ارزیابی صفات زراعی – مورفولوژیکی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در لوبیا چشم بلبلی(*Vigna unguiculata* L.)

بنفشه قربانی، علیرضا طالعی*، رضا معالی امیری

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

لوبیا چشم بلبلی یکی از حبوبات چند منظوره‌ای است که در چندین منطقه خشک استوایی رشد می‌کند. با این‌حال، نظر به عدم وجود اطلاعات ژنتیکی دقیق در بسیاری از کشورهای آسیایی، موفقیت برنامه‌های اصلاحی چندان چشم‌گیر نیست. لذا در پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی، از ۳۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی کلکسیون حبوبات بانک ژن گروه زراعت و اصلاح نباتات حاصل از نتایج بررسی‌های چندین ساله، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط بدون تنش آبی (۶۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر) و تنش خشکی (۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر) در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱در مزرعه آموزشی پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر صفات زراعی- مورفولوژیکی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را در چهار خوشه گروه‌بندی کرد. در مجموع بر اساس تحلیل بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای و همبستگی، در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۱۴، ۲۸ و ۲۹ و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های ۵، ۶، ۱۴، ۲۸ و ۲۹ بالاترین عملکرد دانه را دارا بودند. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های ۲۸، ۲۹ و ۱۴ دارای کاهش عملکرد کمتری در شرایط تنش خشکی نسبت به نرمال می‌باشند از این‌رو به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند که در قیاس با ارقام شاهد دارای عملکرد بالاتری بودند، که می‌توانند به عنوان منابع ژنتیکی نویدبخشی برای بهبود اصلاح تحمل به خشکی در لوبیا چشم بلبلی قلمداد شوند.

کلمات کلیدی: آماره چند متغیره، تنش غیر زیستی، تنوع ژنتیکی، لوبیا چشم بلبلی، تحمل خشکی.

مقدمه

لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L., Walp) ، یک محصول عمده یک ساله است که بیشتر در مناطق گرمسیری خشک آمریکای لاتین، آسیای جنوبی و آفریقا رشد می‌کند (Boukar *et al*., 2019). این گیاه عمدتاً برای دانه‌های آن که دارای محتوای ماده خشک بالایی از پروتئین (۳۲-۲۰ درصد) و کربوهیدرات (۵۰-۶۰ درصد) است، کشت می‌شود. دانه‌ها و برگ‌ها، هر دو سرشار از اسید آمینه لیزین و تریپتوفان، ویتامین C، آهن و روی هستند (Gonçalves *et al*., 2016; Gomes *et al*., 2020). از این‌رو لوبیا چشم بلبلی نقش اساسی در رژیم غذایی انسان در بسیاری از کشورهای در حال توسعه دارد که از آن به عنوان "گوشت انسان‌های فقیر" یاد می‌شود (Jayathilake *et al*., 2018). عمده تولید و مصرف لوبیا چشم بلبلی در جنوب صحرای آفریقا، یعنی آفریقای غربی و مرکزی (Boukar *et al*., 2019; Gomes *et al*., 2020) اتفاق می‌افتد، جایی‌که ارزش غذایی و تحمل آن در برابر خشکسالی، این محصول را در موقعیت منحصر به فردی در تلاش‌های این قاره برای ایجاد سیستم‌های غذایی حساس به تغذیه قرار می‌دهد. این امر به‌ویژه برای کمک به مهار سوءتغذیه، در میان آسیب‌پذیرترین افراد (زنان باردار یا شیرده و کودکان زیر پنج سال) اهمیت دارد (Gomes *et al*., 2019). اگرچه لوبیا چشم بلبلی در مقایسه با سایر محصولات به خشکی مقاوم است، اما بهره‌وری انواع لوبیا چشم بلبلی به‌دلیل بارندگی نامنظم مختل می‌شود و بسیاری از آن‌ها نسبت به دماهای بالا حساس هستند (Boukar *et al*., 2019; Gomes *et al*., 2019).

غیرقابل استناد

خشکی یکی از جدی‌ترین تنش‌های تأثیرگذار بر محصولات زراعی است و به شدت خشکی و زمان خشکی و تعامل با سایر تنش‌های محیطی وابسته است و بسته به شدت و مدت آن ممکن است تولید گیاهان را تا ۵۰٪ کاهش دهد (Rabieyan *et al*., 2022a). شدت اثرات خشکی به‌ویژه در دوره‌های گرده‌افشانی و پرشدن دانه بیشتر است (Sehgal *et al*., 2019). ایران از جمله کشورهای دارای اقلیم مدیترانه‌ای است و حدود ۶۶٪ از مناطق تحت کشت گیاهان به صورت دیم بوده و تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Rabieyan *et al*., 2022a). یکی از مؤلفه‌های مهم افزایش عملکرد، به‌نژادی برای تحمل خشکی است که می‌تواند تولید و باروری را افزایش دهد (Khadka *et al*., 2020). شناخت مکانیسم‌های تحمل خشکی و شناسایی مکان‌های مسئول مرتبط با آن، مراحل کلیدی برای هر رویکرد اصلاحی با هدف افزایش تحمل تنش ناشی از کمبود آب در گیاهان است (Ilyas *et al*., 2021). حفظ عملکرد مطلوب در شرایط دیم با توجه به پیچیده بودن کنترل آن‌ها مشکل است، از طرفی دیگر با توجه به تاثیر بالای محیط بر این صفات، دارای وراثت‌پذیری پایین و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط زیادی می‌باشند (Rabieyan *et al*., 2023). مرحله اولیهٔ اصلاح ارقام و ایجاد گیاهان سازگار با شرایط محیطی شناسایی تنوع گیاهی بین جوامع گیاهی است (Govindaraj *et al*., 2015). Bastos *et al.* (2011) با هدف غربالگری ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی متحمل به خشکی در آزمایشی نشان دادند کمبود آب موجب کاهش ۳۰ درصد شاخص برگ، ۱۶ درصد میزان کلروفیل و ۶۰ درصد عملکرد دانه شد. آن‌ها سه ژنوتیپ متحمل با مکانیسم فرار از خشکی شناسایی کردند. Santos *et al.* (2020) مجموعه ای از ۲۹ ژنوتیپ از مناطق مختلف دنیا را در دو محیط نرمال و تنش ارزیابی کردند و دریافتند نتایج تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه و بیوماس می‌شود. در آزمایشی دیگر ۲۴ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی تحت شرایط آبیاری نرمال و کم آبی قرار گرفتند تا قابلیت ترکیب‌پذیری، همبستگی ژنوتیپی و فنوتیپی برای صفات مرتبط مستقیم با کمبود آب (پرولین و کلروفیل)، عملکرد دانه و اجزای عملکرد بررسی شود. نتایج نشان‌دهنده حضور ژن‌های افزایشی و غیرافزایشی در هر دو شرایط رژیم آبی بود. با این حال، غلبه عمل ژن‌های افزایشی برای اکثر صفات مورد مطالعه در هر دو شرایط وجود داشت (Ezin *et al*., 2023). در پژوهشی دیگر با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای شناسایی صفاتی که احتمالاً در تحمل به خشکی نقش دارند، استفاده شد. در میان خوشه‌های متحمل به خشکی که توسط ژنوتیپ‌های Costelão، Pituba، Aracê، Inhuma و MDB تشکیل شده بودند، ژنوتیپ‌های Pituba، Costelão و Aracê کمترین کاهش را در ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در مواجهه با خشکی نشان دادند (Santos *et al*., 2023).

با توجه به ارقام لوبیا چشم بلبلی موجود در بانک ژن گروه در پی آزمایش‌های سالیان متمادی به منظور بررسی تحمل به خشکی در این گیاه آزمایشی مرکب از ۲۸ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی به همراه دو ژنوتیپ شاهد پرستو و مشهد در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده شامل ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی بود که از بانک ژن گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه گردید. این پژوهش در مزرعه آموزشی پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات واقع در محمدشهر کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۹۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۱۱۰/۸ متر از سطح دریا در فصل زراعی ۰۲-۱۴۰۱ در دو محیط آبیاری نرمال (۶۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر معادل هر هفت روز یکبار آبیاری) و تنش خشکی (۱۲۰ میلی‌لیتر تبخیر از تشتک تبخیر معادل هر ۱۴ روز یکبار آبیاری) انجام شد.

در این پژوهش تعداد ۳۰ ژنوتیپ (۲۸ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی به همراه دو ژنوتیپ شاهد پرستو (ژنوتیپ شماره ۲۰) و مشهد (ژنوتیپ شماره ۳۰) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط نرمال و تنش خشکی با سه تکرار کشت شدند. فاصله بین بلوک‌ها دو متر و فاصله بین ژنوتیپ‌ها در داخل هر بلوک نیم متر در نظر گرفته شد. در هر کرت ۴ خط یک و نیم متری در پشته‌هایی به فاصله نیم متر با تراکم ۳۰ بوته در متر مربع (هر خط ۱۵ بذر) کشت گردید.

قبل از شروع آزمایش، از خاک مزرعه نمونه‌برداری مرکب در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت و ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک محل کاشت تعیین شدند. میزان عناصر مورد نیاز بر اساس آزمون، به خاک مزرعه اضافه شد (جدول ۱). عملیات تهیه زمین شامل شخم به عمق ۳۰ سانتی‌متر قبل از اجرای آزمایش و به منظور کوددهی با استفاده از نتایج آزمون خاک به ترتیب

از منبع اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم در زمان شخم و در طول فصل رشد به خاک اضافه شد. در طول فصل رشد جهت مبارزه با علف‌های هرز از روش دستی استفاده گردید.

