۵۰ درصد عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های بررسی‌شده را کاهش می‌دهد. براساس شاخص مقاومت به تنش (STI)، مقادیر بیشتر این شاخص نشان‌دهنده مقاومت بیشتر ژنوتیپ‌ها به تنش است. براساس این شاخص، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰، ۲۳، ۲، ۱۹ و ۳۱ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها مقاومت به تنش بیشتری داشتند. ژنوتیپ‌های نامبرده ضمن احراز بالاترین مقادیر شاخص STI بین ژنوتیپ‌های بررسی‌شده، از لحاظ عملکرد نیز در هر دو وضعیت طبیعی و تنش در گروه ژنوتیپ‌های پرمحصول قرار داشتند. ژنوتیپ‌های ۲۸، ۳، ۹، ۱۴ و ۲۶ نیز براساس

این شاخص حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. شاخص حساسیت به تنش (SSI) بیشتر برای حذف ژنوتیپ‌های حساس استفاده می‌شود و براساس آن هر ژنوتیپ با مقادیر بیشتری از این شاخص، در مقابل تنش حساس‌تر است (Fisher & Maurer, 1978). براساس این شاخص و با توجه به میانگین عملکرد در هر دو وضعیت طبیعی و تنش، ژنوتیپ‌های ۲۵، ۱، ۲، ۱۵ و ۱۶ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها وضعیت خوبی داشتند و مقدار کمی از شاخص یاد شده را به خود اختصاص داده و برترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. ژنوتیپ‌های ۱۷، ۲۰، ۳۰، ۴ و ۲۷ نیز با داشتن بیشترین مقدار از این شاخص حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. براساس شاخص مقاومت (TOL)، ژنوتیپ‌هایی مقاوم‌ترند که مقادیر کمتری از شاخص نامبرده را داشته باشند (1981،

برای تعیین شاخص‌های مناسب و بررسی ارتباط بین شاخص‌های مقاوم به خشکی و عملکرد در وضعیت طبیعی و تنش، ضرایب همبستگی ساده محاسبه و نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ مشخص شد که شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI به دلیل داشتن همبستگی مثبت و بسیار معنادار (با احتمال ۱ درصد) با عملکرد در هر دو وضعیت آبیاری طبیعی و تنش خشکی شاخص‌های مناسبی به نظر رسیدند، زیرا انتخاب مقادیر بالای این شاخص‌ها به معنای به دست آوردن عملکرد زیاد در آبیاری طبیعی و تنش خشکی بود. هر چهار شاخص نامبرده با یکدیگر همبستگی مثبت و بسیار معنادار (با احتمال ۱ درصد) نشان دادند. به عقیده Blum (1988) بهترین شاخص آن است که در هر دو وضعیت طبیعی و تنش، همبستگی معنادار با عملکرد بالا داشته باشند و با توجه به همبستگی معنادار و بالایی که شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI با عملکرد در هر دو وضعیت و نیز با هم داشتند، می‌توانند برای دستیابی به گونه‌ها با عملکرد بالا در هر دو محیط به کار روند. در تحقیقات محققان درباره ژنوتیپ‌های کنجد، شاخص‌های HARM، MP، STI و GMP؛ بر روی ژنوتیپ‌های گلرنگ، شاخص‌های STI، MP و GMP؛ و نیز بر روی لاین‌های گندم نان، شاخص‌های STI و MP مناسب‌ترین شاخص‌ها معرفی شده‌اند. این انتخاب براساس تفاوت‌های معنادار بین ژنوتیپ‌ها و گونه‌ها از نظر شاخص‌های نامبرده انجام گرفت که امکان بررسی تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها را فراهم کرده‌اند (Ashkani, 2002; Golestani & Pakniyat, 2004; Usefiyar & Rezaei, 2004). همچنین Ganjeali *et al.* (2011) در پژوهشی بر روی نخود تیپ کابلی شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM را بهترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی کردند.

