

Evaluation of Performance Stability of chickpea Genotypes Using AMMI, BLUP, MTSI and MGIDI Indexes

Payam Pezeshkpour^{1*} , Reza Amiri², Adel Jahangiri³

Received: February 6, 2024

Accepted: April 23, 2024

1-Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.

2-Assist. Prof., Crop and Horticultural Sciences Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.

3-Researcher, Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension (AREEO), Kermanshah, Iran.

Corresponding Author: Email: Papezeshkpour@yahoo.com

Abstract

Background & Objectives: Chickpea is considered one of the most important legumes due to their protein percentage and high nutritional value. Multi-trait stability selection (MTSI) helps to better evaluate plant genotypes and achieve more accurate results. This research was done to identify stable and high-yielding chickpea genotypes.

Material and Methods: In this study, thirteen advanced chickpea genotypes were evaluated along with two check varieties (Mansour and Bivanij) based on randomized complete block design with three replications at Sarab Changai Agricultural and Natural Resources Research Station Khoramabad Lorestan for three crop years (2020-2022). Seeds were sown in four lines of four meters in length and 30 cm between the lines. grain yield, 100-seed weight, plant height, number of days to 50% flowering, number of days to maturity, grain filling rate and grain filling period, rainfall efficiency, grain yield formation rate, and single seed weight were measured for each genotype in different years. All statistical analyses were performed using the “Metan” and “GGE” multi-environmental analysis packages in R software.

Results: The mosaic diagram showed that the contribution of the sum of squares of genotype and the genotype $\times$ environment in the total sum of squares was 29.97 and 36.79%, respectively. The Likelihood Ratio Test (LRT) showed that the effect of genotype by environment interactions (GEI) was significant on grain yield, 100-seed weight, plant height, number of days to flowering, number of days to maturity, grain filling rate and grain filling period. The Scree test showed that the first two principal components had a significant contribution to the GEI matrix derived from BLUP, as the first and second principal components explained 69.5% and 30.58% of the GEI variation respectively.

Conclusion: In general, based on the results of all methods and simultaneous selection based on grain yield stability and all measured traits (MTSI), genotypes 2(X010TH163K2) and 12(X010TH72K2) were stable and superior genotypes, compared to the average of the total traits of the genotypes.

Keywords: Single Value Decomposition (SVD), Multi- trait Stability Index (MTSI), Simultaneous Selection, Mosaic Plot, Heatmap Plot



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Payam Pezeshkpour Email: Papezeshkpour@yahoo.com

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.58098.3103>





ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های نخود بر اساس شاخص‌های مبتنی بر مدل‌های

MGIDI و MTSI، BLUP، AMMI

پیام پزشکپور^{۱*}، رضا امیری^۲، عادل جهانگیری^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

۳- مربی، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: Papezeshkpour@yahoo.com

چکیده

مقدمه و اهداف: نخود به واسطه درصد پروتئین و ارزش تغذیه‌ای زیاد، یکی از حبوبات مهم محسوب می‌شود. گزینش پایداری چند صفتی به ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌های گیاهی و دستیابی به نتایج دقیق‌تر کمک می‌کند. این پژوهش برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پر محصول نخود انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ۱۳ ژنوتیپ پیشرفته نخود همراه با رقم شاهد منصور و توده محلی بیونچ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سراب چنگائی خرم آباد (لرستان) به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۸-۱۴۰۱)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. کاشت بذرها در چهار خط به طول چهار متر و به فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین خطوط انجام شد. عملکرد دانه، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، بهره‌وری از بارش، سرعت تشکیل عملکرد دانه و وزن تک دانه در سال‌های مختلف برای هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد. تمام تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی با نام Metan و GGE در نرم‌افزار R انجام شد.

یافته‌ها: نمودار موزائیکی نشان داد که سهم مجموع مربعات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (سال) در مجموع مربعات کل به ترتیب ۲۹/۹۷ و ۳۶/۷۹ درصد بود. آزمون نسبت درست‌نمایی نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ در سال بر عملکرد دانه، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پر شدن دانه سرعت پر شدن دانه، بهره‌وری از بارش، سرعت تشکیل عملکرد دانه و وزن تک دانه معنی‌دار بود. آزمون اسکریت نشان داد دو مؤلفه اصلی اولیه سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس ژنوتیپ در محیط حاصل از داشتند، به‌طوری که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۶۹/۵ و ۳۰/۵ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند.

نتیجه‌گیری: در مجموع، بر اساس نتایج کل روش‌ها و انتخاب همزمان بر اساس پایداری عملکرد دانه و همه صفات اندازه‌گیری شده، ژنوتیپ‌های شماره ۲ (X010TH163K2) و ۱۲ (X010TH72K2) ژنوتیپ‌هایی پایدار و برتر نسبت به میانگین کل ژنوتیپ‌ها بودند.