آبیاری در شرایط نرمال و تنش خشکی در کرت‌های آزمایشی با روش نواری (تیپ) انجام شد بعد از کاشت ژنوتیپ‌ها، آبیاری در قسمت نرمال و تنش خشکی بلافاصله انجام شد و اعمال تنش در مرحله ۶ برگی آغاز گردید. جهت محاسبه آب مورد نیاز گیاه از تشتک تبخیر استفاده گردید. بدین ترتیب که ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به عنوان زمان مناسب آبیاری برای شرایط نرمال و تنش خشکی در نظر گرفته شد و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از رابطه $ET0 = E_{pan} * K_{pan}$ به‌دست آمد (Rabieyan *et al*., 2022b). که در آن ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل، K_{pan} ضریب تشت تبخیر (۰/۸) و E_{pan} میزان تبخیر از تشتک تبخیر است. همچنین ضرایب گیاهی (K_C) مطابق با ماه رشد و بر اساس مطالعه Kang *et al*. (2003) درنظر گرفته شد. با استفاده از مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب گیاهی مربوط میزان تبخیر و تعرق واقعی ET_C به‌دست آمد. سپس حجم آب مورد نیاز بر حسب متر مکعب در هکتار با ضرب کردن عمق آب (مقدار آب بر اساس تبخیر و تعرق واقعی) در ۱۰ به‌دست آمد. با توجه به سطح کشت، مقدار آب مورد نیاز برای سطح کشت شده محاسبه گردید. در نهایت براساس دبی آب مورد استفاده که معادل ۱۰/۸ متر مکعب بر ساعت بود، طول دوره آبیاری بر حسب ساعت برای هر ماه محاسبه شد.

در طول دوره رشد صفات فنولوژیک شامل روز تا ۵۰ درصد گلدهی (DTF، روز)، طول دوره گلدهی (LFP، روز) و روز تا رسیدگی (DTM، روز)، اندازه‌گیری شد. بعد از رسیدگی کامل تعداد ۱۰ بوته جهت اندازه‌گیری صفات جدا شد و صفات ارتفاع بوته (PH، سانتی‌متر)، عرض برگ (LW، سانتی‌متر)، طول برگ (LL، سانتی‌متر)، سطح برگ (LA، سانتی‌متر مربع)، وزن هزار دانه (TKW، گرم)، تعداد دانه در غلاف (NSP)، تعداد غلاف در بوته (NPP)، طول غلاف (PL، سانتی‌متر)، عرض غلاف (PW، سانتی‌متر)، طول بذر (SL، سانتی‌متر)، عرض بذر (SW، سانتی‌متر)، ضخامت بذر (ST، سانتی‌متر)، عملکرد بیوبوژیک (BY، گرم در متر مربع)، عملکرد دانه در بوته (GYP، گرم)، عملکرد دانه (GY، گرم در متر مربع) و شاخص برداشت (HI، درصد) اندازه‌گیری شد.

ارزیابی تحمل به تنش ژنوتیپ‌ها با استفاده از میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش (Y_S) و بدون تنش (Y_P) با استفاده از شاخص‌های تحمل (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص میانگین هارمونی (HM) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) شاخص تحمل تنش غیر زیستی (ATI)، شاخص مقاومت به خشکی (DI) و شاخص YSI مطابق با جدول ۲ محاسبه شد.

جهت تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار SAS 9.4 استفاده شد (SAS, 2009). برای انجام همبستگی پیرسون، تجزیه خوشه‌ای، نمودار بای‌پلات جهت گروه‌بندی و شناسایی ارقام متحمل و حساس از نرم افزار R 4.3.2 استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of the experimental site soil.

Depth (cm)	Available K (mg kg^{-1})	Available P (mg kg^{-1})	pH	EC (dS m^{-1})	Soil texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	OC (%)	Total N (%)
0-30	152	7.3	8.07	1.17	Clay Loam	28	41	31	0.76	0.09

جدول ۲- روابط شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

Table 2. Formulas of tolerance and sensitivity indices

Reference	Calculation formula	Index
Hossain *et al*. 1990	$TOL = Y_P - Y_S$	TOL
Bouslama and Schapaugh, 1984	$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2}$	MP
Fernández, 1992	$GMP = \sqrt{(Y_P)(Y_S)}$	GMP

Gavuzzi *et al*., 1997	$STI = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(\bar{Y}_P)^2}$	STI
Rosielle and Hamblin, 1981	$HM = \frac{2 \times Y_P \times Y_S}{Y_P + Y_S}$	HM
Fischer and Maure, 1978	$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_S}{\bar{Y}_P}\right)}{1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}\right)}$	SSI
Bouslama and Schapaugh, 1984	$YSI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_P}$	YSI
Mousavi *et al*. 2008	$ATI = [(Y_P - Y_S)/(\bar{Y}_P/\bar{Y})] * \left[\sqrt{Y_P * Y_S}\right]$	ATI
Khokhar *et al*. 2012	$DI = Y_S * (Y_S/Y_P)/\bar{Y}_S$	DI

نتایج و بحث

تجزیه واریانس ساده به تفکیک در هر دو شرایط بدون تنش و تنش آبی نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات بررسی شده بود. در تجزیه واریانس مرکب دو شرایط آزمایش برای صفات اجزای عملکرد، صفات فنولوژیک و عملکرد دانه نیز حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار در بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد بود که بیانگر تنوع ژنتیکی و امکان گزینش برای تحمل به خشکی در بین ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی بود (جدول 3).

نتایج آماره‌های توصیفی صفات مورد ارزیابی در دو شرایط آبیاری نرمال و خشکی در جدول ۴ نشان می‌دهد که دامنه تغییرات برای اکثر صفات مورد مطالعه وسیع بوده و این امر نشان از وجود تنوع بالا بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. از بین صفات مورد مطالعه بیشترین درصد ضریب تغییرات در شرایط آبیاری مطلوب به ترتیب برای صفات عملکرد دانه در کرت (۲۱/۴۱)، عملکرد تک بوته (۲۱/۱۶)، سطح برگ (۱۸/۰۹) و عرض غلاف (۱۵/۵۱) و کمترین درصد ضریب تغییرات به ترتیب برای صفت تعداد روز تا رسیدگی (۴/۸۸)، طول برگ (۷/۰۱) و تعداد روز تا گلدهی (۷/۹۸) مشاهده شد. در محیط تنش خشکی نیز بیشترین درصد ضریب تغییرات برای صفات عملکرد دانه در کرت (۲۹/۵۲)، عملکرد تک بوته (۲۹/۲۸)، سطح برگ (۲۷/۰۴) و عملکرد بیولوژیک (۱۸/۶۹) و کمترین آن برای تعداد روز تا رسیدگی (۴/۹۵) و تعداد روز تا گلدهی (۸/۰۴) مشاهده شد. بنابراین تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر این صفات در هر دو محیط وجود داشت و می‌توان از این تنوع جهت انتخاب ارقام برتر برای اهداف به‌نژادی و بهبود خصوصیات ارقام در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود. درحالیکه صفات فنولوژیک مانند تعداد روزتا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک تنوع پایینی نسبت به سایر صفات داشتند. در نتیجه این صفات ممکن است در برنامه‌های اصلاحی شانس کم‌تری جهت انتخاب داشته باشند، مگراینکه این صفات زودرسی یا دیررسی صفتی مطلوب جهت یک برنامه اصلاحی خاص باشد.

نتایج جدول ۵ نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش تمام صفات مورد مطالعه نسبت به شرایط آبیاری نرمال بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان ارتفاع، وزن هزاردانه، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، طول دوره گل‌دهی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به‌ترتیب در شرایط بدون تنش در ژنوتیپ‌های ۱۰، ۴، ۶، ۲۹، ۱۳، ۴، ۴ و ۱۳ به‌دست آمد که رتبه یک را به خود اختصاص دادند و بیشترین میزان صفات فوق در شرایط تنش خشکی به ترتیب در ژنوتیپ‌های ۲۸، ۶، ۶، ۶، ۲۲، ۱۴، ۶ و ۱۴ به‌دست آمد (جداول ۶ و ۷).

شناخت و بررسی خصوصیات مورفولوژیک و فنولوژیک جهت تعیین اهمیت هر یک از آنها در افزایش عملکرد و استفاده در برنامه های به‌نژادی از اهمیت خاصی برخوردار است (Reif *et al*., 2004). به‌نظر می رسد که افزایش سرعت نمو و کاهش دوره رشد به‌دلیل محدودیت رطوبت سبب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود. مطالعات نشان‌داده است که کاهش میزان آب قابل دسترس به‌خصوص در ابتدای دوره گل‌دهی ضمن کاهش سرعت رشد رویشی و کوتاه کردن رشد زایشی، به‌طور غیر مستقیم روی ارتفاع بوته نیز تأثیر منفی دارد (Santos *et al*., 2023). Nkomo *et al*. (2021) بیان نمودند که تنش خشکی توسعه و تقسیم سلول را کاهش داد و در نتیجه منجر به کاهش ارتفاع گیاهان گردید. تنش رطوبت باعث می‌شود گل‌ها ریزش کند یا نسبت گل‌های بارور در روی ساقه اصلی کاهش یابد که بدین‌ترتیب تعداد غلاف روی ساقه کم شود.

گزارشات Nkomo *et al*. (2021) و Ezin *et al*. (2023) نشان می‌دهد که تنش خشکی تأثیر منفی بر تعداد غلاف در ساقه داشته است. Dadson *et al*. (2005) ابراز داشتند که کاهش تعداد غلاف در بوته لوبیا چشم بلبلی تحت تنش خشکی ناشی از ریزش اندام‌های زایشی مثل گل‌ها و نیام‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد وقوع تنش خشکی به خصوص در مرحله پرشدن غلاف به علت محدودسازی منبع فتوسنتزی موجب کاهش فتوسنتز، نرسیدن مواد به دانه و همچنین کوتاه شدن طول دوره پرشدن دانه گردیده و در نتیجه اندازه دانه و وزن صد دانه را کاهش داده باشد. کاهش وزن صد دانه لوبیا چشم بلبلی در واکنش به تنش خشکی توسط Hayatu *et al*.(2014) و Dadson *et al*. (2005) گزارش شده است. Hayatu *et al*. (2014) گزارش کردند که تنش خشکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد لوبیا چشم بلبلی را کاهش داد که میزان این کاهش به‌مقدار زیادی وابسته به زمان وقوع تنش، شدت تنش و رقم‌های مورد بررسی است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده لوبیا چشم بلبلی در دو محیط نرمال و تنش خشکی

Table 3. Combined Anova of measured traits for cowpea in non-stress and drought stress environments.