بعد از شناسایی بهترین شاخص‌های کمی مقاوم به تنش خشکی، برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی و با عملکرد زیاد در هر دو محیط تنش و بدون تنش، از نمودار سه‌بعدی استفاده شد. این نمودار رابطه بین سه متغیر Y_{pi} ، Y_{si} و یکی از شاخص‌های مقاومت را نشان می‌دهد که در آن عملکرد در محیط تنش روی

براساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۲۵، ۱، ۱۵، ۱۶ و ۲ با مقدار کم، برترین ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بودند. ولی ژنوتیپ‌های ۱۷، ۲۰، ۴، ۳۰ و ۱۲ بیشترین مقدار از این شاخص را داشتند در نتیجه حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. چنانکه مشاهده می‌شود تشابه و همبستگی بالایی بین نتایج به دست آمده از این شاخص و شاخص SSI وجود دارد. براساس شاخص بهره‌وری (MP)، ژنوتیپ‌هایی مقاوم‌ترند که مقادیر بیشتری از این شاخص داشته باشند (Rosielle 1981 & Hamblin). بر همین اساس به ترتیب ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰، ۲۳، ۲ و ۱۹ مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ۲۸، ۳، ۹، ۱۴ و ۲۶ با کمترین مقدار از این شاخص حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. براساس شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP)، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰، ۲۳، ۲، ۱۹ و ۳۱ مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های ۲۸، ۳، ۹، ۱۴ و ۲۶ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها تعیین و شناسایی شدند. شاخص پایداری عملکرد (YSI) نشان‌دهنده مقدار مقاومت ژنتیکی گونه به تنش خشکی است (Bousslama & Schapau, 1984) و در نتیجه ژنوتیپی با شاخص پایداری عملکرد بالا باید عملکرد زیادی در هر دو محیط تنش و بدون تنش داشته باشد. براساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۲۵، ۱، ۲، ۱۵ و ۱۶ مقاوم‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۷، ۲۰، ۳۰، ۴ و ۲۷ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها تعیین و شناسایی شدند. براساس میانگین هارمونیک بهره‌وری (HARM)، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰، ۲، ۲۳، ۳۱ و ۱۹ مقاوم‌ترین و ژنوتیپ‌های ۲۸، ۳، ۹، ۱۴ و ۱۷ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها تعیین و شناسایی شدند. با در نظر گرفتن همه شاخص‌های حساسیت و مقاومت به خشکی و همچنین عملکرد در دو وضعیت طبیعی و خشکی، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰ و ۲۳ ژنوتیپ‌های برتر و مقاوم به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۲۸، ۳، ۹، ۱۴، ۲۶، ۱۷، ۲۰، ۲۰، ۳۰، ۲۷ و ۱۲ ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی شناسایی شدند. با توجه به اینکه ژنوتیپ ۶ از نظر عملکرد در وضعیت تنش و بدون تنش در وضعیت مناسبی قرار دارد، می‌توان آن را مناسب‌ترین ژنوتیپ برای کشت در وضعیت تنش و بدون تنش در نظر گرفت.

STI و HARM همان‌طور که دیده می‌شود ژنوتیپ‌های ۶، ۲۳، ۱۰ و چند ژنوتیپ دیگر در گروه A قرار گرفتند؛ یعنی هم مقاوم به تنش کم‌آبی هستند و هم عملکرد آنها در وضعیت دیم و آبی زیاد است. با توجه به نمودارها، بیشتر ژنوتیپ‌ها در گروه A و B و سه ژنوتیپ ۲۸، ۳ و ۹ در گروه D قرار گرفتند و هیچ ژنوتیپی در گروه C قرار نگرفت. استفاده از نمودارهای سه‌بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها در لوبیا توسط Fernandez (1992) و در نخود توسط Ganjeali *et al.*, (2011) استفاده و تأیید شده است.

محور Yها، عملکرد در محیط بدون تنش روی محور Xها و شاخص‌های مقاومت روی محور Z نمایش داده می‌شوند. با توجه به این معیار ژنوتیپ‌ها به چهار گروه A، B، C و D تقسیم می‌شوند و از نظر Fernandez (1992) مناسب‌ترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها متمایز کند. با توجه به اینکه در این پژوهش شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI شاخص‌های مناسب برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها شناخته شدند، بنابراین از نمودارهای سه‌بعدی آنها استفاده شد (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). براساس نمودار سه‌بعدی Ys و Yp با شاخص‌های MP، GMP،

جدول ۲. برآورد مقادیر شاخص‌های مقاوم به خشکی براساس میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی در وضعیت‌های تنش و بدون تنش