واژه‌های کلیدی: پایداری چندصفتی، تجزیه مقادیر منفرد، گزینش همزمان، نمودار گرمایی، نمودار موزائیکی

مقدمه

نخود نقش به سزایی در تغذیه انسان و محیط زیست و کاهش اتکا به منابع تجدیدناپذیر و مواد شیمیایی و بهبود حاصلخیزی خاک داشته (سارکر ۲۰۱۱) و به دلیل توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، از نظر اکولوژیکی به عنوان یک سیستم تثبیت نیتروژن شناخته می شود و بنابراین نقش آن در تناوب زراعی و حاصلخیزی خاک بسیار مؤثر است (وارشنی و همکاران ۲۰۱۷). دلایل اولیه کاهش کشت نخود عدم وجود ارقام اصلاح شده است (لوسییا و همکاران ۲۰۲۲). پژوهشگران در به نژادی گیاهان زراعی به دنبال تلفیق پایداری با عملکرد دانه بالا برای دستیابی به ژنوتیپ های پایدار و دارای عملکرد بالا هستند. یکی از دلایل محدودیت در گسترش نخود کشت بذر توده ها و ارقام محلی می باشد که دارای پایداری ضعیف در شرایط مختلف محیطی هستند (جهانگیری و همکاران ۲۰۱۵). عملکرد دانه صفت کمی پیچیده ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می گردد و شدیداً تحت تأثیر محیط (سال یا مکان) قرار دارد و همچنین صفات بسیاری به تنهایی یا با هم، بر آن اثر می گذارند. بنابراین، انتخاب ژنوتیپ های مطلوب تنها بر اساس عملکرد سودمند نیست و چنانچه انتخاب بر اساس سایر صفات تأثیرگذار بر آن انجام شود، بسیار مفید خواهد بود (شریفی و همکاران ۲۰۱۷).

به طور کلی در برنامه های اصلاحی، گزینش بر اساس یک صفت، به عنوان یک راهبرد مناسب تلقی نمی گردد، زیرا هیچ اطمینانی از دستاوردهای ژنتیکی در سایر صفات مهم وجود ندارد (جاهوفر و کاسلر ۲۰۱۵). از این رو، به نژادگران اغلب تلاش دارند که صفات مطلوب مختلف را در یک ژنوتیپ جدید با عملکرد بالا، تجمع نمایند (اولیوتو و ناردینو ۲۰۲۰). برای این منظور، چندین شاخص برای انتخاب ژنوتیپ های برتر پیشنهاد شده است که از آن جمله می توان به شاخص چندصفتی جدیدی به نام MGIDI اشاره کرد که بر اساس تجزیه و تحلیل عاملی و فاصله از ایدئوتیپ معرفی شده است (اولیوتو و ناردینو ۲۰۲۰). شاخص پایداری چندصفتی^۱ نیز برای شناسایی ژنوتیپ های پربازده و مطلوب از نظر

صفات زراعی در آزمایشات چندمحیطی، به عنوان یکی از جدیدترین و کاربردی ترین شاخص های آماری معرفی شده است (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). این شاخص، یک شاخص انتخاب است که علاوه بر عملکرد دانه، صفات دیگری را نیز در نظر می گیرد (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a) که چنانچه همبستگی آن ها با عملکرد بالا باشد، انتخاب به نحو مؤثرتری انجام خواهد شد (اوتراپون و همکاران ۲۰۲۱). این شاخص مبتنی بر تحلیل عاملی می باشد که نمرات عامل های هر ایدئوتیپ، با توجه به فاکتورهای مطلوب و نامطلوب طراحی شده است. بر اساس فاصله ژنوتیپ - ایدئوتیپ، یک احتمال فضایی^۲ محاسبه می شود که رتبه بندی ژنوتیپ ها را ممکن می سازد. از این رو، ژنوتیپ دارای کمترین مقدار MTSI، به ایدئوتیپ نزدیک تر است و میانگین عملکرد و ثبات بیشتری را در همه متغیرهای تحلیل شده نشان می دهد (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a).

از طرفی، یکی از مطالعات مهم در اصلاح نباتات و بررسی های به نژادی، شناخت اثر متقابل بین ژنوتیپ ها با محیط های گوناگون است. در تجزیه و تحلیل داده های مزرع ای حاصل از آزمایش ها، محیط می تواند به عنوان هرگونه عملیات مدیریتی مانند تاریخ کاشت، تراکم کاشت، کاربرد کود، سیستم های خاک ورزی و ... که جهت تولید کنندگان توصیه می شود، تعریف گردد (بالالیچ و همکاران ۲۰۱۲). وجود برهمکنش ژنوتیپ در محیط در آزمایش های ناحیه ای بسیاری از گیاهان زراعی نشان می دهد که پایداری عملکرد همراه با میانگین عملکرد بالا، باید به عنوان یک جنبه مهم آزمایش های مقایسه عملکرد در نظر گرفته شود، زیرا برهمکنش ژنوتیپ در محیط، می تواند هرگونه پیشرفت ناشی از گزینش را کاهش دهد (شریفی ۲۰۲۰).