							MS				
SOV	df	PH	LW	LL	LA	TKW	NSP	NPP	DTM	DTF	LFP
Environment	1	157404.6**	47.23**	35.56*	3622139.76**	37984.33**	1924.72**	6.54*	7670.14*	506.69**	188.09**
Error a	4	302.48	3.84	6.01	4128.82	64.09	1.39	0.36	1178.62	421.46	2.77
Genotype	29	475.10**	2.28**	2.24**	154989.53**	1332.03**	14.63**	13.26**	110.97**	182.07**	14.92**
Gen× Env	29	485.28**	0.24 ns	0.10 ns	5042.31 ns	209.15**	6.77**	2.70**	49.38 ns	0.13 ns	2.79*
Error	116	45.10	0.45	0.63	7222.31	67.78	1.03	0.47	51.43	30.32	1.63
CV (%)	–	6.76	11.53	10.30	11.30	6.32	7.88	5.37	6.83	8.01	12.52

							MS			
SOV	df	PL	PW	SL	SW	ST	GY	GYP	BY	HI
Environment	1	67.34**	0.15*	1.11**	1.09*	0.25**	2010786.07**	8083.28**	8733154.83**	399.74**
Error a	4	0.60	0.12	0.33	0.23	0.19	5995.76	5.47	18017.45	9.20
Genotype	29	9.80**	5.40**	2.60**	1.63**	1.05**	61123.79**	84.21**	115125.22**	110.19**
Gen× Env	29	2.73 ns	0.06 ns	0.19 ns	0.29 ns	0.13 ns	23498.62**	22.97**	40257.24**	52.35**
Error	116	1.71	0.84	0.41	0.43	0.07	3085.11	7.66	7984.37	15.36
CV (%)	–	9.23	14.04	9.05	11.36	6.27	11.40	16.10	7.47	9.80

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: not significant, significant at the 5% and 1% of probability levels, respectively

PH plant height; LW leaf width; LL leaf length; LA leaf area; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; DTM days to maturity; DTF days to flowering; LFP length of flowering period; PL pod length; PW pod width; SL seed length; SW seed width; ST seed thickness; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index

جدول ۴- آماره‌های توصیفی صفات مورد بررسی لوبیا چشم بلبلی در دو محیط نرمال و تنش خشکی

Table 4. Descriptive statistics of investigated traits of cowpea in in non-stress and drought stress environments

Non-stress	Drought stress

Mean	Minimum	Maximum	Coeff of Variation	Std Error	Skewness	Kurtosis	Mean	Minimum	Maximum	Coeff of Variation	Std Error	Skewness
128.89	101.30	150.20	11.20	2.64	-0.48	-0.88	69.76	51.53	99.53	15.14	1.93	0.66
6.33	5.33	7.50	9.53	0.11	0.27	-0.77	5.31	3.83	6.50	12.99	0.13	-0.32
8.17	7.00	9.67	7.01	0.10	-0.15	1.26	7.28	6.00	8.67	9.26	0.12	-0.22
893.66	555.70	1297.30	18.09	29.52	0.02	0.70	609.95	252.30	997.30	27.04	30.12	0.15
144.81	117.10	174.50	12.17	3.22	0.18	-1.22	115.76	93.00	151.60	12.30	2.60	0.76
16.14	13.00	19.70	12.45	0.37	0.22	-1.11	9.60	7.33	16.00	18.34	0.32	2.11
12.98	10.40	16.10	12.80	0.30	0.26	-1.00	12.59	10.10	17.83	12.71	0.29	1.68
111.60	94.00	125.30	4.88	0.99	-0.36	3.79	98.53	88.00	107.00	4.95	0.89	-0.43
70.46	57.00	80.33	7.98	1.03	-0.40	0.19	67.10	54.00	76.33	8.04	0.99	-0.43
11.21	7.67	15.33	18.71	0.38	0.31	-0.77	9.17	7.00	12.00	13.36	0.22	0.50
14.80	11.53	17.27	10.12	0.27	-0.34	-0.36	12.57	10.23	20.33	14.62	0.36	2.36
6.56	5.17	10.67	15.51	0.19	2.46	8.59	6.02	4.67	9.50	14.73	0.16	2.20
7.75	6.03	9.03	9.18	0.13	-0.59	0.59	6.06	5.00	7.33	10.77	0.12	0.03
5.83	4.83	7.50	9.50	0.10	0.83	2.25	4.68	3.17	5.83	12.36	0.11	-0.14
4.83	4.00	6.00	9.92	0.09	0.37	0.02	4.29	3.50	5.50	11.20	0.09	0.55
592.75	378.30	881.00	21.16	22.90	0.52	-0.04	381.36	200.70	618.50	29.28	20.39	0.52
23.89	14.09	35.97	21.41	0.93	0.72	0.36	10.49	6.02	19.08	29.52	0.57	0.91
1416.85	1096.50	1682.70	9.60	24.83	-0.41	0.47	976.32	620.80	1332.00	18.69	33.32	0.10
41.49	32.49	53.64	12.83	0.97	0.38	-0.25	38.51	31.75	48.29	13.20	0.93	0.56

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده لوبیا چشم بلبلی در دو محیط نرمال و تنش خشکی

Table 5. Mean comparison measured traits for cowpea in non-stress and drought stress environments.

LW (cm)	LL (cm)	LA (cm^2)	TKW (g)	NSP	NPP	DTM	DTF	LFP	PL (cm)	PW (cm)	SL (mm)	SW (mm)	ST (mm)	GY (g per m^2)	GYP (g pe plant
6.33a	8.17a	893.67a	144.82a	16.14a	12.98a	111.59a	70.46a	11.21a	14.8a	6.56a	7.75a	5.83a	4.83a	592.74a	23.89
5.31b	7.28b	609.96b	115.77b	9.6b	12.59a	98.53b	67.1b	9.17b	12.57b	6.02b	6.06b	4.68b	4.29b	381.36b	10.49

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند. اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ ندارند.

Columns with at least one later in common did not have a statistically significant difference based on the Duncan test at %5.

PH plant height; LW leaf width; LL leaf length; LA leaf area; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; DTM days to maturity; DTF days to flowering; LFP length of flowering period; PL pod length; PW pod width; SL seed length; SW seed width; ST seed thickness; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی در محیط بدون تنش خشکی

Table 6. Mean Comparison measured traits for cowpea genotypes in non-stress environment.

PH (cm)	TKW (g)	NSP	NPP	LFP	GY (g per m^2)	GYP (g per plant)	BY (g per m^2)
67±6.67(22)	124.37±2.02(26)	13.87±0.22(26)	11.13±0.2(25)	10.33±0.67(20)	457.67±21.53(26)	20.37±0.95(24)	1301.93±14.39(26)
53±7.02(23)	160.67±2.34(8)	17.83±0.27(8)	14.27±0.24(8)	14±1(4)	732.33±35.2(4)	24.81±0.91(10)	1548.17±13.07(6)
50±5.27(29)	153.5±6.92(10)	17±0.76(11)	13.6±0.61(12)	11±0(16)	703.67±38.25(7)	23.3±1.15(15)	1512.33±16.35(8)
33±4.37(15)	172.3±9.5(3)	19.27±1.02(3)	15.53±0.78(4)	11.33±1.2(12)	865±2.52(2)	29.76±2.2(5)	1682.73±57.25(1)
27±8.28(27)	156.33±10.31(9)	17.17±1.11(9)	13.8±0.81(10)	10.33±0.33(19)	668.33±8.69(9)	22.87±4.44(16)	1464.83±53.33(10)
53±0.47(10)	172.63±5.03(2)	19.4±0.61(2)	15.67±0.55(2)	10±1.15(21)	690.33±50.17(8)	31.23±2.21(4)	1546.4±55.94(7)
83±2.32(14)	123.03±1.33(27)	13.7±0.1(27)	10.97±0.12(27)	14±1.15(5)	575.67±15.01(15)	19.59±1.82(25)	1306.93±6.02(25)
67±4.37(25)	120.83±9.09(28)	13.3±0.95(29)	10.63±0.67(29)	9±1(26)	412±8.5(29)	17.29±0.4(29)	1268.5±30.77(28)
33±2.33(17)	150.33±7.77(12)	17.13±0.79(10)	14.07±0.57(9)	10.67±0.67(17)	607.33±17.7(11)	32.67±0.66(3)	1454.67±21.82(12)
23±2.66(1)	131.17±2.69(22)	14.63±0.2(22)	11.8±0.06(22)	14.33±0.67(3)	574.67±50.15(16)	22.18±1.76(18)	1380.83±24.18(19)
3.06(24)	163.83±9.14(7)	18.2±0.96(7)	14.57±0.72(6)	11.33±0.88(13)	544.33±21.76(18)	25.55±0.52(9)	1463.67±18.4(11)
67±1.45(16)	117.1±2.35(30)	13±0.31(30)	10.4±0.26(30)	8.67±0.88(27)	506.67±35.63(24)	17.8±1.43(28)	1271.3±9.56(27)
67±3.28(8)	135.5±3.75(19)	15.3±0.35(19)	12.43±0.19(19)	15.33±0.33(1)	881±19.86(1)	26.42±1.21(8)	1647±47.96(2)
33±4.1(7)	166.93±2.17(5)	18.47±0.2(5)	14.67±0.09(5)	12±0.58(10)	727±3.51(5)	24.03±1.1(12)	1564.3±4.93(3)