Genotype	Yp (گرم در بوته)	Ys (گرم در بوته)	MP	GMP	HARM	STI	SSI	TOL	YSI
۱	۲۲/۹۹	۲۰/۴۷	۲۱/۷۳	۲۱/۶۹	۲۱/۶۶	۰/۷۰	۰/۳۴	۲/۵۲	۰/۸۹
۲	۲۷/۳۹	۲۲/۴۲	۲۴/۹۱	۲۴/۷۸	۲۴/۶۶	۰/۹۲	۰/۵۷	۴/۹۷	۰/۸۲
۳	۱۹/۲۷	۱۱/۷۳	۱۵/۵۰	۱۵/۰۳	۱۴/۵۸	۰/۳۴	۱/۲۲	۷/۵۴	۰/۶۱
۴	۲۹/۸۱	۱۶/۸۳	۲۳/۳۲	۲۲/۴۰	۲۱/۵۱	۰/۷۵	۱/۳۶	۱۲/۹۸	۰/۵۶
۵	۲۵/۴۹	۱۹/۹۶	۲۲/۷۳	۲۲/۵۶	۲۲/۳۹	۰/۷۶	۰/۶۸	۵/۵۳	۰/۷۸
۶	۳۲/۰۳	۲۴/۶۱	۲۸/۳۲	۲۸/۰۸	۲۷/۸۳	۱/۱۸	۰/۷۲	۷/۴۲	۰/۷۷
۷	۲۷/۴۶	۱۸/۵۴	۲۳/۰۰	۲۲/۵۶	۲۲/۱۴	۰/۷۶	۱/۰۲	۸/۹۲	۰/۶۸
۸	۲۶/۷۲	۱۷/۷۴	۲۲/۲۳	۲۱/۷۷	۲۱/۳۲	۰/۷۱	۱/۰۵	۸/۹۸	۰/۶۶
۹	۱۹/۲۳	۱۲/۹۹	۱۶/۱۱	۱۵/۸۰	۱۵/۵۱	۰/۳۷	۱/۰۱	۶/۲۴	۰/۶۸
۱۰	۳۰/۲۴	۲۲/۲۵	۲۶/۲۵	۲۵/۹۴	۲۵/۶۴	۱/۰۱	۰/۸۳	۷/۹۹	۰/۷۴
۱۱	۲۹/۴۴	۱۸/۶۴	۲۴/۰۴	۲۳/۳۳	۲۲/۸۳	۰/۸۲	۱/۱۵	۱۰/۸۰	۰/۶۳
۱۲	۲۸/۰۱	۱۶/۵	۲۲/۲۶	۲۱/۵۰	۲۰/۷۷	۰/۶۹	۱/۲۸	۱۱/۵۱	۰/۵۹
۱۳	۲۷/۷۹	۲۰/۱۶	۲۳/۹۸	۲۳/۶۷	۲۳/۳۷	۰/۸۴	۰/۸۶	۷/۶۳	۰/۷۳
۱۴	۲۱/۵۳	۱۲/۶۹	۱۷/۱۱	۱۶/۵۳	۱۵/۹۷	۰/۴۱	۱/۲۸	۸/۸۴	۰/۵۹
۱۵	۲۲/۶۶	۱۸/۳۴	۲۰/۵۰	۲۰/۳۹	۲۰/۲۷	۰/۶۲	۰/۶۰	۴/۳۲	۰/۸۱