پژوهشگران روش های زیادی برای تجزیه پایداری ارائه داده اند که به دو دسته کلی پارامتری (تک متغیره یا چند متغیره) و ناپارامتری تقسیم می شوند. در بین روش های چند متغیره می توان روش های اثرات اصلی

² Spatial probability¹ MTSI

زراعی (۱۴۰۱-۱۳۹۸)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. تاریخ کاشت بسته به وضعیت بارندگی مؤثر در سه سال زراعی، از نیمه دوم آذر ماه انجام شد.

زمین مورد کشت تحت تناوب غلات - حبوبات دیم بود. برای تهیه زمین هر سال پیش از کشت، از گاوآهن چیزل مرکب برای شخم زدن استفاده شد و سپس با دیسک زدن، کلوخ شکنی انجام شد. اطلاعات هواشناسی و نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس آزمون خاک و توصیه کارشناسان بخش تحقیقات خاک و آب، کود شیمیایی به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۲۵ کیلوگرم در هکتار اوره، به هنگام عملیات تهیه زمین، به طور یکنواخت با خاک مخلوط گردید. بذره‌های ارقام و ژنوتیپ‌های آزمایش قبل از کاشت به منظور جلوگیری از بیماری‌های قارچی، با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضد عفونی شدند. میزان بذر مصرفی ۵۰ دانه در متر مربع تعیین شد (زالی و همکاران، ۲۰۰۹). کاشت بذرها در چهار خط به طول چهار متر و به فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین خطوط (۴/۸ متر مربع) انجام شد. قبل از برداشت، دو خط کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای دو خط وسط حذف و مابقی هر کرت (۱/۸ متر مربع) برداشت شد. مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از کولتیواتور دستی در دو مرحله در طول دوره رشد رویشی انجام شد. عملکرد دانه، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، بهره‌وری از بارش، سرعت تشکیل عملکرد دانه و وزن تک دانه در سال‌های مختلف برای هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته از میانگین پنج بوته در هر کرت اندازه‌گیری گردید. تعداد روز تا رسیدگی، از تاریخ کاشت تا ۹۵٪ رسیدگی دانه با استفاده از دسکریپتور نخود محاسبه شد (IBPGR ۱۹۹۳). فاصله زمانی بین ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک به عنوان طول دوره پر شدن دانه در نظر گرفته شد (محمدی و همکاران ۲۰۰۶). از حاصل تقسیم میانگین وزن تک دانه بر طول دوره پر شدن دانه، میانگین سرعت پر شدن دانه به میلی‌گرم دانه در روز، به دست آمد (محمدی و همکاران ۲۰۰۶). سرعت

جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر^۱ و GGE بای‌پلات را نام برد (رایت و لافونت ۲۰۱۸). در سال‌های اخیر، روش بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی^۲ که میانگین‌ها را با دقت بالا، به ویژه در مدل‌های مختلط تخمین می‌زند نیز برای ارزیابی داده‌های آزمایش‌های چندمحیطی به کار گرفته شده است (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). مدل آماری BLUP راهکاری برای توانایی پیش‌بینی بهتر است که در آن بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی بر روی ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط تخمین زده می‌شود و تجزیه پایداری به روش AMMI بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام می‌شود (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a). در هنگام وجود اثر مختلط خطی، این روش پتانسیل پیش‌بینی دقیق اثرات تصادفی را فراهم می‌کند (اسمیت ۱۹۳۶). در روش ارائه شده توسط اولیوتو و همکاران (۲۰۱۹a) برای بهره‌گیری از مزایای دو روش AMMI و BLUP، با مدل اثرهای مختلط خطی، یک ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط به دست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با تجزیه ارزش منفرد، یک معیار پایداری ژنوتیپی به نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی معرفی شد که حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a).

هدف از پژوهش حاضر، تعیین ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا و مطلوب از نظر صفات حائز اهمیت در ژنوتیپ‌های نخود با بهره‌گیری از شاخص‌های مبتنی بر مدل‌های AMMI، BLUP، MTSI و MGIDI بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش برای دستیابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول و سازگار با شرایط آب و هوایی خرم آباد به صورت کشت پائیزه انجام شد. تعداد ۱۳ ژنوتیپ پیشرفته نخود که از آزمایشات مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های پیشرفته نخود در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه رقم شاهد منصور و توده محلی بیونج در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سراب چنگائی خرم آباد (لرستان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت سه سال

² BLUP

¹ AMMI

شدت بیماری با استفاده از شاخص ۹ درجه‌ای پیشنهاد شده توسط کونگو و همکاران (۲۰۰۴) ثبت گردید (جدول ۱). در این مقیاس تیپ‌های آلودگی ۰-۳ شدت بیماریزایی کم (مقاوم) و ۴-۹ شدت بیماری زایی بالا (حساسیت) را نشان داده است.

از کمیت‌های پایداری WAASBi و WAASBYi برای کمی‌سازی پایداری با رابطه‌های ۱ و ۲ بهره گرفته شد.

$$WAASBi = \frac{\sum_{k=1}^p |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^p EP_k} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$WAASBY_i = \frac{\left\{ W_Y \times \left[\left(\frac{GY_i}{GY_{max}} \right) \times 100 \right] \right\} + \left[W_S \times \left(100 - \frac{WAASBi}{WAASB_{min}} \right) \right]}{W_Y + W_S} \quad \text{رابطه (۲)}$$

کمترین مقدار WAASB مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها است.

