دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و روش‌های آماری چند متغیره

بهزاد بسحاق[۱]، حسین آسترکی[۲] و پیام پزشکپور[۳]

۱- دانشجوی آموخته زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور کرج، (نویسنده مسوول: Boshagh.behzad@yahoo.com)
۲- محقق اصلاح و تهیه نهال ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی جهاد کشاورزی لرستان سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های باقلا و ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، آزمایشی با ۱۶ ژنوتیپ در قالب طرح کرت‌های خرد شده با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بروجرد انجام شد. آبیاری به‌عنوان عامل اصلی، شامل سطوح نرمال و تنش خشکی و ژنوتیپ به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس ساده برای عملکرد در شرایط نرمال (N)، عملکرد در شرایط تنش خشکی (S)، شاخص‌های تحمل به تنش (TOL)، میانگین بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص حساسیت (SSI)، میانگین هندسی (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل به تنش اصلاح شده (K_1STI) و میانگین هارمونیک (HM) نشان داد که اثر ژنوتیپ برای این پارامترها در سطح یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود. لذا، انتخاب براساس شاخص‌های MP، GMP، TOL و HM منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش شد. در تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها به سه گروه تقسیم شدند. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که حدود ۷۳/۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها توسط مولفه اول توجیه و این مولفه همبستگی مثبت و بالایی با صفت عملکرد دانه در شرایط نرمال، عملکرد در شرایط تنش، شاخص‌های MP، GMP، STI، K_1STI و HM نشان داد، در حالی‌که، همبستگی مثبت و پایینی با TOL و SSI داشت. عملکرد در شرایط نرمال دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش و کلیه شاخص‌های تحمل به خشکی در سطح احتمال یک درصد بود. این صفت دارای بیشترین همبستگی مثبت با شاخص K_1STI ($r=0.995$) بود. به‌طورکلی، می‌توان بیان داشت که شاخص میانگین هندسی، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با صفات عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش دارا بود و براساس آن می‌توان گزینش ژنوتیپ‌های برتر را انجام داد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، باقلا، شاخص تحمل خشکی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه مولفه‌های اصلی

مقدمه

حبوبات از جمله گیاهان زراعی می‌باشند که سرشار از پروتئین بوده و با داشتن ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین نقش مهمی در تامین مواد پروتئینی مورد نیاز بشر دارند (۱۸). باقلا به عنوان یکی از حبوبات مهم، گیاهی یکساله با نام علمی *Vicia faba L.* و متعلق به خانواده Fabaceae می‌باشد که به منظور تغذیه انسان به صورت سبز و خشک و استفاده در تغذیه دام مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (۲۰،۶،۴). باقلا نسبت به سایر گونه‌های حبوبات حساسیت بیشتری نسبت به خشکی دارد و در طول رویش به ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر بارندگی با پراکنش مناسب نیاز دارد. در محدوده pH برابر ۶ تا ۷/۳ رشد مناسب و حداقل درجه حرارت برای جوانه زنی آن بین ۵-۴ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به شرایط اقلیمی به ۴-۲ بار آبیاری در طول دوره رشدونمو نیاز دارد. اساسا آب وهوای مرطوب برای باقلا مناسب و مهمترین مرحله آبیاری برای این گیاه هنگام گلدهی و آغاز غلاف بندی می‌باشد. تنش خشکی یکی از مهمترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبرو ساخته و بازده تولید را کاهش می‌دهد (۱۵). نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که برخورد مراحل رشد ونمو با تنش خشکی موجب کاهش در اکثر صفات وابسته به عملکرد می‌شود (۱۳،۵). از آنجا که مقدار و پراکنش بارندگی در پاییز و بهار متغیر است، وقوع تنش خشکی در همه مراحل رشد رویشی و زایشی محتمل است (۲۳،۱۰). در نواحی مدیترانه‌ای، گیاهان کشت شده در پاییز یا زمستان در دوره رشد رویشی خود تحت تاثیر تنش خشکی متناوب قرار گرفته و در مرحله رشد زایشی با تنش خشکی انتهایی مواجه می‌شوند. تولید ارقام دارای عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی آخر فصل یکی از راهکارهایی است که می‌تواند تاثیر تنش خشکی را به حداقل برساند (۱۵). معرفی یک شاخص فیزیوژیکی معتبر در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی مناسب برای داشتن عملکرد بالا مشکل می‌باشد (۳). در رابطه با شاخص‌های کمی تحمل خشکی، هر چقدر عملکرد ژنوتیپ در محیط تنش خشکی (Ys)[۱] به عملکرد در شرایط عادی (Yp)[۲] نزدیک تر باشد، حساسیت رقم به خشکی کمتر بوده و در نتیجه مقدار شاخص نسبت افت عملکرد (Yr)[۳] و همچنین شاخص حساسیت به تنش (SSI)[۴] آن رقم کوچکتر می‌شود (۹). مطالعات نشان داده که در گزینش مواد گیاهی برتر، رقمی ایده آل است که عملکرد بالایی داشته و دارای پایداری عملکرد باشد. به‌منظور بررسی سازگاری، تجزیه و تحلیل نتایج در شرایط تنش خشکی و نرمال ضروری است (۲). محققین به این نتیجه رسیدند که ارقام مطلوب و پایدار در هر دو شرایط تنش خشکی و نرمال دارای بهترین پاسخ هستند، به منظور گزینش چنین ارقامی شاخص‌های حساسیت به تنش خشکی (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص بهره وری متوسط (MP)، میانگین هندسی (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل تنش اصلاح شده (K_1STI) و میانگین هارمونیک (HM) معرفی شده‌اند (۲۲،۱۱،۹،۳). در پژوهشی به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی برای تحمل خشکی در گیاهان لوبیا، سویا، نخود و لوپین تعداد ۱۸ ژنوتیپ از هر گیاه

1-Yield in stress condition
2-Potential yield
3- Yield reduction
4- Stress Susceptible Index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]

طی سه سال تحت تیمارهای تنش و بدون تنش ارزیابی شدند. بر اساس شاخص حساسیت به تنش ژنوتیپ‌ها به دو گروه مقاوم و حساس تقسیم گردیدند. همچنین بین صفات فنولوژیک و تحمل به خشکی ارتباطی مشاهده نشد. در سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶، ۱۹-۱۰ ژنوتیپ باقلا از لحاظ شاخص‌های تحمل تنش در چند ناحیه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت، وراثت پذیری تحمل بین ۰/۵۱ تا ۰/۸۸ برآورد شد (۱۶). هدف از انجام این آزمایش بررسی تنوع ژنوتیپ‌های باقلا از لحاظ تحمل به تنش خشکی، انتخاب مناسب ترین شاخص تحمل خشکی و تعیین متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به خشکی بود.