۱۶	۲۲/۳۲	۱۷/۷۱	۲۰/۰۲	۱۹/۸۸	۱۹/۷۵	۰/۵۹	۰/۶۵	۴/۶۱	۰/۷۹
۱۷	۳۰/۹۱	۱۲/۱۲	۲۱/۵۲	۱۹/۳۶	۱۷/۴۱	۰/۵۶	۱/۹۰	۱۸/۷۹	۰/۳۹
۱۸	۲۶/۷۱	۲۰/۱۴	۲۳/۴۳	۲۳/۱۹	۲۲/۹۶	۰/۸۱	۰/۷۷	۶/۵۷	۰/۷۵
۱۹	۲۸/۸۷	۱۹/۷۴	۲۴/۳۱	۲۳/۸۷	۲۳/۴۵	۰/۸۵	۰/۹۹	۹/۱۳	۰/۶۸
۲۰	۳۱/۳۸	۱۳/۹۸	۲۲/۶۸	۲۰/۹۴	۱۹/۳۴	۰/۶۶	۱/۷۳	۱۷/۴۰	۰/۴۵
۲۱	۲۵/۹۶	۱۹/۵۹	۲۲/۷۸	۲۲/۵۵	۲۲/۳۳	۰/۷۶	۰/۷۷	۶/۳۷	۰/۷۵
۲۲	۲۵/۴۳	۱۵/۲۷	۲۰/۳۵	۱۹/۷۱	۱۹/۰۸	۰/۵۸	۱/۲۵	۱۰/۱۶	۰/۶۰
۲۳	۲۹/۹۵	۲۰/۶۷	۲۵/۳۱	۲۴/۸۸	۲۴/۴۶	۰/۹۳	۰/۹۷	۹/۲۸	۰/۶۹
۲۴	۲۵/۰۲	۱۶/۸۷	۲۰/۹۵	۲۰/۵۴	۲۰/۱۵	۰/۶۳	۱/۰۲	۸/۱۵	۰/۶۷
۲۵	۲۲/۳۳	۲۰/۰۱	۲۱/۱۷	۲۱/۱۴	۲۱/۱۱	۰/۶۷	۰/۳۲	۲/۳۲	۰/۹۰
۲۶	۲۳/۱۹	۱۴/۹۵	۱۹/۰۷	۱۸/۶۲	۱۸/۱۸	۰/۵۲	۱/۱۱	۸/۲۴	۰/۶۴
۲۷	۲۶/۳۸	۱۵/۴۳	۲۰/۹۱	۲۰/۱۸	۱۹/۴۷	۰/۶۱	۱/۳۰	۱۰/۹۵	۰/۵۸
۲۸	۱۶/۹۳	۱۱/۱۲	۱۴/۰۳	۱۳/۷۲	۱۳/۴۲	۰/۲۸	۱/۰۷	۵/۸۱	۰/۶۶
۲۹	۲۳/۷۵	۱۵/۴۳	۱۹/۵۹	۱۹/۱۴	۱۸/۷۱	۰/۵۵	۱/۰۹	۸/۳۲	۰/۶۵
۳۰	۲۶/۵۱	۱۴/۵۱	۲۰/۵۱	۱۹/۶۱	۱۸/۷۵	۰/۵۸	۱/۴۱	۱۲/۰۰	۰/۵۵
۳۱	۲۷/۴۹	۲۰/۷۳	۲۴/۱۱	۲۳/۸۷	۲۳/۶۴	۰/۸۵	۰/۷۷	۶/۷۶	۰/۷۵