تمام تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی با نام Metan3 (اولیوتو و لوسیو ۲۰۲۰) و GGE (رایت و لافونت ۲۰۱۸) در نرم‌افزار R انجام شد. برای تعیین کمیت پایداری ژنوتیپی، از تجزیه مقادیر منفرد^۴، روی ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (BLUP) برهمکنش‌های ژنوتیپ در محیط^۵ با یک مدل اثر مختلط خطی^۶ استفاده شد. اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده^۷ برآورد شدند و برای ارزیابی معنی‌داری اثرهای تصادفی، آزمون نسبت درست‌نمایی (LRT^۸) به کار گرفته شد. انتخاب هم زمان برای میانگین عملکرد و پایداری بر اساس چند صفت با استفاده از نمرات به دست آمده از یک تجزیه عاملی اکتشافی انجام شد. تخمین شاخص پایداری چند صفتی، بر طبق رابطه ۳ انجام شد (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a).

$$MTSI_i = \left[\sum_{j=1}^f (F_{ij} - F_j) \right]^{0.5}$$

پایداری چند صفتی با استفاده از نرم افزار R محاسبه گردید. رتبه بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی به صورت صعودی بر اساس شاخص پایداری MTSI و نقاط قوت

تشکیل عملکرد دانه از تقسیم عملکرد دانه بر تعداد روز تا رسیدگی و بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز) اندازه‌گیری شد (فروزی و همکاران ۲۰۱۶). از تقسیم وزن دانه‌های یک بوته بر تعداد دانه‌ها، متوسط وزن تک دانه محاسبه گردید (جودی و عبادی ۲۰۱۵). شاخص بهره‌وری از بارش^۱ از تقسیم عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار بر میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه بر حسب میلی‌متر محاسبه گردید (اویس و هاچوم ۲۰۰۳).

که در آن، WAASBi، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ i ام، $IPCA_{ik}$ ، نمره ژنوتیپ i ام در K امین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA)، و EP_k ، مقدار واریانس توجیه شده توسط K امین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدار در نظر گرفته می‌شود (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a). انتخاب همزمان برای میانگین عملکرد و پایداری (MPE) ۲ با شاخص WAASBY انجام شد که در آن به میانگین عملکرد (Y) و شاخص پایداری (WAASB) وزن داده می‌شود و WAASBYi، میانگین وزنی WAASB و عملکرد دانه (GY) برای ژنوتیپ i ام، W_Y ، وزن داده شده به متغیر پاسخ (در این مورد، عملکرد دانه)، GY_i ، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ i ام با توجه به تمام محیط‌ها، GY_{max} ، بالاترین متوسط عملکرد دانه مشاهده شده، W_S ، وزن نسبت داده شده به شاخص پایداری (در این مورد، شاخص WAASB)، WAASBi، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ i ام و WAASBmin،

رابطه (۳)

مقادیر ویژه، واریانس نسبی، تجمعی و نیز ضرایب عاملی پس از چرخش وریماکس در تجزیه به عامل‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای تعیین شاخص

⁵ GEI

⁶ LMM

⁷ Restricted maximum likelihood (REML)

⁸ Likelihood Ratio Test

¹ Rain water productivity

² - Mean performance and stability, MPE

³ Multi environment trial analysis

⁴ SVD

و ضعف ژنوتیپ‌های منتخب به عنوان نسبت هر عامل در شاخص پایداری MTSI مشخص گردید. علاوه بر این، پیش‌بینی دیفرانسی گزینش و بازده گزینش برای صفات مؤثر بر اساس شاخص پایداری MTSI با استفاده از نرم افزار R محاسبه گردید. برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از شاخص MGIDI استفاده شد. این شاخص بر اساس جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های صفات مورد بررسی با استفاده از بسته "Metan" در نرم افزار R محاسبه گردید

(اولیوتو و ناردینو ۲۰۲۰). تحلیل عاملی (FA) برای محاسبه کاهش ابعاد داده‌ها و ساختار روابط انجام شد. با انجام تجزیه واریانس AMMI با استفاده از نرم افزار R، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط (سال) به دست آمد و با رسم بای پلات‌های آن‌ها، سازگاری عمومی و خصوصی ارقام تعیین شد. برای هر یک از ارقام، BLUP به صورت مجموع میانگین کلیه محیط‌ها و اثر ژنوتیپی پیش‌بینی شد.