مواد و رو ش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بروجرد به مدت ۱ سال اجرا شد. در این آزمایش تعداد ۱۶ژنوتیپ شامل ۱۲۰۲، ۱۲۰۳، ۱۲۰۴، ۱۲۰۶، ۱۲۰۸، ۱۲۰۹، ۱۲۱۰، ۱۲۱۴، ۱۲۱۶، ۱۲۱۸، ۱۲۱۹، ۱۲۲۱، ۱۲۲۳، ۱۲۲۴، ۱۲۲۵، Khoramabd (شاهد) در قالب طرح کرت‌های خرد شده به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت شدند. سطوح تنش شامل آبیاری نرمال و تنش آبی به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌ها به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق بهاره، شخم سطحی پاییز، دیسک و لولر قبل از اجرای آزمایش صورت گرفت. عناصر غذائی ماکرو و میکرو بر اساس آزمون خاک استفاده شدند. سپس اقدام به ایجاد پشته‌هایی به فواصل ۶۰ سانتیمتر از یکدیگر نموده و نقشه طرح پیاده گردید. بذور هر یک از ژنوتیپ‌ها در روی دو خط به طول ۲ متر کشت و فواصل بوته‌ها در روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری درپاییز دو بار به فاصله ۱۵ روز و بهار در شرایط نرمال بر اساس۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر صورت گرفت. اعمال تنش آبی بعد از شروع گلدهی و بر اساس ۱۰۰ میلیمتر تبخیر از سطح تشتک تبخیر با توجه به شرایط اقلیمی و بافت خاک منطقه مورد آزمایش، انجام شد. صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع، تعداد شاخه اصلی، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره در ساقه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، وزن غلاف، وزن کاه تک بوته، عملکرد دانه تک بوته، تعداد بوته، وزن کل تک بوته، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد روز تا سبز شدن، وزن صد دانه، تلاش زاد آوری، وزن دانه دو ردیف، وزن کل دو ردیف، عملکرد کاه و شاخص برداشت اندازه گیری شد. براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش، شاخص‌های تحمل خشکی SSI، TOL، MP، STI، GMP، HM و K_1STI محاسبه گردیدند. نتایج حاصل به کمک نرم‌افزارهای SAS و Path2 تجزیه و تحلیل شدند. شاخص‌های تحمل به خشکی به شرح زیر محاسبه شدند (۹):

۱- شاخص حساسیت به تنش (SSI)

$SSI=[1-(ys/yn)] /SI$

ys= عملکرد ژنوتیپ تحت شرایط تنش

yn= عملکرد ژنوتیپ تحت شرایط نرمال

$SI= [1-(\hat{Y}s/\hat{Y}n)]$

$\hat{Y}s$= میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش

$\hat{Y}n$= میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال

$MP = (ys + yn) / 2$

$STI = (yn \times ys) / (\hat{Y}n)2$

$GMP= \sqrt{yn \times ys}$

$HM=2(Yp.Ys)/Yp+Ys$

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر ژنوتیپ (فاکتور B) برای تمام صفات مورد مطالعه به جز تعداد شاخه اصلی معنی‌دار بود، که صفات طول غلاف و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) و بقیه صفات در سطح احتمال ۱ درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بودند. اثر فاکتور آبیاری (فاکتورA) برای اکثر صفات معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در آبیاری (آبیاری × ژنوتیپ) برای بیشتر صفات در سطح احتمال ۱ درصد ($P< 0.01$) معنی‌دار بود. سپس برای عملکرد در شرایط نرمال (N)، عملکرد در شرایط تنش خشکی (S)، شاخص‌های تحمل به خشکی TOL، MP، SSI، GMP، STI، K_1STI و HM تجزیه واریانس انجام شد که اثر ژنوتیپ برای این پارامترها در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای اثرات تنش خشکی بر صفات مختلف و تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در ماش انجام شد، که اثر تنش خشکی و ژنوتیپ بر شاخص‌های تحمل خشکی معنی‌دار بوده و بهترین شاخص‌ها میانگین هندسی و حسابی بهره وری بودند (۲۹). در مطالعه واعظی (۲۸) بروی شاخص‌های تحمل خشکی در برخی ژنوتیپ‌های عدس، تفاوت معنی‌داری بین تمام ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی مشاهده شد. براساس نتایج مقایسات میانگین ژنوتیپ‌های شاهد و ۱۲۱۴ بیشترین عملکرد را در شرایط نرمال و ژنوتیپ‌های ۱۲۲۴ و ۱۲۰۴ کمترین عملکرد را داشتند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های ۱۲۲۳ و شاهد بیشترین عملکرد را در شرایط تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۲۲۴ و ۱۲۱۸ کمترین میزان عملکرد را داشتند، این مساله نشان دهنده اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و پاسخ متفاوت آن‌ها به شرایط محیطی است. براساس نتایج شریفی و همکاران (۲۷) رقم اصلاح شده باقلا برکت و توده بومی خرم‌آباد بیشترین عملکرد را دراستان گیلان و لرستان داشتند و استفاده از توده‌های دانه‌ریز غرب کشور و دانه درشت شمال کشور را جهت دستیابی به ارقام پرعملکرد در تلاقی‌ها توصیه کردند. همچنین نتایج مقایسات میانگین مشخص نمود که در شاخص تحمل (TOL) ژنوتیپ شاهد و ۱۲۱۴ دارای بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های ۱۲۲۳، ۱۲۰۳ و ۱۲۰۴ کمترین مقدار و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. در شاخص میانگین بهره‌وری متوسط (MP) ژنوتیپ شاهد بیشترین مقدار را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بود و کمترین مقدار این شاخص در ژنوتیپ‌های ۱۲۲۴ و ۱۲۰۴ وجود داشت. بیشترین مقدار شاخص حساسیت به تنش خشکی (SSI) مربوط به ژنوتیپ ۱۲۱۴ و شاهد بود که اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند در شاخص میانگین باروری هندسی (GMP) ژنوتیپ شاهد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]

نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر و ژنوتیپ ۱۲۲۴ کمترین مقدار را داشت. براساس شاخص تحمل به تنش (STI) همانند اغلب شاخص‌های دیگر، ژنوتیپ شاهد نسبت با سایرین برتر بود. براساس شاخص K_1STI ژنوتیپ شاهد بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های ۱۲۲۴ و ۱۲۰۴ کمترین مقدار را داشتند. به طور کلی ژنوتیپ‌های شاهد و ۱۲۱۴ برای اکثر شاخص‌ها دارای بیشترین مقدار بودند، بنابراین استفاده از این ژنوتیپ‌ها در برنامه اصلاحی مقاومت به تنش خشکی می‌تواند مفید باشد.