33±6.98(30)	129.6±0.75(24)	14.43±0.12(23)	11.63±0.12(23)	7.67±0.67(30)	567±90.56(17)	21.49±1.12(19)	1358.97±60.86(20)
33±2.85(12)	149.23±4.2(14)	16.63±0.44(13)	13.33±0.34(13)	8.33±0.88(28)	535±10.41(20)	24.08±0.47(11)	1415.2±16.93(18)
4(11)	149.63±3.17(13)	16.43±0.13(14)	13.33±0.15(14)	10±0(22)	599.67±34.71(13)	23.53±4.38(13)	1448.73±17.35(13)
1.53(20)	136.13±5.98(18)	15.47±0.61(18)	12.7±0.44(15)	13±0.58(8)	751±9.5(3)	28.78±0.46(6)	1500.57±26.95(9)
6.66(13)	127.67±4.6(25)	14.3±0.49(24)	11.53±0.43(24)	9.33±0.33(24)	431.33±50.21(28)	22.59±1.25(17)	1108.67±221.92(29)
17±3.44(19)	142.93±6.42(15)	15.77±0.68(16)	12.47±0.48(18)	11.33±1.2(14)	591.67±30.9(14)	19.33±0.62(27)	1424.63±26.27(16)
33±3.18(21)	151.9±3.52(11)	17±0.42(12)	13.73±0.33(11)	12±0.58(11)	543±58.04(19)	26.6±0.78(7)	1427.2±32.62(15)
33±1.45(3)	141±8.36(17)	15.67±0.83(17)	12.5±0.56(17)	15±0.58(2)	508±46.58(23)	21.27±0.95(21)	1337±71.15(23)
33±6.01(26)	132.43±5.83(21)	14.73±0.58(21)	11.8±0.4(21)	13.33±0.88(7)	437.67±11.2(27)	20.99±1.04(22)	1316.13±15.17(24)
33±5.86(28)	130.3±4.48(23)	14.2±0.44(25)	11.1±0.26(26)	8.33±0.88(29)	512.67±35(21)	14.09±1(30)	1347.23±25.94(22)
67±3.84(5)	142.47±3.74(16)	15.8±0.56(15)	12.57±0.56(16)	13.33±0.67(6)	603.33±22.42(12)	21.39±4.06(20)	1429.07±22.18(14)
33±3.67(2)	134±1.31(20)	14.9±0.15(20)	11.93±0.19(20)	9±1.53(25)	509.67±19.41(22)	20.88±0.98(23)	1356.83±12.04(21)
33±5.17(18)	120.57±4.58(29)	13.43±0.52(28)	10.8±0.42(28)	11.33±1.2(15)	378.33±51.91(30)	19.58±1.63(26)	1096.53±72.52(30)
2.08(9)	167.87±4.62(4)	19.1±0.56(4)	15.67±0.47(3)	12±0.58(9)	705±12.58(6)	35.97±1.51(1)	1556.1±10.38(4)
67±1.76(6)	174.5±6.46(1)	19.7±0.66(1)	16.1±0.47(1)	9.67±0.67(23)	657.33±21.53(10)	34.66±1.49(2)	1552.17±14.93(5)
33±2.4(4)	165.83±1.94(6)	18.37±0.22(6)	14.53±0.19(7)	10.33±0.67(18)	505.67±73.94(25)	23.53±0.45(14)	1417±63.31(17)

اعداد مختلف نشان دهنده میانگین ± خطای معیار (رتبه هر ژنوتیپ)

Different numbers represent the mean ± standard error (rank of each genotype)

PH plant height; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; LFP length of flowering period; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی در محیط تنش خشکی

Table 7. Mean Comparison measured traits for cowpea genotypes in drought stress environment.

PH (cm)	TKW (g)	NSP	NPP	LFP	GY (g per m^2)	GYP (g per plant)	BY (g per m^2)	
1.1±4.55(24)	107.6±2.94(20)	9±0.58(21)	11.73±0.46(21)	8±0(26)	411.65±31.29(9)	10.01±0.42(15)	973.05±13.27(17)	
5.5±6.21(7)	112.23±5.88(16)	9±1(19)	12.1±0.4(17)	10.33±0.88(6)	393.67±33.75(12)	9.84±0.64(16)	982.8±17.19(14)	4
3.17±4.16(5)	119.6±7.27(10)	9±1.15(17)	12.7±0.67(9)	8.33±0.67(21)	488±18.23(7)	11.21±3.31(11)	1072.48±74.57(8)	
.57±5.07(25)	129.5±1.15(6)	9.33±0.33(13)	13.57±0.15(6)	8.33±0.33(19)	368.74±1.15(15)	12.03±0.3(8)	1089.42±5.27(7)	3
5.5±4.54(8)	138.37±4.13(3)	13.67±0.33(2)	15.9±0.42(2)	8.67±0.33(17)	563±28.75(3)	14.88±5.77(3)	1253.8±127.37(4)	
.57±3.35(10)	151.63±3.23(1)	16±0.58(1)	17.83±0.29(1)	8±0.58(24)	523.44±22.62(4)	19.08±0.19(1)	1331.97±6.83(1)	
5.11±3.42(9)	112.77±6.23(15)	9.33±0.33(15)	12.23±0.35(14)	10±0.58(7)	513.17±10.94(5)	12.58±0.85(7)	1142.82±62.13(6)	
.67±3.35(18)	101.03±5.28(28)	10±1(8)	11.6±0.45(24)	8±0.58(27)	200.67±18.22(30)	7.51±1.81(25)	620.8±44.46(30)	3
.43±5.16(17)	125.83±3.59(8)	9±0.58(16)	13.13±0.43(8)	9.33±0.33(13)	388.88±44.72(13)	12.65±0.09(6)	1027.1±54.72(9)	3
7.27±3.96(6)	101.5±3.81(26)	9.67±0.33(11)	11.53±0.33(25)	11.33±1.2(3)	256.82±32.88(26)	9.22±0.39(21)	768.45±89.58(25)	
3.2±1.33(22)	127.83±1.66(7)	9.33±0.67(14)	13.43±0.29(7)	8.33±0.33(20)	345.76±32.77(18)	9.68±0.36(17)	1025.48±7.12(10)	3
5.1±7.44(3)	107.03±2.23(21)	10.33±0.33(6)	12.2±0.3(16)	10±1(8)	431.33±33.84(8)	10.84±0.36(13)	992.2±15.82(13)	
72±3.51(13)	111.33±5.13(17)	9.67±0.33(9)	12.3±0.51(12)	11.33±0.67(2)	401±44.03(10)	11.5±0.46(9)	1021.43±21.41(11)	3
.17±2.62(12)	145.2±4.3(2)	11.67±0.88(3)	15.67±0.58(3)	9.67±0.67(9)	613.33±20.85(2)	13.38±0.52(5)	1269.97±38.75(3)	
8.2±3.97(4)	93.03±1.39(30)	7.67±0.33(29)	10.1±0.17(30)	7±0.58(30)	217±4.58(29)	6.88±0.5(27)	684.38±26.62(29)	3
9.8±4.91(26)	103.93±0.67(24)	8.67±0.67(24)	11.33±0.28(27)	8.33±0.33(22)	231.67±12.57(28)	6.02±0.86(30)	725.62±28.36(27)	
3.87±2.89(2)	104.43±3.3(23)	10±0.58(7)	11.87±0.09(20)	7.67±0.67(28)	395±39.31(11)	10.48±0.84(14)	975.23±12.76(16)	4
.53±3.98(30)	96.6±3.62(29)	11±0(5)	11.67±0.27(22)	9.67±0.67(11)	247.61±21.65(27)	9.62±0.56(18)	720.18±29.23(28)	3
5.2±5.1(19)	118±1.64(12)	9±0.58(18)	12.57±0.12(11)	8±1(25)	313±23.64(22)	8.44±0.28(23)	898.4±63.2(23)	
.57±3.02(11)	120.5±4.6(9)	8.67±0.67(22)	12.6±0.1(10)	8.67±0.33(18)	354.01±8.73(17)	9.42±0.65(19)	996.93±12.44(12)	
72±1.53(14)	116.57±4.22(13)	8.67±0.33(23)	12.3±0.42(13)	9.67±0.88(10)	312.61±26.08(23)	10.87±0.65(12)	954.75±62.16(18)	3
.13±3.98(20)	110.73±2.65(19)	9±0.58(20)	11.97±0.03(18)	12±0.58(1)	367±32.52(16)	11.22±0.34(10)	946.03±52.78(19)	3
.47±3.05(15)	115.47±4.97(14)	8±0.58(28)	11.93±0.32(19)	9.33±0.67(15)	333.33±6.89(21)	6.65±0.17(28)	912.5±12.42(21)	3
.57±2.92(29)	111.27±4.53(18)	7.33±0.67(30)	11.37±0.33(26)	7.67±0.33(29)	343.33±21.88(19)	6.97±0.19(26)	908.12±9.98(22)	3
3.8±6.4(21)	105.97±0.73(22)	8.33±0.33(25)	11.33±0.09(28)	10.67±0.33(4)	385.33±23.38(14)	7.98±0.2(24)	917.42±2.68(20)	
.57±4.71(27)	101.33±0.92(27)	8.33±0.67(26)	11±0.21(29)	8.33±0.33(23)	271.67±27.96(25)	6.39±0.37(29)	763.72±51.82(26)	3
1.2±4.52(23)	102.77±4.1(25)	9.67±0.33(10)	11.63±0.43(23)	9.67±0.67(12)	307.57±58.32(24)	9.25±0.37(20)	839.5±120.36(24)	3
9.53±0.79(1)	130.47±2.58(5)	9.33±0.33(12)	13.6±0.32(5)	9±1(16)	618.47±32.18(1)	14.3±0.38(4)	1282.33±72.63(2)	
.33±0.33(16)	130.93±2.71(4)	11.33±0.67(4)	14.4±0.06(4)	10.33±0.88(5)	504.67±4.67(6)	16.98±0.76(2)	1217.37±25.97(5)	
.67±3.28(28)	119.53±4.89(11)	8±0.58(27)	12.23±0.2(15)	9.33±0.67(14)	339±13.32(20)	8.67±1.46(22)	975.37±36.04(15)	3

اعداد مختلف نشان دهنده میانگین ± خطای معیار (رتبه هر ژنوتیپ)

Different numbers represent the mean ± standard error (rank of each genotype)

PH plant height; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; LFP length of flowering period; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index

محاسبه شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان داد ژنوتیپ‌های ۱، ۷ و ۲۸ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از حساسیت کمتری برخوردار هستند (جدول ۸). انتخاب بر اساس شاخص SSI، به گزینش ارقام متحمل به تنش، ولی با پتانسیل عملکرد پایین منجر می‌شود (Fischer and Maurer, 1978). این شاخص قادر به تفکیک ارقام متحمل به تنش از ارقام با پتانسیل عملکرد پایین نیست. به عبارت دیگر دو ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایین، در صورت داشتن اختلاف عملکرد یکسان در شرایط تنش و عدم تنش برای هر دو ژنوتیپ مقدار SSI یکسانی خواهند داشت (Schneider *et al*., 1997).

در مورد شاخص تحمل به تنش (TOL) که مقادیر کمتر آن نشان دهنده تحمل نسبی ارقام است، به ترتیب ژنوتیپ ۱ و ۷ کمترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص دادند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند. لازم به ذکر است که گزینش بر اساس سطوح پایین شاخص TOL منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد آن‌ها در محیط دارای تنش نسبت به محیط بدون تنش کاهش کمتری داشته باشد. پایین بودن این شاخص لزوماً به معنی بالا بودن عملکرد رقم در محیط بدون تنش نیست (Hossain *et al*., 1990).

شاخص میانگین بهره‌وری (MP) متوسط عملکرد ارقام در شرایط بدون تنش و تنش است و ژنوتیپ‌هایی که مقادیر بیشتری برای این شاخص داشته باشند، متحمل‌تر هستند (Rosielle and Hamblin, 1981). انتخاب بر اساس MP باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود. بر اساس شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، به ترتیب ژنوتیپ‌های ۱۴، ۲۸ و ۱۳ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها و ۸، ۲۷ و ۱۹، حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۸).