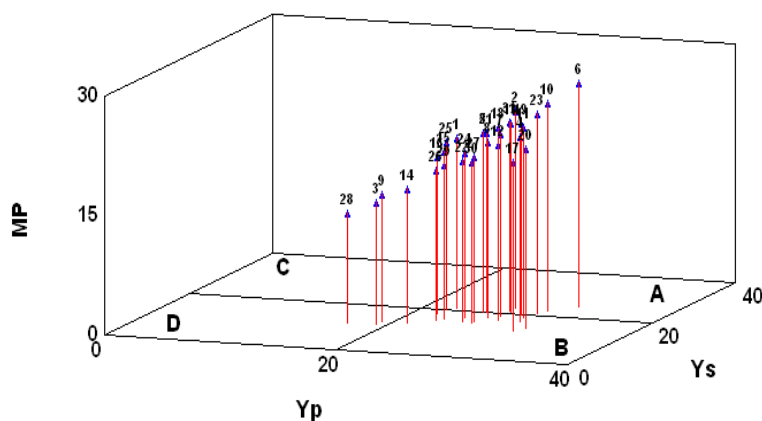
جدول ۳. ضرایب همبستگی شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی در وضعیت‌های تنش و

بدون تنش		Yp	Ys	MP	GMP	HARM	STI	SSI	TOL	YSI
Yp		۱								
Ys		۰/۴۹۵***	۱							
MP		۰/۸۷۸***	۰/۸۵۱***	۱						
GMP		۰/۸۰۳***	۰/۹۱۴***	۰/۹۹۰***	۱					
HARM		۰/۷۲۳***	۰/۹۵۵***	۰/۹۶۴***	۰/۹۹۲***	۱				
STI		۰/۷۸۷***	۰/۹۱۶***	۰/۹۸۱***	۰/۹۹۴***	۰/۹۸۹***	۱			
SSI		۰/۲۵۹ns	-۰/۷۰۲***	-۰/۲۳۱ns	-۰/۳۵۷*	-۰/۴۶۲***	-۰/۳۶۳*	۱		
TOL		۰/۵۶۹***	-۰/۴۳۲*	۰/۱۰۶ns	-۰/۰۳۲ns	-۰/۱۵۳ns	-۰/۰۵۰ns	۰/۹۳۴***	۱	
YSI		-۰/۲۶۰ns	۰/۷۰۲***	۰/۲۳۰ns	۰/۳۵۶*	۰/۴۶۱***	۰/۳۶۴*	-۱/۰۰۰***	-۰/۹۳۴***	۱

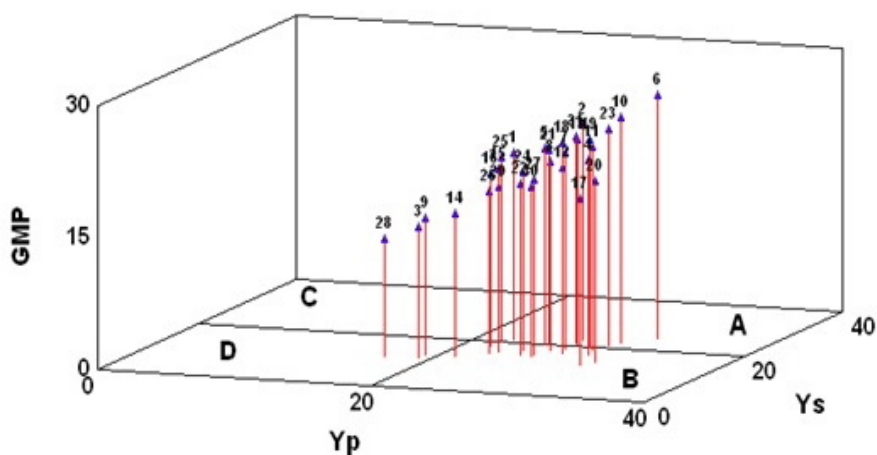
و *** و ns به ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد و بی‌معنا

شاخص مقاومت به تنش، SSI شاخص حساسیت به تنش، TOL شاخص مقاومت، YSI شاخص پایداری عملکرد.

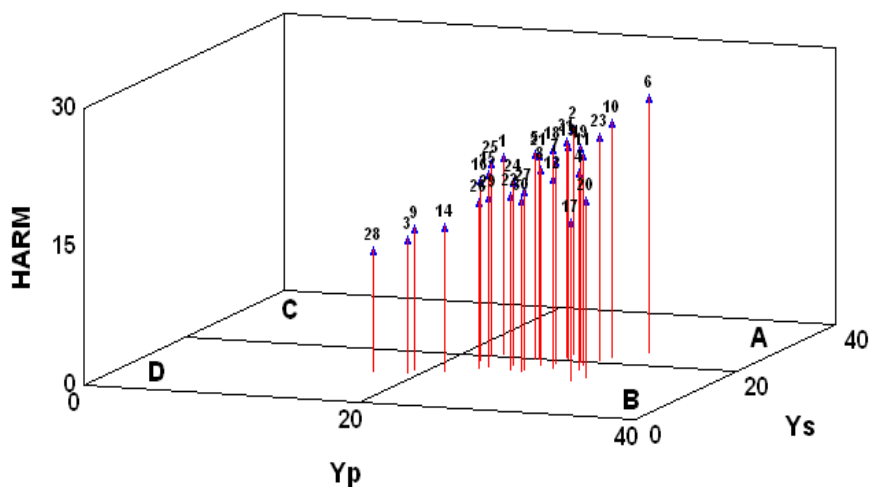
Yp عملکرد پتانسیل، Ys عملکرد در وضعیت تنش، MP میانگین بهره‌وری، GMP میانگین بهره‌وری هندسی، HARM میانگین بهره‌وری هارمونیک، STI