رگرسیون گام به گام

در محیط نرمال آبیاری با در نظر گرفتن عملکرد به‌عنوان متغییر وابسته و سایر صفات به عنوان متغییرهای مستقل، ۹۵/۶ درصد از تغییرات عملکرد را می‌توان به کمک صفات تلاش زادآوری، وزن غلاف، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، تعداد گره، تعداد بوته و طول غلاف توجیه کرد (جدول ۴). در شرایط تنش ۹۹/۳ درصد از تغییرات عملکرد به وسیله صفات شاخص برداشت، وزن خشک بوته، ارتفاع، وزن صد دانه و تعداد روز تا گلدهی توجیه شد. در تنش خشکی اولین صفتی که وارد مدل رگرسیونی شد شاخص برداشت بود، بنابراین برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باقلا دارای عملکرد بالا، شاخص برداشت مهم‌ترین نقش را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین برای بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی انتخاب ژنوتیپ‌ها براساس شاخص برداشت، وزن خشک بوته، ارتفاع، وزن صد دانه و تعداد روز تا گلدهی مفید است. هاشمی و محمدی (۱۳) گزارش کردند که در شرایط نرمال صفت تعداد دانه در بوته تنها صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد و ۹۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. براساس گزارش ناصح غفوری و همکاران (۱۲) ۹۶/۴ درصد از تغییرات عملکرد گیاه لوبیا به وسیله صفات شاخص برداشت، وزن غلاف، تعداد بذر در غلاف، وزن صد بذر و طول غلاف توجیه گردید و مهمترین صفت برای انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، وزن غلاف‌ها در یک گیاه بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف در ژنوتیپ‌های باقلا

Table 1. ANOVA of different traits in faba been

	میانگین مربعات					
صفات	بلوک	آبیاری	خطای اصلی	ژنوتیپ	خطای فرعی	آبیاری × ژنوتیپ	ضریب تغییرات
ارتفاع	۰۲۷/۳۲	۳۱۱/۲۱۵^{ns}	۵۶۹/۳۴	۵۲۲/۲۴۴**	۶۸۳/۴۱	۰۸/۱۱۴**	۸۵/۱۰
تعداد شاخه اصلی	۵۵۶/۰^{ns}	۳۵۹/۰^{ns}	۲۶۱/۰	۴۲۳/۰^{ns}	۳۷۲/۰	۱۴۳/۰	۵۴/۱۶
تعداد شاخه فرعی	۶۸۱/۰*	۴/۲۱۵**	۰۷۳/۰	۸۲۹/۳۰۳**	۰۷/۲	۲۵/۰	۶۰/۸
تعداد گره در ساقه	۶۹۳/۰*	۲۱۶**	۰۶۸/۰	۸۴۷/۳۰۳**	۰۷۲/۲	۲۴۴/۰	۶۰/۸
تعداد غلاف در بوته	۰۸۷/۱۸	۳۳۵/۶۷^{ns}	۴۶/۲۲	۲۲۶/۴۷**	۳۲۵/۷	۶۶۶/۵	۷۳/۲۷
تعداد دانه در غلاف	۰۳۴/۰^{ns}	۰۲/۰	۰۳۱/۰	۷۴۲/۰**	۱۸۴/۰	۲۶۸/۰^{ns}	۲۵/۱۴
طول غلاف	۳۲۵/۲	۷۳۳/۱	۳۵۶/۲	۳۱/۲*	۰۰۷/۱	۵۱۱/۱^{ns}	۷۰/۱۴
وزن غلاف	۰۱۵/۰	۳۱۲/۳*	۰۶/۰	۶۲۵/۲**	۰۱۱/۰	۱۶۸/۰	۳۰/۳
وزن کاه تک بوته	۴۱/۲	۰۴/۲۵۲*	۸۸۵/۸	۷۰۳/۲۴**	۰۳۲/۲	۲۴۹/۹**	۲۹/۷
عملکرد دانه تک بوته	۰۴۷/۰	۶۳۴/۲۱۰**	۱۰۱/۰	۵۷۶/۴۱**	۰۷۵/۰	۲۸۲/۷**	۴۹/۱
تعداد بوته	۷۸۱/۶^{ns}	۵۱۰/۰	۶۳۵/۵	۱۱۶/۳۴**	۲۳۱/۵	۷۹۹/۰	۳۶/۶
وزن کل تک بوته	۰۱۸/۳	۴۹/۹۲۳**	۳۰۲/۷	۳۴۹/۹۹**	۱۲۲/۲	۰۷۱/۱۷**	۸۴/۳
تعداد روز تا گلدهی	۰۱/۶	۰۴۲/۲	۸۲۳/۷۷	۱۷۸/۹۴**	۵۲۸/۳	۹۵۳/۱	۴۸/۱
تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	۲۸/۲۶۹*	۵۹۴/۴۷۲*	۶۵۶/۱۱	۹۴۹/۲۲*	۲۸/۱۱	۷۲۷/۱۰	۱/۴۶
تعداد روز تا سبز شدن	۰/۹۶۹^{ns}	۰/۱۶۷	۰/۸۲۳	۱۴/۱۹۷**	۱/۳۱۸	۸۵۶/۰	۸۲/۴
وزن صد دانه	۰۲/۴۳	۷۳/۱۵۱	۳۵/۱۵۷	۵۸۱/۱۱۷۹**	۸۲۶/۴۰	۲۶۲/۲۶	۵۴/۸
تلاش زاد آوری	۳۹/۰^{ns}	۱۷۵/۳*	۰۳۴/۰	۳۷۶/۳۱**	۲۲۲/۰	۴۶۹/۱**	۴۶/۵
وزن دانه دو ردیف	۹۵۳/۱۲	۵/۵۸۴۶۲**	۱۰۳/۲۸	۷۵۲/۱۱۵۳۹**	۷۱۳/۲۰	۱۹۹/۲۰۲۱**	۴۹/۱
وزن کل دو ردیف	۷۴۷/۸۳۷	۹/۲۵۶۳۱۹**	۶۵۶/۲۰۲۶	۹۲/۲۷۵۷۴**	۰۱۱/۵۸۹	۰۱۶/۴۷۳۸**	۸۴/۳
عملکرد کاه	۰۱۶/۶۶۹	۹۷/۶۹۹۵۴*	۱۴۹/۲۴۶۶	۳۶۸/۶۸۵۶**	۰۵۷/۵۶۴	۱۵۸/۲۵۶۷**	۲۹/۷
شاخص برداشت	۳۰۵/۳۵	۶۹۸/۵۸	۳۰۴/۲۳۰	۱۲۲/۹۰۱**	۷۹۷/۳۹	۲/۴۶۱**	۲۳/۳

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

جدول ۲- تجزیه واریانس ساده شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط آبی و تنش خشکی

Table 2. ANOVA of drought tolerance indices in normal and drought stress conditions