جدول ۱- اسامی ارقام و ژنوتیپ‌های پیشرفته نخود و ارزیابی مقاومت به بیماری‌های فوزاریوم (FU) و برق زندگی (AB)

کد	ژنوتیپ	FU	AB
G1	FLIP09-319C	3	1
G2	FLIP09-331C	3	1
G3	FLIP09-402C	3	1
G4	X010TH72K2	1	1
G5	X010TH72K3	1	1
G6	X010TH104K1	3	1
G7	X010TH115K1	1	1
G8	X010TH121K1	1	1
G9	X010TH123K1	1	1
G10	X010TH163K2	1	1
G11	Hashem/FLIP0078CIDKER-2010-SKER-OKERK2	3	1
G12	FLIP07-125C	1	1
G13	FLIP97-149C	1	1
G14	MANSOR	1	1
G15	BIVANIJ	3	5

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی‌های اقلیمی مناطق اجرای آزمایش

سال زراعی			ویژگی‌های اقلیمی و نتایج تجزیه خاک
۱۴۰۰-۴۰۱	۱۳۹۹-۴۰۰	۱۳۹۸-۹۹	
۳۰۷	۳۰۵	۵۲۴	متوسط میزان بارندگی (میلی‌متر)
۴۰	۵۰	۴۲	تعداد روزهای یخبندان در سال (روز)
۲۸/۲	۱۶/۵	۲۸/۷	متوسط حداکثر درجه حرارت مطلق (سانتی‌گراد)
۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۵۱	شوری (دس زمینس بر متر)
۰/۹۹	۱/۰۵	۱/۴۸	درصد کربن آلی
۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۳۹	درصد ازت کل
۲۶۵	۳۱۰	۲۷۰	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸/۳	۷/۶	۸/۶	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)
لومی رسی	لومی رسی	لومی رسی	بافت خاک

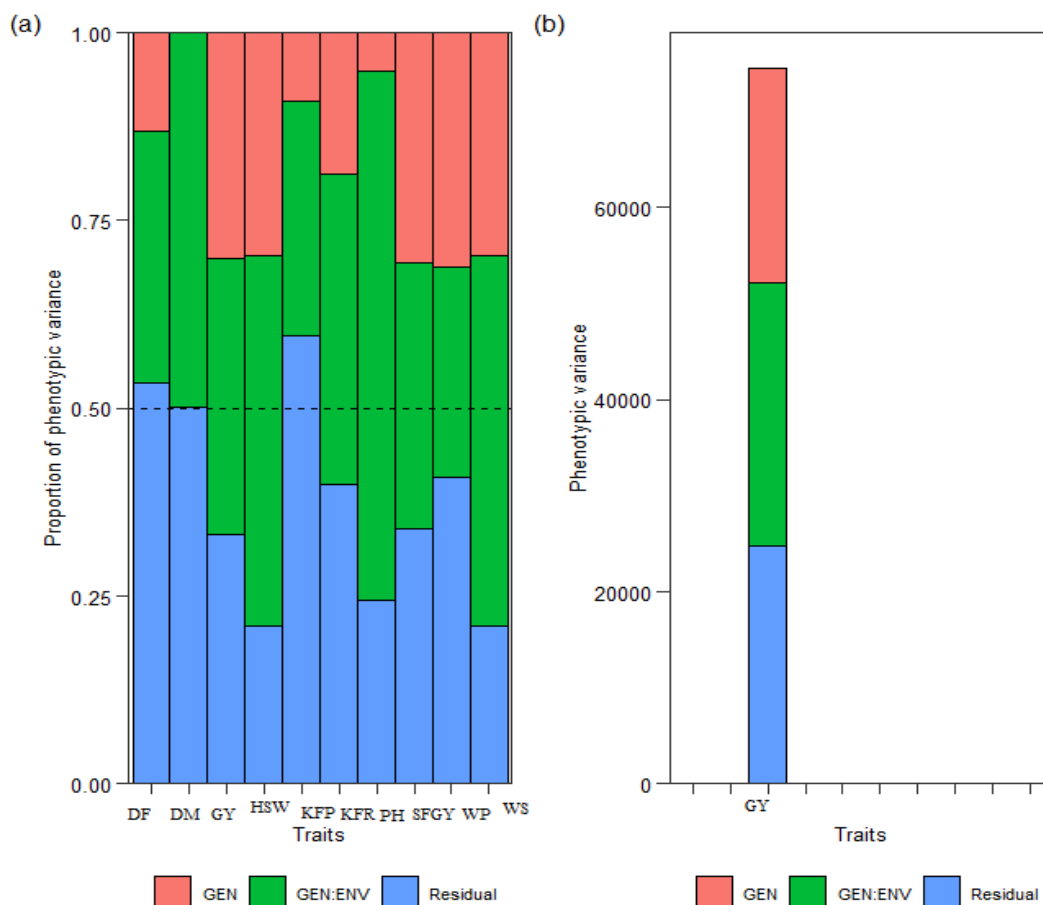
نتایج و بحث

برای صفات اندازه‌گیری شده، واریانس‌های برآورد شده به سه جزء واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ در

سال و باقیمانده تفکیک شد (شکل ۱). بر اساس تجزیه داده‌های آزمایشی به روش خطی مخلوط، واریانس فنوتیپی عملکرد دانه به سه جزء واریانس ژنوتیپی،

شکل ۱، ۳۶/۷۹ درصد از واریانس فنوتیپی عملکرد دانه توسط برهمکنش ژنوتیپ در سال توجیه شد. حال آنکه اثر ژنوتیپ، توجیه کننده ۲۹/۹۷ درصد از واریانس برآورد شده بود. همچنین ۳۳/۲۴ درصد از واریانس فنوتیپی توسط اثر باقیمانده توجیه گردید. همانطور که ملاحظه می‌شود واریانس ژنوتیپی پایین‌ترین سهم را از واریانس فنوتیپی برای عملکرد دانه داشت. این موضوع حاکی از تأثیر پایین ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفتند.