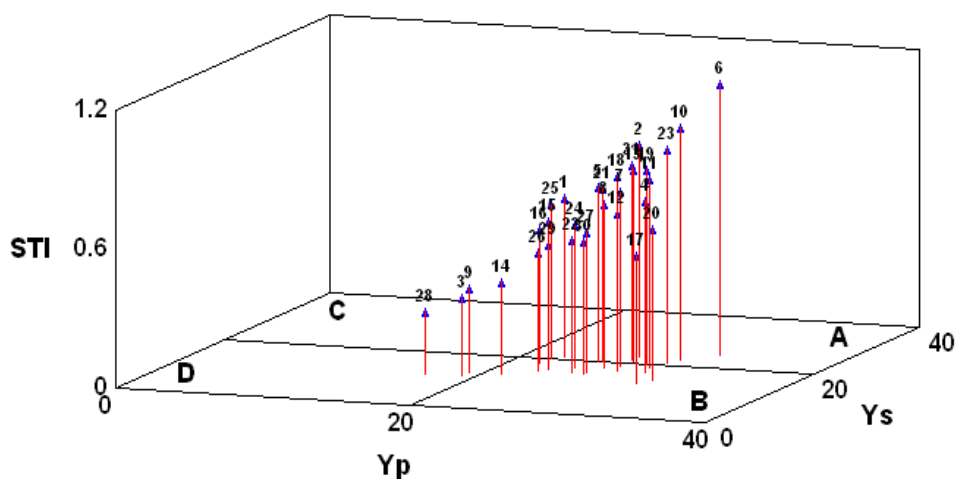
شکل ۱. نمودار پراکنش سه‌بعدی تعیین ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی مقاوم به تنش خشکی براساس عملکرد در وضعیت بدون تنش (Yp)، عملکرد در وضعیت تنش خشکی (Ys) و شاخص MP



شکل ۲. نمودار پراکنش سه‌بعدی تعیین ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی مقاوم به تنش خشکی براساس عملکرد در وضعیت بدون تنش (Yp)، عملکرد در وضعیت تنش خشکی (Ys) و شاخص GMP



شکل ۳. نمودار پراکنش سه‌بعدی تعیین ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی مقاوم به تنش خشکی براساس عملکرد در وضعیت بدون تنش (Yp)، عملکرد در وضعیت تنش خشکی (Ys) و شاخص HARM



شکل ۴. نمودار پراکنش سه‌بعدی تعیین ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی مقاوم به تنش خشکی براساس عملکرد در وضعیت بدون تنش (Yp)، عملکرد در وضعیت تنش خشکی (Ys) و شاخص STI

بای‌پلات براساس این دو مؤلفه ترسیم شد. همچنین این جدول نشان می‌دهد که ۶۴/۷۳۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها به مؤلفه اول مربوط بود که همبستگی مثبت با YS، YP، MP، GMP، HARM و STI، همبستگی منفی با شاخص SSI و همبستگی پایینی با شاخص‌های TOL و YSI داشت؛ بنابراین مؤلفه پتانسیل و پایداری عملکرد و مقاوم به خشکی نام‌گذاری شد. بنابراین در این بای‌پلات با توجه به مقادیر بالای این مؤلفه انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی با عملکرد بالا امکان‌پذیر است. دومین مؤلفه که ۳۴/۸۶۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کند، همبستگی منفی با عملکرد در

برای بررسی رابطه بین بیش از سه متغیر از یک نمودار چندمتغیره با نام بای‌پلات استفاده می‌شود. بدین صورت روابط بین عملکرد ژنوتیپ‌ها و همه شاخص‌های مقاومت در یک شکل نشان داده می‌شود. برای ترسیم این نمودار ابتدا باید تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های مقاومت و عملکرد در وضعیت آبیاری طبیعی و تنش خشکی انجام گیرد (Safavi *et al.*, 2011). ضرایب عامل‌ها پس از چرخش وریماکس و بر مبنای روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برآورد شد. با توجه به جدول ۴، بیشترین تغییرات بین داده‌ها با مقدار ۹۹/۶۰۱ درصد با دو مؤلفه اول توجیه شد. بنابراین