بر اساس شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) نیز ارقام ۱۴، ۱۸ و ۵ با کسب بیشترین مقادیر این شاخص، به عنوان متحمل‌ترین و دو ژنوتیپ ۸ و ۲۷ به عنوان حساس‌ترین ارقام ارزیابی شدند. شاخص GMP بر خلاف MP به مقدار نسبتاً زیاد Yp و Ys حساسیت ندارد و در مقایسه با MP دارای اثر اریبی به سمت بالا نیست (Fernandez, 1992).

شاخص تحمل به تنش (STI) برای ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۲۸ بیشتر از ژنوتیپ‌های دیگر بود (جدول ۸). این ژنوتیپ‌ها ضمن داشتن بالاترین مقادیر شاخص STI در بین ارقام، از نظر میانگین عملکرد نیز در هر دو شرایط محیطی در گروه ارقام پرمحصول قرار داشتند. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۸ و ۲۷ به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. Ajayi (2020)، نیز در بررسی ارقام لوبیا چشم بلبلی از STI به عنوان مهم‌ترین شاخص تحمل به شوری برای شناسایی ارقام دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش استفاده کرد.

انتخاب شاخص‌های MP، GMP و STI در گزینش ارقام لوبیا چشم بلبلی در تنش خشکی توسط Sanogo سال ۲۰۲۳ نیز استفاده شده است. بر اساس شاخص میانگین هارمونی (HM) و شاخص مقاومت به خشکی (DI) ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۲۸ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های ۱، ۲۷ و ۷ از نظر شاخص تحمل تنش غیر زیستی (ATI) و ژنوتیپ‌های ۲۸ و ۱۴ براساس شاخص YIS (شاخص پایداری عملکرد) به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. در کل بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش دو ژنوتیپ ۲۸ و ۱۴ به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

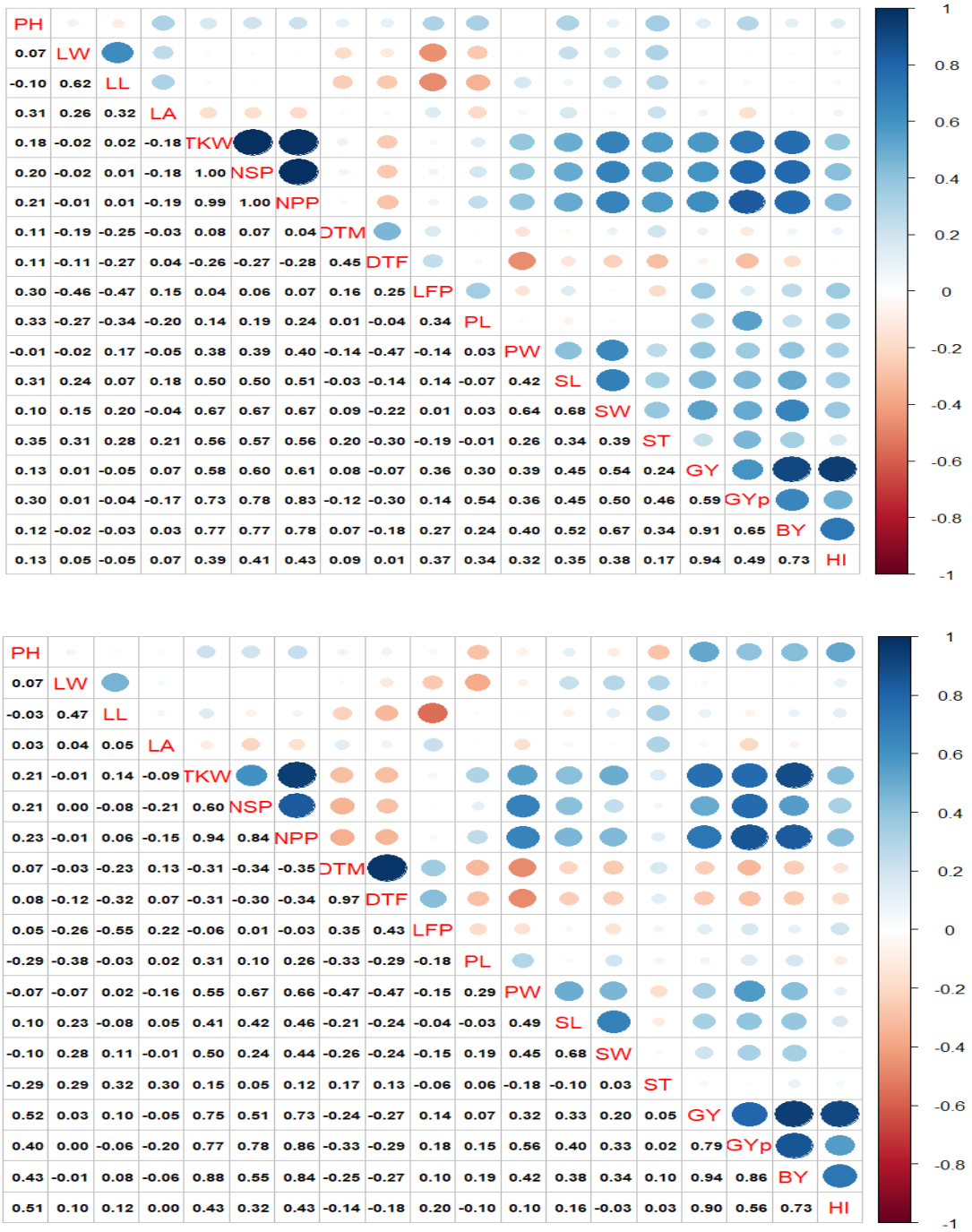
جدول ۸- مقادیر میانگین عملکرد و شاخص‌های حساسیت و متحمل به تنش در ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی

Table 8. Mean of cowpea genotypes grain yield, stress tolerance and sensitivity indices

Genotype	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	HM	SSI	YSI	ATI	DI
1	457.67	411.65	46.0	434.7	434.1	0.536	433.5	0.100503	0.695	0.031	0.971
2	732.33	393.67	338.6	563.0	536.9	0.821	512.1	0.462379	0.664	0.283	0.555
3	703.67	488.00	215.7	595.9	586.0	0.977	576.3	0.306523	0.823	0.196	0.887
4	865.00	368.74	496.3	616.9	564.7	0.908	517.0	0.573757	0.622	0.436	0.412
5	668.33	563.00	105.3	615.7	613.4	1.071	611.1	0.157564	0.950	0.100	1.244
6	690.33	523.44	166.9	606.9	601.1	1.028	595.4	0.241779	0.883	0.156	1.041

7	575.67	513.17	62.5	544.5	543.6	0.841	542.7	0.108563	0.866	0.053	1.200
8	412.00	200.67	211.3	306.4	287.6	0.235	269.9	0.512864	0.339	0.094	0.256
9	607.33	388.88	218.4	498.1	486.0	0.672	474.2	0.359625	0.656	0.165	0.653
10	574.67	256.82	317.9	415.8	384.2	0.420	355.0	0.553158	0.433	0.190	0.301
11	544.33	345.76	198.5	445.1	433.8	0.536	422.9	0.364689	0.583	0.134	0.576
12	506.67	431.33	75.4	469.0	467.5	0.622	466.0	0.148806	0.728	0.055	0.963
13	881.00	401.00	480.0	641.0	594.4	1.006	551.1	0.544835	0.677	0.443	0.479
14	727.00	613.33	113.7	670.2	667.7	1.269	665.3	0.156396	1.035	0.118	1.357
15	567.00	217.00	350.0	392.0	350.8	0.350	313.9	0.617284	0.366	0.191	0.218
16	535.00	231.67	303.3	383.4	352.1	0.353	323.4	0.566916	0.391	0.166	0.263
17	599.67	395.00	204.7	497.4	486.7	0.674	476.3	0.341337	0.666	0.155	0.682
18	751.00	247.61	503.4	499.3	431.2	0.529	372.4	0.670306	0.418	0.337	0.214
19	431.33	313.00	118.3	372.2	367.4	0.384	362.7	0.274287	0.528	0.068	0.596
20	591.67	354.01	237.7	472.9	457.7	0.596	443.0	0.401724	0.597	0.169	0.555
21	543.00	312.61	230.4	427.8	412.0	0.483	396.8	0.424309	0.527	0.148	0.472
22	508.00	367.00	141.0	437.5	431.8	0.531	426.1	0.277559	0.619	0.095	0.695
23	437.67	333.33	104.4	385.5	381.9	0.415	378.4	0.23852	0.562	0.062	0.666
24	512.67	343.33	169.4	428.0	419.5	0.501	411.2	0.330408	0.579	0.110	0.603
25	603.33	385.33	218.0	494.3	482.1	0.662	470.3	0.361346	0.650	0.163	0.645
26	509.67	271.67	238.0	390.7	372.1	0.394	354.5	0.466941	0.458	0.138	0.380
27	378.33	307.57	70.7	343.0	341.1	0.331	339.3	0.186889	0.519	0.037	0.656
28	705.00	618.47	86.5	661.8	660.3	1.241	658.9	0.122693	1.043	0.089	1.423
29	657.33	504.67	152.6	581.0	576.0	0.944	571.0	0.232162	0.851	0.137	1.016
30	505.67	339.00	166.7	422.4	414.0	0.488	405.9	0.329642	0.572	0.107	0.596

نتایج حاصل از ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی در شکل ۱ ارایه شده است. عملکرد دانه در شرایط نرمال بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با صفات شاخص برداشت (r= 0.94**)، عملکرد بیولوژیک (r= 0.91**)، تعداد غلاف در بوته (r= 0.61**)، تعداد دانه در غلاف (r= 0.60**) و وزن هزاردانه (r= 0.58**) نشان داد. عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفات عملکرد بیولوژیک (r= 0.94**)، شاخص برداشت (r= 0.90**)، وزن هزاردانه (r= 0.75**)، تعداد غلاف در بوته (r= 0.73**) و تعداد دانه در غلاف (r= 0.51**) نشان داد. وجود همبستگی بین صفات، در کارهای به‌نژادی به‌خصوص در امر گزینش بر اساس تعدادی از صفات بسیار ضروری می‌باشد. شناخت رابطه بین عملکرد دانه و صفات مورفولوژیک در اجرای برنامه‌های گزینشی اهمیت زیادی دارد. مطالعه تنوع صفات در لوبیا چشم بلبلی نشان‌داده است که صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه، اجزا عملکرد را تشکیل می‌دهند (Dadson *et al.,* 2005). بنابراین به‌منظور گزینش برای عملکرد بالاتر، روابط مرکب بین عملکرد دانه و اجزای آن بایستی کاملا مشخص شوند. نتایج حاصل از مطالعات پیشین نشان می‌دهد که همبستگی بین عملکرد دانه در لوبیا چشم بلبلی با سایر صفات ثابت نیست (Dadson *et al.,* 2005; Ezin *et al.,* 2021). Hayatu *et al*. (2014) و Dadson *et al*. (2005) در بررسی تنوع ژنتیکی ارقام لوبیا چشم بلبلی نشان دادند که عملکرد دانه با وزن هزاردانه، تعداد غلاف در بوته و عملکرد بیولوژیک دارای بیشترین همبستگی می‌باشند.