برهمکنش ژنوتیپ × محیط و باقیمانده تفکیک شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بر اساس آزمون نسبت درست‌نمایی، اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط بیانگر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های (سال‌های) مختلف بود. از این رو، در چنین شرایطی استفاده از تجزیه BLUP می‌تواند نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را به همراه داشته باشد (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). بر اساس اطلاعات



شکل ۱- نسبت مؤلفه‌های واریانس برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود در آزمایش‌های چندمحیطی

(Gen: ژنوتیپ، Env: محیط) (a) و واریانس فنوتیپی برآورد شده برای عملکرد دانه (b)

عملکرد دانه (GY)، وزن صد دانه (HSW)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی (DF)، تعداد روز تا رسیدگی (DM)، دوره پر شدن دانه (KFP)، سرعت پر شدن دانه (KFR)، بهره‌وری از بارش (WP)، سرعت تشکیل عملکرد دانه (SFSY) و وزن تک دانه (WS)

ویژگی‌های خاک، مقدار و پراکنش بارندگی و سایر عوامل قابل توجیه است. واریانس‌های برآورد شده سایر صفات

اثر باقیمانده عمدتاً به اثر سال مربوط می‌شود که با توجه به تفاوت‌های زیاد بین سال‌های آزمایشی از نظر

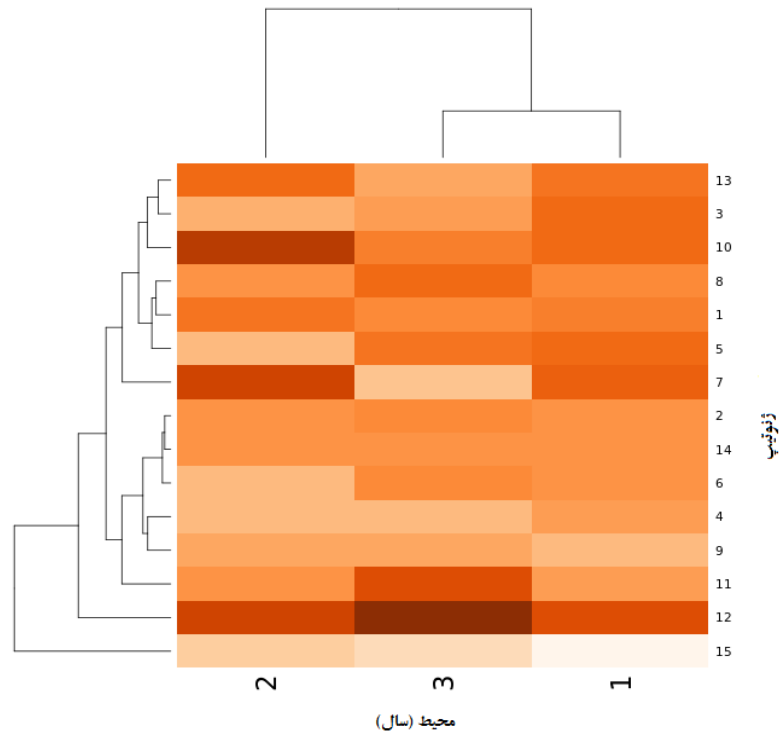
در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج تحقیقات در مورد گیاه ذرت (برانکوویچ - رادویچیچ و همکاران ۲۰۱۸) و گیاه باقلا (تکالیگن ۲۰۱۷) نیز نشان داده است که بخش عمده واریانس توسط اثر محیط توجیه می‌شود.

برای پی بردن به پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف، از نمودار گرمایی استفاده شد (شکل ۲ - الف). در این نمودار، ژنوتیپ دارای عملکرد یکنواخت در تمام سال‌ها می‌تواند پایدار باشد. براین اساس، ژنوتیپ‌های ۱، ۸، ۱۲ و ۲ را می‌توان پایدار در نظر گرفت. در این نمودار، عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر سال بیانگر تنوع درون آن سال است، به طوری که هر اندازه رنگ‌های مربوط به ژنوتیپ‌های درون یک سال متفاوت‌تر باشند، بیانگر گوناگونی بین ژنوتیپ‌های درون آن سال است (کریمی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). در سال سوم ژنوتیپ‌ها از تنوع عملکردی بیشتری برخوردار بودند. از طرف دیگر، می‌توان از تفاوت عملکرد هر ژنوتیپ در سال‌های مختلف برای بیان تنوع در بین سال‌ها استفاده کرد؛ به طوری که ژنوتیپ‌های ۱۳ و ۱۵ دارای تنوع بیشتر در سال‌های مطالعه شده بودند (شکل ۲ - الف). بررسی چشمی پراکنش میانگین ژنوتیپ‌ها در سال‌های مطالعه شده نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف از نظر عملکرد دانه در یک محیط (سال) و همچنین تفاوت میانگین آن‌ها از محیطی (سالی) به محیط (سال) دیگر است که نشان می‌دهد گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر پایه عملکرد دانه در یک مکان (سال)، از اعتبار بالایی برخوردار نیست و باید برای به دست آوردن یک نتیجه درست، ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف در یک مکان و یا مکان‌های مختلف در چند سال ارزیابی شوند تا پایداری آن‌ها برآورد شود (فیئلی و ویلکینسون ۱۹۶۳).