	میانگین مربعات			
شاخص‌ها	بلوک	ژنوتیپ	خطا	ضریب تغییرات
عملکرد محیط آبی N	۵۲۴/۰۴^{ns}	۱۹۷۰۳/۶۷**	۶۹۸/۹۲	۳/۸۹
عملکرد محیط تنش S	۲۶۸۹/۸۸*	۱۲۲۷۸/۹۸**	۷۷۲/۳۴	۴/۷۹
شاخص تحمل (TOL)	۴۰۱۵/۶۶*	۹۴۸۰/۳۹**	۱۲۳۰/۴۱	۳۳/۹۷
میانگین بهروری متوسط (MP)	۴۱۶/۹۷^{ns}	۱۳۷۸۹/۶۴**	۲۸۰/۴	۲/۶۵
حساسیت به تنش (SSI)	۰/۸۶۳**	۰/۵۳۸**	۰/۱۲۷	۳۸/۱۳
میانگین باروری هندسی (GMP)	۵۱۰/۲۳^{ns}	۱۳۵۲۶/۹۶**	۲۷۷/۹۶	۲/۶۵
شاخص تحمل به تنش (STI)	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۱۰۴**	۰/۰۰۲	۵/۱۴
(K_1STI)	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۱۹۶**	۰/۰۰۴	۵/۸۸
میانگین هارمونیک (HM)	۵۱۰/۲۹^{ns}	۱۰۶۵۵/۱۸**	۹۸۸/۳۹	۴/۹۹

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های تحمل خشکی در شرایط آبی و تنش خشکی

Table 3. Compare means of drought tolerance indices in normal and drought stress conditions

ژنوتیپ ها	عملکرد محیط آبی (N)	عملکرد محیط تنش (S)	شاخص تحمل (TOL)	میانگین بهروری متوسط (MP)	حساسیت به تنش (SSI)	میانگین باروری هندسی (GMP)	شاخص تحمل به تنش (STI)	(K_1STI)
۱۲۰۶	۶۳۸/۹۱^{fg}	۵۵۹/۲۲^{defg}	۷۹/۶۹^{cd}	۵۹۹/۰۶^{fgh}	۰/۸۲^{cd}	۵۹۷/۷۱^{fg}	۰/۷۶^{efg}	۰/ ۸۷^{g}
۱۲۱۴	۷۳۸/ ۰۳^{b}	۵۲۵/۰۵^{fg}	۲۱۲/۹۷^{a}	۶۳۱/۵۵^{cde}	۱/۹۱^{a}	۶۲۲/۴۷^{def}	۰/۸۳^{de}	۱/۱۶^{b}
۱۲۰۳	۶۲۷/۲۳^{defg}	۶۲۶/۱۳^{b}	۴۶/۰۳^{d}	۶۴۹/۱۸^{cd}	۰/۴۵^{d}	۶۴۸/۷۵^{cd}	۰/۹۰^{cd}	۰/۹۶^{defg}
۱۲۱۰	۶۸۵/۲۸^{cdef}	۶۰۵/۳۱^{bcd}	۴۹/۹۷^{cd}	۶۴۵/۲۹^{cd}	۰/۷۷^{cd}	۶۴۳/۹۹^{cd}	۰/۸۸^{cd}	۱^{cde}
۱۲۰۹	۶۶۰/۵۷^{defg}	۵۸۸/۰۹^{cde}	۷۲/۴۷^{cd}	۶۲۴/۳۳^{def}	۰/۷۲^{cd}	۶۲۳/۲۷^{def}	۰/۸۳^{de}	۰/۹۳^{efg}
۱۲۱۶	۶۴۱/۱۳^{fg}	۵۷۴/۰۴^{cdef}	۶۷/ ۰۸^{cd}	۶۰۷/۵۹^{efg}	۰/۶۹^{cd}	۶۰۶/۵۷^{efg}	۰/۷۸^{ef}	۰/۸۸^{fg}
۱۲۰۸	۶۸۱/۶۷^{cdefg}	۵۹۶/۴۲^{bcd}	۸۵/۲۴^{cd}	۶۳۹/۰۴^{cd}	۰/۸۲^{cd}	۶۳۵/۲۶^{cde}	۰/۸۷^{cd}	۰/۹۹^{cdef}
۱۲۲۳	۶۹۸/۴۰^{bcde}	۶۸۹/۷۲^{a}	۴۱/۹۲^{d}	۷۱۰/۶۸^{b}	۰/۳۷^{d}	۷۱۰/۳۴^{b}	۱/۰۸^{b}	۱/۱۴^{b}
۱۲۲۵	۷۱۶/۹۵^{bc}	۵۴۰/۳۴^{efg}	۱۷۶/۱^{ab}	۶۲۸/۶۳^{cdef}	۱/۲۹^{abc}	۶۲۲/۳۵^{def}	۰/۸۲^{de}	۱/۱۰^{bc}
۱۲۲۱	۷۰۳/۵۹^{bcd}	۶۰۹/۷۵^{bcd}	۹۳/۸۵^{cd}	۶۵۶/۶۸^{c}	۰/۸۷^{cd}	۶۵۴/۸۵^{c}	۰/۹۱^{c}	۱/۰۶^{bcd}
۱۲۲۴	۵۳۹/۷۸^{i}	۴۵۴/۸۲^{h}	۸۴/۹۶^{cd}	۴۹۷/۳۰^{j}	۰/۷۰^{cd}	۴۹۵/۴۲^{i}	۰/۵۲^{h}	۰/۶۲^{i}
۱۲۱۹	۶۴۹/۳۴^{efg}	۵۲۷/۵۷^{fg}	۱۲۱/۸^{bc}	۵۸۸/۴۵^{ghi}	۱/۲۲^{bc}	۵۸۵/۱۳^{gh}	۰/۷۳^{fg}	۰/۹۰^{efg}
۱۲۰۲	۷۳۵/۸۱^{b}	۶۴۱/۹۶^{ab}	۹۳/۸۷^{cd}	۶۸۸/۸۹^{b}	۰/۸۳^{cd}	۶۸۷/۰۹^{b}	۱/۰۱^{b}	۱/۱۶^{b}
۱۲۱۸	۶۳۳/۰۸^{gh}	۵۱۰/۳۵^{g}	۱۲۲/۷^{bc}	۵۷۱/۷۱^{hi}	۱/۲۶^{abc}	۵۶۷/۹۱^{h}	۰/۶۹^{g}	۰/۸۵^{g}
۱۲۰۴	۵۹۱/۷۱^{h}	۵۴۴/۲۲^{efg}	۴۷/۸^{d}	۵۶۷/۹۶^{i}	۰/۵۲^{d}	۵۶۵/۶۱^{h}	۰/۶۸^{g}	۰/۷۵^{h}
Khoramabad	۹۱۴/۶۳^{a}	۶۸۹/۱۷^{a}	۲۲۵/۴۶^{a}	۸۰۱/۹^{a}	۱/۶۳^{ab}	۷۹۳/۹۳^{a}	۱/۳۵^{a}	۱/۷۹^{a}