شکل ۱- ضرایب همبستگی بین صفات در محیط تنش (پایین) و بدون تنش خشکی (بالا) در ۳۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی

Figure 1. Correlation coefficients between traits under in non-stress (down) and drought stress (top) environments in 30 cowpea genotypes

PH plant height; LW leaf width; LL leaf length; LA leaf area; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; DTM days to maturity; DTF days to flowering; LFP length of flowering period; PL pod length; PW pod width; SL seed length; SW seed width; ST seed thickness; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index

به‌منظور درک روابط داخلی صفات و تعیین گروهی متغیرهایی با بیش‌ترین همبستگی، و با توجه به مزایای مختلف تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره، برای درک عمیق ساختار داده‌ها، در مطالعه حاضر از تجزیه به عامل‌ها استفاده شد. در تجزیه به عامل‌ها با استفاده از تجزیه و تحلیل عوامل اصلی و بر اساس مقادیر ویژه بزرگتر از یک، در شرایط نرمال و تنش، شش عامل شناسایی شدند.

براساس نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها در شرایط آبیاری نرمال بر اساس کلیه صفات نشان داد (جدول ۹ و ۱۰) که تعداد دو عامل اول و دوم توانستند در مجموع ۵۲/۱ درصد از تغییرات را توجیه نمایند. سهم عامل‌های اول و دوم به ترتیب ۳۶/۹ و ۱۵/۱ درصد بود. در شرایط آبیاری نرمال، صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عرض غلاف، عرض بذر، طول بذر، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ارتباط مثبت و معنی‌داری را با عامل اول داشتند، صفات روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و طول دوره گل‌دهی با عامل دوم همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند در حالی‌که طول و عرض برگ ارتباط منفی و معنی‌داری با این عامل داشتند. بنابراین گزینش بر اساس افزایش این دو مولفه منجر به گزینش ارقامی با خصوصیات عملکرد مناسب در شرایط نرمال می‌شود (جدول ۹). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش خشکی مولفه اول و دوم توانستند در مجموع ۴۹/۸ درصد از تغییرات را توجیه نمایند که عامل‌های اول و دوم به‌ترتیب ۳۵/۲ و ۱۴/۶ درصد از درصد از تغییرات را توجیه کردند (جدول ۱۰).

با توجه به این‌که در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی دو عامل اصلی اول بیش‌ترین درصد از کل تغییرات واریانس داده‌ها در مجموع را به خود اختصاص دادند. لذا به‌عنوان محورهای مختصات بای‌پلات گزینش شدند و بر اساس موقعیت ارقام بر روی این نمودار مختصات که بیان کننده میزان همبستگی و مقدار توجیه صفات مورد مطالعه و ژنوتیپ‌ها توسط این دو عامل است، بررسی شد. بر اساس نمودار بای‌پلات در شرایط نرمال (شکل ۲)، ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست قسمت بالای نمودار (بر اساس مولفه اول و دوم) در بخش مثبت نمودار قرار گرفته‌اند (از جمله ژنوتیپ‌های شماره ۱۳، ۱۴، ۲۸ و ۲۹) به‌عنوان ژنوتیپ‌های با بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال شناسایی شدند.

در شرایط تنش خشکی (دیم) نیز بر اساس بزاکنش ارقام در نمودار بای‌پلات (شکل ۲) ژنوتیپ‌هایی که بر اساس مولفه اول و دوم در بخش مثبت نمودار قرار گرفته‌اند دارای بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (ژنوتیپ‌های شماره ۵، ۱۳، ۱۴، ۲۸ و ۲۹) می‌باشند. توزیع PCA بر اساس پارامترهای مورد علاقه به عنوان یک ابزار مکمل مفید در غربالگری‌های تحمل به خشکی و در نتیجه در گزینش متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به خشکی در لوبیا چشم بلبلی (Nkomo *et al.,* 2020; Santos *et al*., 2023) و سایر گیاهان مانند لوبیا معمولی (Sánchez-Reinoso *et al.,* 2020) ، نخود (Shah *et al.,* 2020) ، و گندم نان (Arifuzzaman *et al.,* 2020) استفاده شده است.

جدول ۹- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم صفات در محیط بدون تنش در ۳۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی

Table 9. Eigen values, Eigen vector and variance oftraits in non-stress environment in 30 chickpea genotypes

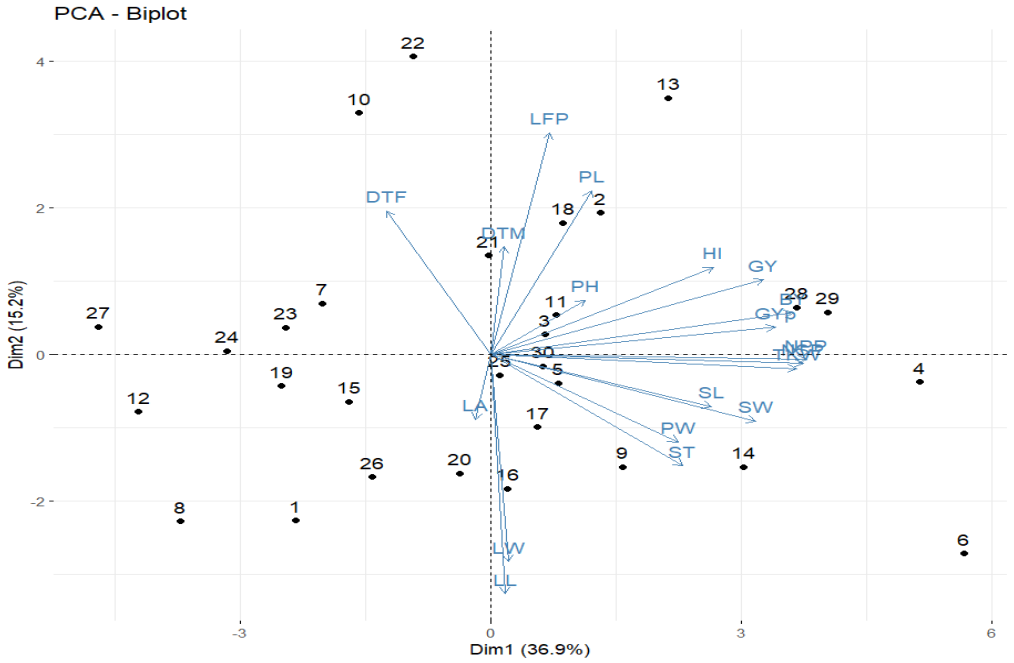
Traits	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
PH	0.277	0.182	0.521	0.321	0.552	-0.194
LW	0.053	-0.693	0.387	-0.036	0.067	0.382
LL	0.041	-0.800	0.213	-0.128	-0.001	0.241
LA	-0.044	-0.217	0.786	-0.151	0.159	-0.185
TKW	0.899	-0.047	-0.181	0.282	-0.083	0.021
NSP	0.917	-0.030	-0.180	0.267	-0.033	0.032
NPP	0.929	-0.016	-0.189	0.240	0.014	0.054
DTM	0.040	0.362	0.275	0.543	-0.488	0.071
DTF	-0.304	0.481	0.411	0.245	-0.376	0.184
LFP	0.172	0.742	0.304	-0.187	0.085	-0.252
PL	0.296	0.548	-0.143	-0.082	0.554	0.243
PW	0.550	-0.293	-0.214	-0.312	-0.092	-0.395
SL	0.648	-0.174	0.295	-0.046	-0.079	-0.417
SW	0.778	-0.222	0.013	-0.029	-0.277	-0.259
ST	0.564	-0.371	0.214	0.477	0.158	0.066
GY	0.802	0.250	0.201	-0.389	-0.177	0.217
GYP	0.835	0.091	-0.164	0.044	0.346	0.148
BY	0.888	0.141	0.071	-0.193	-0.185	0.103
HI	0.654	0.292	0.270	-0.458	-0.133	0.312
Eigenvalues	7.005	2.896	1.867	1.476	1.354	1.020
Cumulative variance (%)	0.369	0.521	0.619	0.697	0.768	0.822

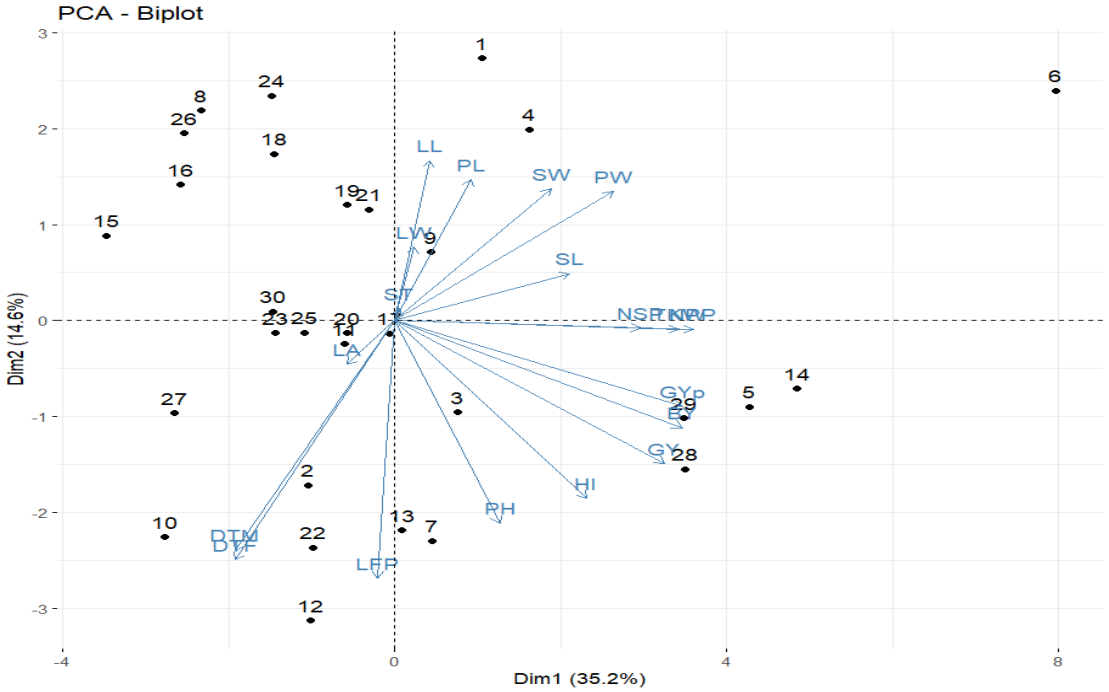
جدول ۱۰- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم صفات در محیط تنش خشکی در ۳۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی

Table 10. Eigen values, Eigen vector and variance of traits in drought stress environment in 30 chickpea genotypes

Traits	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
PH	0.329	0.549	0.227	-0.400	-0.284	0.080
LW	0.061	-0.200	0.762	0.165	-0.377	-0.057
LL	0.110	-0.434	0.723	-0.150	0.173	-0.124
LA	-0.149	0.119	0.253	0.344	0.278	0.731
TKW	0.890	0.024	0.016	0.178	0.185	-0.113
NSP	0.772	0.020	-0.185	0.083	-0.078	-0.254
NPP	0.937	0.023	-0.069	0.158	0.093	-0.187
DTM	-0.501	0.622	0.096	0.411	-0.026	-0.287
DTF	-0.500	0.649	-0.019	0.407	-0.029	-0.312
LFP	-0.054	0.699	-0.312	0.244	0.035	0.270
PL	0.240	-0.382	-0.412	0.065	0.589	0.084
PW	0.685	-0.350	-0.339	0.124	-0.143	-0.051
SL	0.549	-0.127	-0.019	0.413	-0.529	0.265
SW	0.490	-0.357	0.037	0.531	-0.313	0.127
ST	0.014	-0.032	0.514	0.489	0.552	-0.169
GY	0.845	0.388	0.196	-0.173	0.122	0.092
GYP	0.902	0.233	-0.089	0.002	0.005	-0.108
BY	0.901	0.290	0.102	-0.011	0.165	0.015
HI	0.602	0.482	0.318	-0.328	0.095	0.169
Eigenvalues	6.685	2.776	2.074	1.635	1.481	1.097
Cumulative variance (%)	0.352	0.498	0.607	0.693	0.771	0.829

PH plant height; LW leaf width; LL leaf length; LA leaf area; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; DTM days to maturity; DTF days to flowering; LFP length of flowering period; PL pod length; PW pod width; SL seed length; SW seed width; ST seed thickness; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index





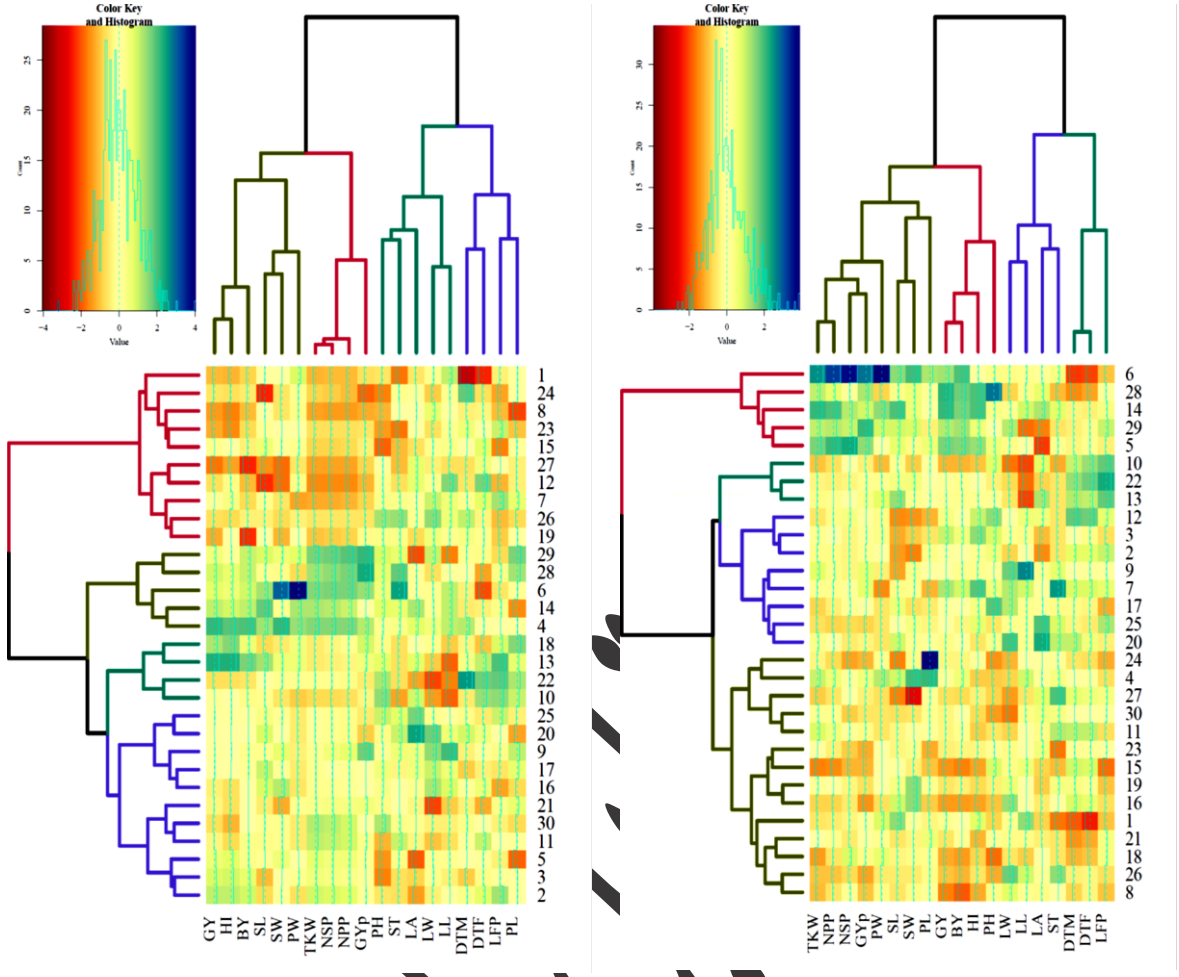
شکل ۲- نمایش بای‌پلات ۳۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی در ۱۹ صفت بر اساس دو مؤلفه اول و دوم در محیط تنش خشکی (پایین) و بدون تنش (بالا)

Figure 2- Biplot of 30 chickpea genotypes at 19 traits based on the first and second principal components in drought stress (down) and non-stress (top) environments.

PH plant height; LW leaf width; LL leaf length; LA leaf area; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; DTM days to maturity; DTF days to flowering; LFP length of flowering period; PL pod length; PW pod width; SL seed length; SW seed width; ST seed thickness; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index

به‌منظور طبقه‌بندی نژادها و ارقام بومی بر اساس صفات عملکرد و اجزای عملکرد، یک نمودار نقشه حرارتی با استفاده از روش Ward و با استفاده از مربع فاصله اقلیدسی انجام شد. در محیط نرمال و تنش خشکی ژنوتیپ‌ها در چهار گروه دسته‌بندی شدند (شکل ۳). در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های گروه دوم که شامل ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۱۴، ۲۸ و ۲۹ بالاترین عملکرد را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌های گروه اول از جمله ۵، ۶، ۱۴، ۲۸ و ۲۹ در شرایط تنش خشکی با بالاترین عملکرد دانه به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند.

در پژوهشی بر روی لوبیا چشم بلبلی با استفاده از نمودار نقشه حرارتی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و صفاتی که احتمالاً در تحمل به خشکی نقش دارند، استفاده شد (Santos *et al*., 2023). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌هایی با زیست توده کوچک‌تر به وضعیت آبی بهتری دست می‌یابند و بنابراین قادر به تحمل خشکی هستند (Agbicodo *et al*., 2009; Abdou *et al*., 2013). حتی اگر یک زیست توده بیشتر می‌تواند منجر به تلفات آب مضر از طریق تعرق در شرایط خشکی شود (Iseki *et al*., 2018)، افزایش فتوسنتز خالص به‌عنوان یک نتیجه از تعداد بیشتر برگ، ممکن است از تجمع بیشتر ماده خشک در غلاف‌ها حمایت کند، بنابراین باعث ارتقاء بازدهی بهتر ژنوتیپ‌ها می‌شود (Alidu, 2009; Nadeem *et al*., 2019). ژنوتیپ‌های زیرگروه IV زیست توده برگ بالاتری را در مقایسه با زیرگروه I و II حفظ کردند، اما ژنوتیپ‌های زیرگروه آخر عملکرد بهتری در بقیه پارامترهای ارزیابی‌شده ارائه کردند.



شکل ۳- دندروگرام حاصل از نقشه حرارتی ۳۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی، براساس صفات با استفاده از روش Ward در محیط تنش خشکی (راست) و بدون تنش (چپ)

Fig 3- Dendrogram of heatmap analysis of 30 chickpea genotypes based on traits using Ward's method in drought stress (right) and non-stress (left) environments.