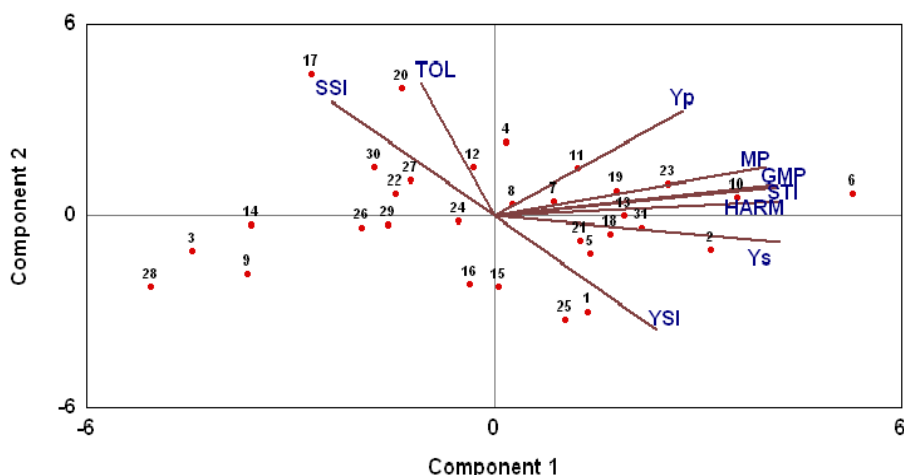
STI قرار دارند، ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا شناخته شدند و ژنوتیپ‌های ۱۷، ۲۰، ۳۰، ۲۷ و ۱۲ که در ناحیه‌ای با عملکرد پایین در وضعیت تنش و حساسیت زیاد به خشکی و در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به خشکی TOL و SSI قرار گرفتند، ژنوتیپ‌های با سازگاری خصوصی به محیط‌های آبی شناخته شدند و ژنوتیپ‌های ۲۸، ۳، ۹، ۱۴ و ۲۶ قرار گرفته در ناحیه‌ای با عملکرد پایین در وضعیت آبیاری طبیعی و تنش خشکی، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین در هر دو وضعیت معرفی شدند. با توجه به اینکه زاویه بین بردارها میزان همبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد، زاویه تند بین شاخص‌های MP، HARM، GMP و STI نشان‌دهنده همبستگی شدید بین این شاخص‌هاست. نتایج حاصل از این نمودار (شکل ۵)، نتایج نمودارهای سه‌بعدی (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) را تأیید می‌کند. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای تفکیک گونه‌های نسبت به تنش خشکی در لوبیا توسط Fernandez (1992)، در نخود توسط Ganjeali *et al.* (2011) استفاده و تأیید شد.

وضعیت تنش خشکی و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های TOL و SSI دارد. بنابراین بر مبنای مؤلفه دوم، ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی به وضعیت بدون تنش انتخاب می‌شوند. بنابراین با این مؤلفه می‌توان ژنوتیپ‌هایی را که TOL و SSI پایین و عملکرد دیم بالا باشند و برعکس را انتخاب کرد. به همین دلیل مؤلفه دوم، مؤلفه حساسیت به خشکی نام‌گذاری می‌شود. بر اساس این دو مؤلفه، در فضای بای‌پلات، ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و مقاومت به تنش خشکی درون گروه‌های مشخصی قرار گرفتند. با توجه به وجود همبستگی بالا بین عملکرد در وضعیت تنش و همچنین شاخص‌های مقاومت به خشکی با مؤلفه اول و وجود همبستگی مثبت بین مؤلفه دوم و عملکرد در وضعیت آبیاری طبیعی، ژنوتیپ‌هایی که در فضای بالایی این دو مؤلفه قرار می‌گیرند ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و پرمحصول پیشنهاد می‌شوند. بنابراین بر اساس نمودار بای‌پلات ترسیم شده، ژنوتیپ‌های ۶، ۱۰ و ۲۳ که در ناحیه دارای پتانسیل تولید زیاد و حساسیت کم به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم مقاومت به خشکی یعنی MP، HARM، GMP و

جدول ۴. مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های مقاومت و عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی در وضعیت‌های

تنش و بدون تنش

Ys	Yp	درصد سهم تجمعی Cumulative of variance (%)	مقادیر ویژه Eigenvalues	مؤلفه Component
۰/۲۱۸	۰/۸۸۱	۶۴/۷۳۷	۵/۸۲۶	۱
-۰/۹۷۳	۰/۴۶۹	۹۹/۶۰۱	۳/۱۳۸	۲



شکل ۵. نمایش بای‌پلات ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی برای ۷ شاخص مقاوم به خشکی بر اساس دو مؤلفه اول و دوم.

نتیجه‌گیری کلی

ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی بررسی شده در این آزمایش، تنوع بسیاری از نظر عملکرد دانه و نیز شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی نشان دادند که بر همین اساس، سه ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد دانه، معرفی شدند.