میانگین‌های دارای حرف مشترک، براساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار هستند

جدول ۴- تجزیه رگرسیون عملکرد در شرایط آبی و تنش خشکی

Table 4. Analysis of yield regression in normal and drought stress conditions

منابع	مقدرا R^2	مقدرا R^2 تصحیح شده	ضریب	مقدار t	مقدار P
		آبیاری نرمال			
مقدار ثابت	–	–	−۱۳/۰۱۲	−۴/۷۱۶	۰/۰۰
تلاش زادآوری	۰/۵۳۳	۰/۵۲۳	−۱/۹۵۹	−۱۷/۷۳۱	۰/۰۰
وزن غلاف	۰/۷۱۱	۰/۶۹۸	۵/۱۸۰	۱۵/۵۲۶	۰/۰۰
شاخص برداشت	۰/۸۹۶	۰/۸۸۹	۰/۴۵۱	۱۴/۰۲۲	۰/۰۰
ارتفاع بوته	۰/۹۲۴	۰/۹۱۷	۰/۰۹۳	۶/۷۹۶	۰/۰۰
تعداد گره	۰/۹۶۴	۰/۹۳۹	۰/۰۹۹	۵/۸۱۵	۰/۰۰
تعداد بوته	۰/۹۵۵	۰/۹۴۹	۰/۱۱۹	۳/۷۰۲	۰/۰۱
طول غلاف	۰/۹۶۳	۰/۹۵۶	−۰/۲۷۱	−۲/۷۵۶	۰/۰۰۹
		تنش خشکی			
مقدار ثابت	–	–	−۴۴/۵۸۵	−۳۱/۷۲۴	۰/۰۰
شاخص برداشت	۰/۴۹۰	۰/۴۷۹	۰/۷۳۶	۸۱/۵۰۴	۰/۰۰
وزن خشک بوته	۰/۹۸۳	۰/۹۸۲	۱/۰۰۴	۵۷/۰۴۵	۰/۰۰
ارتفاع بوته	۰/۹۹۰	۰/۹۸۹	۰/۰۴۰	۶/۳۷۶	۰/۰۰
وزن ۱۰۰ دانه	۰/۹۹۲	۰/۹۹۱	۰/۰۱۳	۴/۶۶۴	۰/۰۰
تعداد روز تا گلدهی	۰/۹۹۴	۰/۹۹۳	۰/۰۳۵	۳/۸۱۴	۰/۰۰

R^2: ضریب تبین، t: t جدول، P: سطح احتمال

همبستگی

نتایج همبستگی نشان داد که عملکرد در شرایط نرمال همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با عملکرد در شرایط تنش و کلیه شاخص‌های تحمل به خشکی داشت. این صفت دارای بیشترین همبستگی مثبت با شاخص K_1STI (r=0.995) بود. براساس نتایج فیروزی و همکاران (۱۰) بین عملکرد در شرایط نرمال با عملکرد در شرایط تنش، شاخص‌های TOL، STI، HM و GMP همبستگی مثبت و معنی‌دار و با شاخص SSI همبستگی منفی نشان داد. عملکرد در شرایط تنش با عملکرد در شرایط نرمال، شاخص‌های میانگین بهره‌وری متوسط، میانگین باروری هندسی، شاخص تحمل به تنش، K_1STI و میانگین هارمونیک دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود که از این بین، بیشترین همبستگی را با شاخص میانگین هارمونیک (r=0.921) داشت. همچنین این صفت با شاخص حساسیت به تنش همبستگی منفی و معنی‌داری (r=-0.436) داشت. براساس نتایج فیروزی و همکاران (۱۰) عملکرد ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش با شاخص‌های STI، HM و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری و با شاخص SSI و TOL همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. بر اساس نظر فرناندز (۹) شاخصی که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش دارا باشد به‌طوری‌که باعث افزایش عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش شود، به عنوان بهترین شاخص معرفی می‌گردد. عملکرد دانه در شرایط نرمال بیشترین همبستگی را با شاخص K_1STI و عملکرد دانه در شرایط تنش بیشترین همبستگی را با میانگین باروری هندسی دارا بود. شاخص میانگین باروری هندسی بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با صفات عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش داشت. به‌طورکلی انتخاب براساس شاخص‌های میانگین بهره‌وری متوسط، میانگین باروری

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]

هندسی، شاخص تحمل به تنش و میانگین هارمونیک منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش می‌شود. زیرا این شاخص‌ها بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه در هر دو شرایط داشتند. نتایج سایر تحقیقات با نتایج بدست آمده از این پژوهش مطابقت داشت (۱، ۹، ۱۰، ۱۷، ۲۰، ۲۳). اهدایی و همکاران (۸) گزارش کردند که همبستگی بین شاخص حساسیت به تنش (SSI) با عملکرد دانه در شرایط تنش و شاخص برداشت، همبستگی منفی و معنی‌دار (به‌ترتیب، r=-0.83 و r=-0.84) داشت. نورمندموید (۱۸) گزارش کرد که شاخص STI و GMP در پیدا نمودن ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی مناسب هستند. بالاترین مقدار در مورد شاخص‌های MP و STI نشان دهنده ژنوتیپ‌های گروه A و پایین‌ترین مقدار در مورد MP و STI نشان دهنده ژنوتیپ‌های گروه D هستند. همچنین براساس شاخص SSI ژنوتیپ‌های گروه D و C براساس تقسیم‌بندی فرناندز (۹) از سایر گروه‌ها متمایز هستند.

جدول ۵- همبستگی شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط آبی و تنش خشکی

Table 5. Pearson correlation of drought tolerance indices in normal and drought stress conditions

صفت	عملکرد محیط آبی N	عملکرد محیط تنش S	TOL	MP	SSI	GMP	STI	K_1STI	HM
N	۱	۰/۶۵۶**	۰/۵۹۴**	۰/۹۲۷**	۰/۳۸۸**	۰/۹۱۳**	۰/۹۲۰**	۰/۹۹۵**	۰/۸۹۷**
S		۱	-۰/۲۱۸	۰/۸۹۱**	-۰/۴۳۶**	۰/۹۰۷**	۰/۸۹۲**	۰/۶۳۹**	۰/۹۲۱**
TOL			۱	۰/۲۴۹*	۰/۹۶۷**	۰/۲۱۴	۰/۲۳۹	۰/۶۰۶**	۰/۱۷۷
MP				۱	۰/۰۱۷	۰/۹۹۹**	۰/۹۹۶**	۰/۹۱۶**	۰/۹۹۷**
SSI					۱	-۰/۰۱۸	۰/۰۰۶	۰/۳۹۶**	-۰/۰۵۳
GMP						۱	۰/۹۹۶**	۰/۹۰۱**	۰/۹۹۹**
STI							۱	۰/۹۱۶**	۰/۹۹۵**
K1STI								۱	۰/۸۸۴**
HM									۱