PH plant height; LW leaf width; LL leaf length; LA leaf area; TKW 1000-grain weight; NSP number of seeds in a pod; NPP number of pods per plant; DTM days to maturity; DTF days to flowering; LFP length of flowering period; PL pod length; PW pod width; SL seed length; SW seed width; ST seed thickness; GYP grain yield per plant; GY grain yield per plot; BY biological yield; HI Harvest index

نتیجه‌گیری کلی

لوبیا چشم بلبلی به دلیل تحمل خشکی خود شناخته شده است و بنابراین به‌عنوان یک محصول حبوبات مهم برای مواجهه با محدودیت های آینده ناشی از تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته می‌شود. نتایج ما نشان می‌دهد که وقتی لوبیا چشم بلبلی در معرض تنش شدید خشکی قرار می‌گیرد، با محدود کردن رشد رویشی خود سعی در بهبود عملکرد خود از طریق مکانیسم تحمل دارد. در مجموع بر اساس تمامی تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش، در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های ۴، ۶، ۱۴، ۲۸ و ۲۹ در شرایط تنش ژنوتیپ‌های ۵، ۶، ۱۴، ۲۸ و ۲۹ بالاترین عملکرد دانه را دارا بودند. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های ۲۸، ۲۹ و ۱۴ دارای کاهش عملکرد کمتری در شرایط تنش خشکی نسبت به نرمال هستند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند که نسبت به ارقام شاهد دارای عملکرد بالاتری بودند. در مجموع می‌توان ابراز داشت که با وجود تنوع ژنتیکی موجود در ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی و با توجه به نحوه توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات، اصلاح و معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برای این گیاه امکان‌پذیر است.

REFERENCES

1. Abdou, R. I. B. Y., Mensah, B., Addam, K. S., & Akromah, R. (2013). Using morpho-physiological parameters to evaluate cowpea varieties for drought tolerance. *International Journal of Agricultural Science Research*.
2. Agbicodo, E. M., Fatokun, C. A., Muranaka, S., Visser, R. G., & Linden Van Der, C. G. (2009). Breeding drought tolerant cowpea: constraints, accomplishments, and future prospects. *Euphytica*, *167*, 353-370.
3. Ajayi, A. T. (2020). Relationships among Drought Tolerance Indices and Yield Characters of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Int. J. Sci. Res. in Biological Sciences Vol*, *7*(5).
4. Alidu, M. S. (2018). Evaluation of cowpea genotypes for drought tolerance using the pot screening approach. *Asian Research Journal of Agriculture*, *10*(2), 1-11.
5. Arifuzzaman, M., Barman, S., Hayder, S., Azad, M. A. K., Turin, M. T. S., Amzad, M. A., & Masuda, M. S. (2020). Screening of bread wheat (Triticum aestivum L.) genotypes under drought stress conditions using multivariate analysis. *Cereal Research Communications*, *48*, 301-308.
6. Bastos, E. A., Nascimento, S. P. D., Silva, E. M. D., Freire Filho, F. R., & Gomide, R. L. (2011). Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agronômica*, *42*, 100-107.
7. Boukar, O., Belko, N., Chamarthi, S., Togola, A., Batieno, J., Owusu, E., ... & Fatokun, C. (2019). Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. *Plant breeding*, *138*(4), 415-424.
8. Bouslama, M., & Schapaugh Jr, W. T. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop science*, *24*(5), 933-937.
9. Dadson, R. B., Hashem, F. M., Javaid, I. Q. B. A. L., Joshi, J. A. G. M. O. H. A. N., Allen, A. L., & Devine, T. E. (2005). Effect of water stress on the yield of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp.) genotypes in the Delmarva region of the United States. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *191*(3), 210-217.
10. Ezin, V., Tossou, T. A., Chabi, I. B., & Ahanchede, A. (2023). Diallel analysis of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) genotypes under water deficit stress. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 539.
11. Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan, 1992* (pp. 257-270).
12. Fischer, R. A., & Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat Cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*(5), 897-912.
13. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R. G., Ricciardi, G. L., & Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, *77*(4), 523-531.
14. Gomes, A. M. F., Draper, D., Talhinhas, P., Santos, P. B., Simões, F., Nhantumbo, N., ... & Ribeiro-Barros, A. I. (2020). Genetic diversity among cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) landraces suggests central Mozambique as an important hotspot of variation. *Agronomy*, *10*(12), 1893.
15. Gomes, A., Nhantumbo, N., Ferreira-Pinto, M., Massinga, R., Ramalho, J. C., & Ribeiro-Barros, A. (2019). Breeding elite cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] varieties for improved food security and income in Africa: Opportunities and challenges. *Legume Crops-Characterization and Breeding for Improved Food Security*, 626-640.
16. Gonçalves, A., Goufo, P., Barros, A., Domínguez-Perles, R., Trindade, H., Rosa, E. A., ... & Rodrigues, M. (2016). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(9), 2941-2951.
17. Govindaraj, M., Vetriventhan, M., & Srinivasan, M. (2015). Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. *Genetics research international*, *2015*.
18. Hayatu, M., Muhammad, S. Y., & Abdu, H. U. (2014). Effect of water stress on the leaf relative water content and yield of some cowpea (Vigna unguiculata (L) Walp.) genotype. *International Journal of Scientific & Technology Research 3 (7)*.
19. Hossain, A. B. S., Sears, R. G., Cox, T. S., & Paulsen, G. M. 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, *30*(3), 622-627.
20. Ilyas, M., Nisar, M., Khan, N., Hazrat, A., Khan, A. H., Hayat, K., ... & Ullah, A. (2021). Drought tolerance strategies in plants: a mechanistic approach. *Journal of Plant Growth Regulation*, *40*, 926-944.
21. Iseki, K., Takahashi, Y., Muto, C., Naito, K., & Tomooka, N. (2018). Diversity of drought tolerance in the genus Vigna. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 729.
22. Jayathilake, C., Visvanathan, R., Deen, A., Bangamuwage, R., Jayawardana, B. C., Nammi, S., & Liyanage, R. (2018). Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(13), 4793-4806.

23. Kang, S., Gu, B., Du, T., & Zhang, J. (2003). Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. *Agricultural water management*, *59*(3), 239-254.
24. Khadka, K., Earl, H. J., Raizada, M. N., & Navabi, A. (2020). A physio-morphological trait-based approach for breeding drought tolerant wheat. *Frontiers in plant science*, *11*, 715.
25. Khokhar, M. I., da Silva, J. T., & Spiertz, H. 2012. Evaluation of barley genotypes for yielding ability and drought tolerance under irrigated and water-stressed conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, *12*(3), 287-292.
26. Mousavi, S. S., Yazdi, S. B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., & Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes.
27. Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International journal of molecular sciences*, *20*(10), 2541.
28. Nkomo, G. V., Sedibe, M. M., & Mofokeng, M. A. (2020). Phenotyping cowpea accessions at the seedling stage for drought tolerance using the pot method. *bioRxiv*, 2020-07.
29. Nkomo, G. V., Sedibe, M. M., & Mofokeng, M. A. (2021). Production constraints and improvement strategies of cowpea (Vigna unguiculata L. Walp.) genotypes for drought tolerance. *International Journal of Agronomy*, *2021*, 1-9.
30. Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Alipour, H., Mohammadi, V., Azizyan, K., & Javid, S. (2023). Analysis of genetic diversity and genome-wide association study for drought tolerance related traits in Iranian bread wheat. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 431.
31. Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Mohammadi, V., & Alipour, H. (2022b). Genome-wide association mapping and genomic prediction of agronomical traits and breeding values in Iranian wheat under rain-fed and well-watered conditions. *BMC genomics*, *23*(1), 1-25.
32. Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Mohammadi, V., Alipour, H., & Cammarano, D. (2022a). Imaging-based screening of wheat seed characteristics towards distinguishing drought-responsive Iranian landraces and cultivars. *Crop and Pasture Science*, *73*(4), 337-355.
33. Reif, J. C., Xia, X. C., Melchinger, A. E., Warburton, M. L., Hoisington, D. A., Beck, D., ... & Frisch, M. (2004). Genetic diversity determined within and among CIMMYT maize populations of tropical, subtropical, and temperate germplasm by SSR markers. *Crop Science*, *44*(1), 326-334.
34. Rosielle, A. A., & Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop science*, *21*(6), 943-946.
35. Sánchez-Reinoso, A. D., Ligarreto-Moreno, G. A., & Restrepo-Díaz, H. (2020). Evaluation of drought indices to identify tolerant genotypes in common bean bush (Phaseolus vulgaris L.). *Journal of Integrative Agriculture*, *19*(1), 99-107.
36. Sanogo, S. A., Diallo, S., Batieno, T. B. J., Ishola, A. I., Sawadogo, N., & Nyadanu, D. (2023). Screen House Assessment of Cowpea [(*Vigna unguiculata* (L.)] Genotypes for Drought Tolerance Using Selection Indices. *Agricultural Sciences*, *14*(4), 457-473.
37. Santos, M. P., Cogo, A. J. D., & Aragão, F. J. (2023). Variabilities in water deficit tolerance among cowpea (Vigna unguiculata [L.] Walp.) genotypes. *South African Journal of Botany*, *163*, 552-560.
38. Santos, R., Carvalho, M., Rosa, E., Carnide, V., & Castro, I. (2020). Root and agro-morphological traits performance in cowpea under drought stress. *Agronomy*, *10*(10), 1604.
39. Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., ... & Kelly, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, *37*(1), 43-50.
40. Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., ... & Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in plant science*, *9*, 1705.
41. Shah, T. M., Imran, M., Atta, B. M., Ashraf, M. Y., Hameed, A., Waqar, I., ... & Maqbool, M. A. (2020). Selection and screening of drought tolerant high yielding chickpea genotypes based on physio-biochemical indices and multi-environmental yield trials. *BMC plant biology*, *20*, 1-16.

Evaluation of agro-morphological Traits to identify drought tolerant genotypes in Cowpea (*Vigna unguiculata* L.)

Cowpea is a multiple-purpose drought-tolerant leguminous pulse crop grown in several dry tropical areas. However, detailed genetic information is lacking in many Asian countries, limiting the success of breeding programs. In this research, in order to evaluate the drought tolerance of 30 cowpea genotypes, an experiment was conducted in the form of a completely randomized block design with three replications in two conditions without stress (60 ml evaporation from the evaporation pan) and drought stress (120 ml ¬ liter of evaporation from the

evaporation pan) was done in field conditions. The genotypes were significantly different from each other in terms of agro-morphological traits. The cluster analysis grouped the genotypes into four clusters. In general, based on bi-plot analysis, cluster analysis and correlation, genotypes 4, 6, 14, 28 and 29 in normal conditions and in drought stress conditions genotypes 5, 6, 14, 28 and 29 have the highest yield. They had the seed. Due to the fact that genotypes 28, 29 and 14 have a lower yield under drought stress than normal, they were identified as tolerant genotypes, which had higher yields than the control cultivars. Which might represent promising cowpea genetic resources for improved drought tolerance breeding.

Keywords: Multivariate statistics, abiotic stress, genetic diversity, Cowpea drought tolerance.

غیر قابل استناد