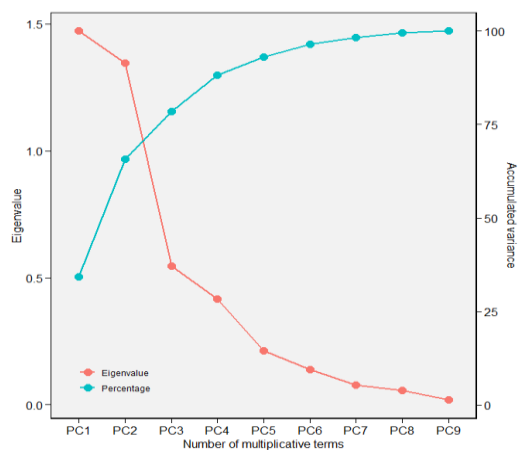
پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های نخود را در محیط‌های مختلف گزارش کرده‌اند (حسن و دب ۲۰۱۷، کریمی‌زاده و همکاران ۲۰۲۱، سلامی و

همکاران ۲۰۲۱). پیش از تجزیه پایداری، با بهره‌گیری از نمودار موزائیکی، اجزای مجموع مربعات کل (TSS)، شامل مجموع مربعات ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE) از یکدیگر جدا شدند. در این نمودار که به وسیله لافونت و همکاران (لافونت و همکاران ۲۰۰۷) پیشنهاد شده است، مساحت مربع نمودار، ۱۰۰ درصد مجموع مربعات کل است. نواحی تیره رنگ، تنوع برآمده از اثرات ژنوتیپی یا اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد که در این تحقیق ۲۹/۹۷ درصد تنوع کل است و ناحیه‌های با رنگ روشن، تنوع ناشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط (سال) را نشان می‌دهد که ۳۶/۷۹ درصد از تغییرات کل را در برمی‌گیرد (شکل ۲ - ب).

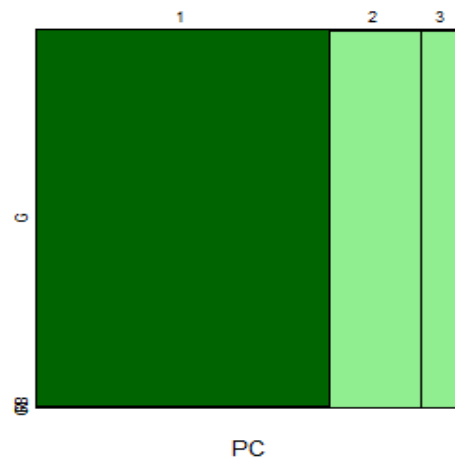
ستون‌های این نمودار بیانگر محورهای مؤلفه اصلی است، به گونه‌ای که ستون اول در برگزیده ۶۹/۵ درصد از کل مساحت مربع است و اولین مؤلفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم، ۳۰/۵ درصد از مجموع مربعات کل را در برگرفته است. این دو مؤلفه اصلی، با هم ۱۰۰ درصد از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهند. بنابراین با توجه به سهم بالای برهمکنش ژنوتیپ در محیط (سال) در این دو مؤلفه اصلی، به نظر می‌رسد که تجزیه پایداری بر پایه دو مؤلفه اصلی اول و دوم، خالی از اشکال می‌باشد (کریمی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). آزمون اسکریت نیز برای شناساندن بهترین شمار مؤلفه‌های توجیه کننده برهمکنش ژنوتیپ در محیط نیز به کار برده شد (کریمی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰) که نشان داد مؤلفه اصلی دوم هر کدام از مؤلفه‌ها سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس برهمکنش ژنوتیپ در محیط (سال) حاصل از BLUP داشتند (شکل ۲ - الف و شکل ۲ - ج)، به طوری که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۶۹/۴۶ و ۳۰/۵۴ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه نمودند. بنابراین می‌توان گفت که تفسیر نتایج تجزیه پایداری فقط بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم معتبر و خالی از نتایج اشتباه می‌باشد.