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

تجزیه خوشه‌ای

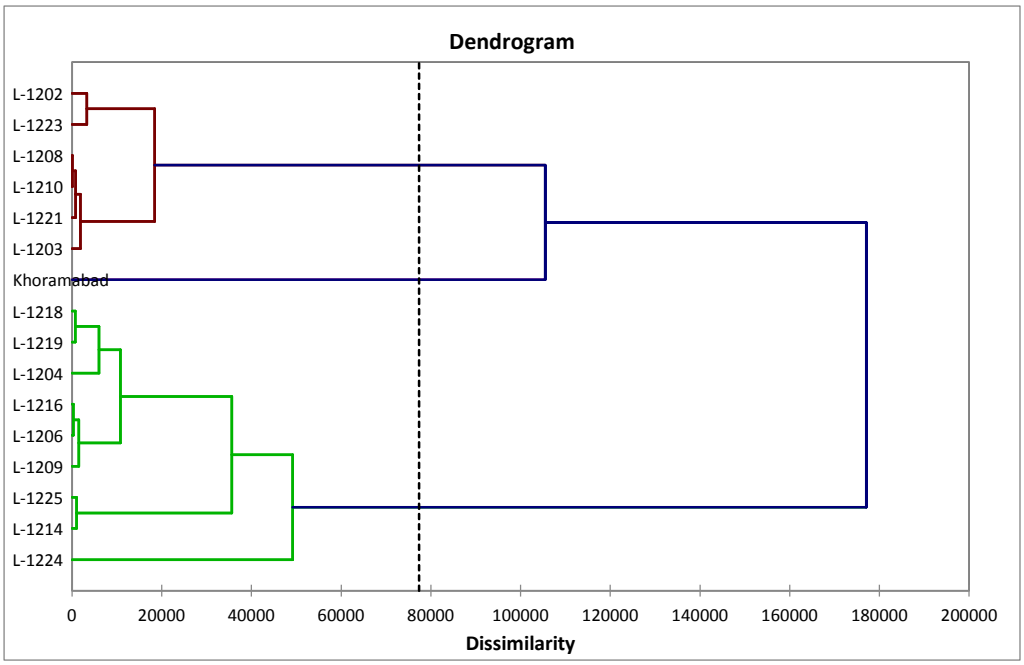
نتایج تجزیه خوشه‌ای برای صفت عملکرد در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به خشکی، گروه بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای انجام و نمودار درختی (دندروگرام) آن رسم شد. ماتریس فاصله براساس توان دوم فاصله اقلیدسی تشکیل شد. برش دندروگرام حاصل، براساس استراتژی قطع دندروگرام در سطحی که اختلاف بین سطوح گروه‌بندی زیاد باشد، انجام گرفت. بر این اساس ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه قرار گرفتند. سرپرست و همکاران (۲۳) در تحقیقی مشابه بر روی گیاه باقلا به این نتیجه رسیدند که باتوجه به اهداف به نژادی باقلا، ژنوتیپ‌های *Giza717* و *Aquadolce* به دلیل دارا بودن عملکرد بالا، وزن صد دانه بالاتر و پایداری عملکرد دانه برای کشت در استان گلستان مناسب بودند. در پژوهشی به منظور گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی لوبیا چشم بلبلی، تجزیه کلاستر برای ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص های تحمل به خشکی و عملکرد در دو شرایط نرمال و تنش خشکی انجام گرفت و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در چهار کلاستر گروه‌بندی شدند. همچنین اغلب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و دارای عملکرد بالا در کلاستر دوم و بیشتر ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی در کلاستر چهارم قرار گرفتند (۱۷). به منظور بررسی روابط بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام شاخص‌های تحمل به خشکی، تجزیه به مولفه‌های اصلی برای هر یک از سطوح تنش به طور جداگانه انجام شد. نتایج این تجزیه که در جدول ۶ مشخص است، نشان داد که بیشترین تغییرات داده‌ها بین مولفه‌های اول تا پنجم توجیه می‌گردد. و ۹۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها توسط مولفه اول و دوم توجیه و همبستگی مثبت و بالایی با صفت عملکرد دانه در شرایط نرمال، عملکرد در شرایط تنش، شاخص‌های MP، GMP، STI، K_1STI و HM داشت. در حالی‌که با شاخص TOL و SSI همبستگی مثبت و پایینی داشت. بنابراین مولفه اول به‌عنوان مولفه متحمل به تنش خشکی نام‌گذاری شد. این مولفه ارقام با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از لاین‌های با عملکرد پایین و حساس جدا نمود. چنین نتایجی در تحقیقات ابراهیمی (۷) نیز بدست آمد. مولفه دوم حدود ۲۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت و پایینی با MP و GMP داشت. در عملکرد در شرایط تنش و شاخص میانگین هارمونیک بیشترین تغییرات داده‌ها توسط مولفه پنجم، در شاخص‌های TOL و SSI بیشترین تغییرات توسط مولفه دوم توجیه و دارای ضرایب منفی بزرگ بود. پایین بودن شاخص‌های TOL و SSI نشان دهنده مقاومت به خشکی است. در شاخص‌های STI و K_1STI بیشترین تغییرات داده به ترتیب توسط مولفه‌های چهارم و سوم توجیه گردید. براساس نتایج بدست آمده بیشترین مقدار مقادیر ویژه مربوط به مولفه‌های اول و دوم بود و چون تنها این دو مولفه دارای مقادیر ویژه بیشتر از یک بودند از آنها در تفسیر نتایج استفاده شد. از آن جایی که مولفه اول تغییراتی را در برمی‌گیرد که توسط مولفه دوم تبیین نمی‌شود و به عبارتی دو مولفه مستقل از همدیگر هستند، دو مولفه به صورت دو محور عمود بر هم و به شکل یک نمودار بای پلات (Biplot) ترسیم شد (شکل ۲). در این نمودار ژنوتیپ‌ها در چهار ناحیه متمایز و براساس مقادیر دو مولفه گروه‌بندی شدند. به‌طورکلی در مورد هر دو شرایط نرمال و تنش مقادیر کم مولفه اول و زیاد مولفه دوم مطلوب است،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]

بنابراین ناحیه با عملکرد بالا و تحمل به خشکی، بخش بالا و راست نمودار است که شامل ژنوتیپ‌های شاهد، ۱۲۱۴و ۱۲۲۵ می باشد. قسمت پایین و سمت چپ نمودار شامل ژنوتیپ‌هایی است که عملکرد کم و حساسیت به خشکی زیادی دارند و ژنوتیپ‌های ۱۲۰۴، ۱۲۰۶، ۱۲۰۹ و ۱۲۱۶ را دربرمی‌گیرد.

نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد نشان داد که ژنوتیپ‌های khoramabad، ۱۲۱۴ و۱۲۰۲ برای شرایط نرمال و ژنوتیپ های khoramabad، ۱۲۲۳ و ۱۲۰۳ برای شرایط تنش بهترین ژنوتیپ‌ها بودند. به طور کلی براساس عملکرد در هر دو شرایط و شاخص‌های تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های khoramabad، ۱۲۲۳، ۱۲۱۴ و ۱۲۰۳ بهترین ژنوتیپ‌ها بودند. بررسی شاخص‌ها نشان داد که شاخص‌های GMP، MP، HM و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و با عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی داشتند. بنابراین می‌توان از آن‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده نمود. شاخص برداشت اولین صفتی بود که در شرایط تنش خشکی وارد مدل رگرسیونی شد، بنابراین برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و دارای عملکرد بالای باقلا، این شاخص مهمترین صفت بود.



شکل ۱- نمودار درختی حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط نرمال و تنش خشکی
Figure 1. Dendrogram obtained from cluster analysis based on tolerance indices in normal and drought stress conditions

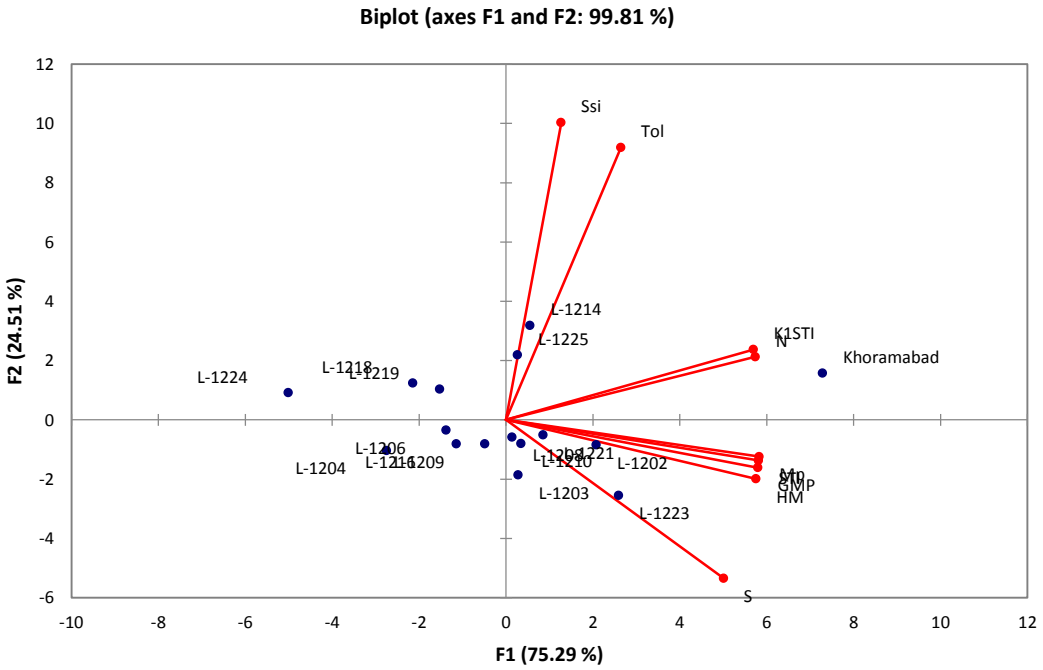
جدول ۶- تجزیه به مولفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط آبی و تنش خشکی
Table 6. PCA analysis for drought tolerance indices in normal and drought stress conditions

صفت	مولفه ۱	مولفه۲	مولفه۳	مولفه۴	مولفه ۵
عملکرد محیط آبیN	۰/۳۷۴	-۰/۱۷۸	۰/۰۶۶	-۰/۳۶۷	۰/۲۲۷
عملکرد محیط تنشS	۰/۳۲۶	۰/۳۵۳	۰/۲۳۶	-۰/۰۶۰	۰/۳۶۷
شاخص تحمل (TOL)	۰/۱۳۶	-۰/۶۰۶	-۰/۱۶۶	-۰/۴۱۱	-۰/۰۹۸
میانگین بهروری متوسط(MP)	۰/۳۸۷	۰/۰۶۸	۰/۱۵۷	-۰/۲۵۰	۰/۳۱۹
حساسیت به تنش(SSI)	۰/۰۴۷	-۰/۶۴۱	۰/۵۱۸	۰/۴۷۸	۰/۱۵۹
میانگین باروری هندسی(GMP)	۰/۳۸۵	۰/۰۹۱	۰/۲۱۵	-۰/۰۷۴	-۰/۲۱۷
شاخص تحمل به تنش (STI)	۰/۳۸۶	۰/۰۷۴	-۰/۲۹۴	۰/۶۱۲	۰/۲۳۱
شاخص تحمل به تنش اصلاح شده (K1STI)	۰/۳۷۱	-۰/۱۸۷	-۰/۶۴۲	۰/۱۱۰	-۰/۱۰۹
میانگین هارمونیک (HM)	۰/۳۸۳	۰/۱۱۴	۰/۲۷۳	۰/۱۰۲	-۰/۷۵۱
مقادیر ویژه	۶/۵۹	۲/۳۸	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۳
درصد واریانس نسبی	۰/۷۳۲	۰/۲۶۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
درصد واریانس تجمعی	۰/۷۳۲	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۱	۱

اعدادی که زیر آنها خط کشیده شده است دارای ارزش بیشتری در مولفه‌های اصلی هستند

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]