براساس نتایج حاصل از مطالعه همبستگی شاخص‌های مقاومت با عملکرد دانه در وضعیت تنش و بدون تنش، شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM بهترین شاخص‌ها در لوبیای چشم‌بلبلی برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، بیان شده‌اند. براساس مجموعه بررسی‌ها، ژنوتیپ‌های ۱۰،۶ و ۲۳ ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی مقاوم به خشکی پیشنهاد می‌شوند.

در مجموع می‌توان ابراز داشت که با وجود تنوع ژنتیکی موجود در ژنوتیپ‌های لوبیای چشم‌بلبلی با توجه به نحوه توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات، اصلاح و معرفی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی برای این گیاه، امکان‌پذیر است.

سپاسگزاری

مؤلفان از همکاری صمیمانه کارکنان مزرعه آزمایشی و بانک ژن گروه زراعت و اصلاح نباتات در اجرای این پژوهش و همچنین از قطب علمی حبوبات دانشگاه تهران بابت تأمین بخشی از هزینه‌های طرح سپاسگزاری می‌کند.

REFERENCES

- Ahmad, F. E. & Suliman, A. S. H. (2010). Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of Cowpea. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 534-540.
- Ashkani, J. (2002). *Determine drought resistance of spring safflower and some indicators of drought resistance*. MSc. Thesis, Plant Breeding, College of Agriculture, University of Shiraz, Iran. (In Farsi)
- Bastos, E. A., Nascimento, S. P., Silva, E. M., Filho, F. R. F. & Gomide, R. L. (2011). Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agronômica*, 42(1), 100-107.
- Blum, A. (1988). Plant breeding for stress environments. *CRC press, Boca Raton*, 38-78.
- Bousslama, M. & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-937.
- Chaves, M. M. (1991). Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, 42, 1-16.
- De Carvalho, M. H. C., Laffray, D. & Louguet, P. (1998). Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 40, 197-207.
- Fatokun, C., Boukar, O. & Muranaka, S. (2012). Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) germplasm lines for tolerance to drought. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 10(3), 171-176.
- Fernandez, G. C. (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*, 13-16 Aug, Taiwan, pp. 257-270.
- Fischer, R. & Mourer, R. (1978). Drought resistant in spring wheat cultivar. Part I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 895-912.
- Ganjeali, A., Joveynipour, S., Porsa, H. & Bagheri, A. (2011). Selection for drought tolerance in Kabuli chickpea genotypes in Neyshabour region. *Iranian Journal of Pulses Research*, 2(1), 27-38. (In Farsi)
- Golestani, M. & Pakniyat, H. (2004). Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 41, 149-141. (In Farsi)
- Houerou, L. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 34, 133-185.

14. Kristin, A. S., Senra, R. R., Perez, F. I., Enriques, B. C., Gallegos, J. A. A., Vallego, P. R., Wassimi, N. & Kelley, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37, 43-50.
15. Rebetzke, G. J., Richards, R. A., Condon, A. G. & Farquhar, G. D. (2006). Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 14, 324-341.
16. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. & Vivekananda, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189-1202.
17. Rosille, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 43-46.
18. Safavi, A., Pourdad, S. S. & Jamshid Moghaddam, M. (2011). Identification of drought resistant genotypes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(2), 129-148. (In Farsi)
19. Saxena, M. S. & Singh, K. B. (1997). *The Chickpea*. First Edition (Translation: A. R. Bagheri, A. Nezami, A. Ganjeali and M. Parsa). Mashhad University Jahad. P: 444.
20. Silim, S. N., Saxena, M. C. & Singh, K. B. (1988). Evaluation of spring-sown chickpea for drought tolerance. *ICARDA Annual Report*, Aleppo, Syria.
21. Singh, K. B. & Saxena, M. S. (2000). Breeding for stress tolerance in cool season food legumes. First Edition (Translation: A. R. Bagheri, A. Nezami & M. Soltani). *Research Organizations, Education and Agricultural Extension*, pp. 445.
22. Souza, R. P., Machado, E. C., Silva, J. A. B., Lagôa, A. M. M. A. & Silveira, J. A. G. (2004). Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51, 45-56.
23. Usefiazar, M. & Rezaei, A. (2004). Evaluation of drought tolerance in wheat lines. *Journal of Science & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 42, 121-113. (In Farsi)