شکل ۲- نمایش بای‌پلات ۱۶ ژنوتیپ باقلا
Figure 2. Biplot of 16 faba been genotypes

منابع

1. Ahmadi, A. and A. Sio-Se Mardeh. 2003. Relationships among growth indices, drought resistance and yield in wheat cultivars of different climates of Iran under stress and non-stress conditions. Iranian J. Agricultural Science, 34(3): 667-669 (In Persian).
2. Ahmadi, J., R. Chaogan, H. Zainali Khanaghah and M.A. Rostami. 2000. Study of drought tolerance indices and Biplot method in eight corn hybrids. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 31(3): 513-523 (In Persian).
3. Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press. Boca Raton, FL. USA.
4. Bond, D.A., D.A. Lawes, G.C. Hawtin, M.C. Saxena and J.S. Stephens. 1985. Faba bean (*Vicia faba* L.). Grain legume crops, 199-265.
5. Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. Science, 218: 443-448.
6. Cubero, J.I. 1974. On the evolution of Vicia faba L. Theoretical and Applied Genetics, 45: 47-51.
7. Ebrahimi, M. 2002. Study of red and white beans for reaction to limited irrigation. M.Sc. Thesis. University of Tehran, Iran. (In Persian).
8. Ehdaie, B., J.G. Wains and A.E. Hall. 1988. Differential responses of landrace and improved spring wheat genotypes to stress environments. Crop Sci, 28: 838-842.
9. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop in temperature and water stress, Taiwan, 257-270 pp.
10. Firozi, B., O. Safalian, M. Shekarpour, A. Rasulzade and F. Ahmadpour. 2012. Evaluation of wheat spring genotypes using drought tolerance indices and PCA. The journal of environmental stresses in agriculture sciences, 5(2) (In Persian).
11. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1987; Drought resistance in spring wheat cultivar. I. Grain yield response. Australian journal of Amgriculture research, 29: 897-912.
12. Ghafori Iman, N.M., R. Bihamta, A.A. Zali, M. Afzali Mohamad Abadi and H.R. Dari. 2010. Studying the effects of drought stress on yield and determining the most appropriate drought tolerance index in red bean. The Journal of Plant Production, 7(4) (In Persian).
13. Hashemi, M. and S. Mohammadv. 2014. Evaluation of Grain Yield and Yield Components in Some Imported Faba bean Genotypes (*Vicia faba* L.). Journal of Crop Breeding, 8(18): 97-103 (In Persian).
14. Jain, M.P., P.V.A. Dixt and R.A. Khan. 1992. Effects of sowing date on wheat varieties under late irrigated condition. Indian Journal of Agricultural Science, 62: 669-672.
15. Kashiwagi, J., L. Krishnamurthy, J.H. Crouch and R. Serraj. 2006. Variability of root characteristics and their contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. Field Crops Res, 95: 171-181.
16. Link, W., A.A. Abdelmula, E.V. Kittlitz, S. Bruns, H. Riemer and D. Stelling. 1999. Genotypic variation for drought tolerance in Vicia faba. Plant breeding, 118(6): 477-484.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]

17. Mafakheri, K.H., M.R. Bihamta and A. Abasi. 2015. Selection for drought tolerance genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). Iranian Journal of Cereals, 6(2): 123-138 (In Persian).
18. Majnoon Hosseini, N. 1996. Food Legumes in Iran Jahad Daneshgahi Tehran Publication. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(3): 384-396.
19. Noormand-Moayyed, F. 2007. Evaluation of quantitative traits and their relationship with bread wheat yield in rain-fed and watered conditions and identifying the best drought resistance index. M.Sc. Of plant breeding thesis. Faculty of agriculture. University of Tehran, 127 pp (In Persian).
20. Passioura, J.B., A.G. Condon and R.A. Richards. 1993. Water deficits, the development of leaf area and crop productivity. In: Smith J.A.C., Griffiths H. (eds). Water deficits plant responses from cell to community. BIOS Scientific Publishers limited, Oxford, 253-264.
21. Pavvast, G. 2002. Growing Vegetables. 2nd edition. The Publication of Agricultural Sciences (In Persian).
22. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Sciences, 21: 943-946.
23. Sarparast, R., F. Sheikh and H. Saoghi. 2011. Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.), 2(1): 99-106 (In Persian).
24. Serraj, R., L. Krishnamurthy, J. Kashiwagi, J. Kumar, S. Chandra and J.H. Crouch. 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. Field Crops Research, 88(2): 115-127.
25. Shafazadeh, M.K., A. Yazdansepas, A. Amini and M.R. Ghannadha. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Seed Plant Improve, 20(1): 57-71 (In Persian).
26. Shahryari, R., F. Gurbanov, A. Gadimov and D. Hassanpanah. 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after an thesis. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(10): 1330-1335.
27. Sharifi1, P., H. Astereki and M.R. Safari Motlagh. 2013. Evaluation of Genotype, Environment and Genotype×Environment Interaction Effects on Some of Important Quantitative Trits of Faba Bean (*Vicia faba* L.). Journal of Crop Breeding, 6(13): 73-88 (In Persian).
28. Vaezi, Sh. 2015. Evaluation of drought tolerance in some lentil genotypes to drought in the region in Golden Ardbyl. Iranian Journal of Agronomy, 28(3): 43-52 (In Persian).
29. Zabet, M., A.H. Hosseinzadeh, A. Ahmadi and F. Khialparast. 2003. Effects of drought stress on the different characteristics and determine the best index Drought resistance in gram. Iranian Journal of Agriculture Science, 34(4): 889-898 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]

Evaluation of Faba Bean Genotypes using Drought Tolerance Indices and Multivariate Statistical Methods

Behzad Boshagh[1], Hossein Astraki[2] and Payam Pezashkipour[3]

1- Graduated M.Sc. of Agronomy and plant breeding, Faculty of Agriculture, Payam Noor, Karaj, Iran (Corresponding Author: Boshagh.behzad@yahoo.com)
2- Researcher of Plant Improvement Agriculture and Natural Resources Research Station of Lorestan Agricultural Jihad Organization of research, education and extension
3- Research assistant, Seed and Plant Improvement Department, Lorestan Agricultural and Natural Research Resources, and Education Center, AREEO, Khoramabad, Iran
Received: March 2, 2016 Accepted: December 12, 2017

Abstract

The present study was conducted to investigate the genetic diversity and evaluate the drought tolerance indices on 16 genotypes of faba been based on split plot design with three replications in Agricultural Research Center of Borujerd. Irrigation regimes as the including normal and drought stress levels and genotypes were considered as the main and sub plot,respectively. Analysis of variance for yield in normal conditions (N), yield under drought stress (S), and drought tolerance indices including tolerance index (TOL), mean productivity index (MP), harmonic mean index (HM), stress susceptibility index (SSI), geometric mean productivity index (GMP), mean productivity (MP) and modified stress tolerance index (K_1STI) showed that the genotype effects for these parameters were significant ($P\leq0.01$). Hence, genotype selection according to MP, GMP, TOL and HM indices led to selection of outstanding genotypes in two conditions (normal and stress). Cluster analysis of genotypes were divided into three groups. According to PCA analysis 73.2 % of data variations were justified by first component, and it had a high and positive correlation with grain yield in normal and stress conditions, MP, GMP, STT, K_1STI, and HM, while there was a low and positive correlation with TOL and SSI. There is found that a positive and significant correlation for yield in normal condition with yield under drought stress and drought tolerance indices ($p\leq0.01$). It had a maximum correlation with K_1STI ($r=0.995$). GMP had a highest positive correlation with grain-yield in normal and stress conditions, therefore, it is considered as the more appropriate index. Results indicated that selection based on GMP, resulted in choosing the brilliant genotypes in normal and stress conditions.

Keywords: Cluster Analysis, Drought Stress, Drought Tolerance Indices, Faba Been, Principal Component Analysis

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jcb.10.27.1]