الف



ج



ب

شکل ۲- برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI): الف- نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها (سال‌ها) بر اساس تفاوت رنگ و تنوع ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها (سال)، ب- نمودار موزائیکی جهت نمایش سهم مؤلفه‌ها از واریانس G+GE و ج- ریشه مشخصه ماتریس GEI

آزمون نسبت درست نمایی (Likelihood ratio test, LRT) برای ارزیابی معنی‌داری فاکتورهای آزمایشی به کار

از آنجا که در تجزیه داده‌های این آزمایش از مدل مختلط خطی (Mixed linear model) استفاده شده بود،

برده شد و نشان داد که اثر ژنوتیپ بر صفات عملکرد دانه، وزن صد دانه، سرعت تشکیل عملکرد دانه، بهره وری از بارش و وزن تک دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین اثر برهمکنش ژنوتیپ در محیط (سال) بر عملکرد دانه، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پرشدن دانه، سرعت پرشدن دانه، بهره‌وری از بارش، سرعت تشکیل عملکرد دانه و وزن تک دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ در محیط، بیانگر این است که عملکرد دانه یک ژنوتیپ ممکن است از سالی به سال دیگر متفاوت باشد. بنابراین، تجزیه BLUP برای تجزیه چنین داده‌هایی

مناسب است (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). از این‌رو، بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (BLUP ها) برآورد شد و تجزیه پایداری به روش AMMI بر روی این BLUP ها انجام گردید. پژوهشگران دیگری نیز برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط را بر عملکرد دانه و اجزای آن در نخود با تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات گزارش نموده‌اند (حسن و دب ۲۰۱۷، کریمی‌زاده و همکاران ۲۰۲۱، سلامی و همکاران ۲۰۲۱، الیوتو و ناردینو ۲۰۲۱، رینا و همکاران ۲۰۱۹، زالی و همکاران ۲۰۱۲).

جدول ۳- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده برای صفات مطالعه شده

آماره	عملکرد دانه							
	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ارتفاع بوته	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	تعداد روز تا رسیدگی
	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	تعداد روز تا گلدهی
کای اسکوتر (X ²)	۵/۶۱۹۱*	۲۶/۷۲۱۸**	۴/۴۹۲*	۵۵/۳۲۸*	۰/۱۵۰ ^{ns}	۶۵/۶۷۸**	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۲۷/۵۳۱**
								۱/۵۷۷۶ ^{ns}
								۱۳/۵۸۵۲**

ادامه جدول ۳

آماره	دوره پرشدن دانه							
	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	سرعت پر شدن دانه	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	سرعت تشکیل عملکرد دانه
	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	ژنوتیپ× محیط	ژنوتیپ	بهره‌وری از بارش
کای اسکوتر (X ²)	۰/۸۷۹ ^{ns}	۱۰/۶۹۰**	۲/۴۷۸۹ ^{ns}	۲۴/۸۴۲۹**	۵/۹۷۳۲*	۲۴/۹۵۶۰**	۷/۰۲۹۳**	۱۵/۰۸۶۳**
								۴/۴۹۲*
								۵۵/۳۲۸**

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

در جدول ۴ برخی از پارامتری‌های ژنتیکی شامل واریانس ژنوتیپ، واریانس ژنوتیپ در محیط (سال)، واریانس باقیمانده و واریانس فنوتیپی به روش درست‌نمایی محدود شده برآورد شده‌اند و نسبت آن‌ها به واریانس فنوتیپی برای این سه جزء به ترتیب ۲۹/۹۷، ۳۶/۷۹ و ۳۳/۲۴ درصد بود (جدول ۴). کمترین (۰/۰۰۱۴) و بیشترین (۷۴۴۳۷) واریانس فنوتیپی که به وسیله

واریانس باقیمانده توجیه می‌گردد، به ترتیب مربوط به صفات متوسط وزن تک دانه و عملکرد دانه بود (جدول ۴). همچنین کمترین (۲۷/۸۹) و بیشترین (۷۰/۵۴) واریانس برهمکنش ژنوتیپ× محیط (سال) به صفات بهره‌وری از بارش و ارتفاع بوته اختصاص داشت. برآورد اجزای واریانس ژنتیکی و سایر پارامترهای مرتبط با آن نشان داد که در بین صفات مختلف بیشترین

سهم واریانس ژنتیکی در توجیه واریانس فنوتیپی مرتبط به صفات بهره‌وری از بارش (۳۱/۲۳ درصد)، سرعت تشکیل عملکرد دانه (۳۰/۲۹ درصد)، وزن صد دانه (۲۹/۶۳ درصد)، متوسط وزن تک دانه (۲۹/۶ درصد) و عملکرد دانه (۲۹/۲۷ درصد) بود.

میزان وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه نخود در این پژوهش ۲۹/۹ درصد بود (جدول ۴) که بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر، بخش اعظمی از تغییرات عملکرد دانه ناشی از تأثیر عوامل ژنتیکی یعنی رقم بود. دقت‌گزینش در محدوده بالا (۰/۸۱) قرار داشت (جدول ۴). این آماره همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). دقت‌گزینش بالای صفات نشان‌دهنده پایایی مدل در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود. برآورد وراثت‌پذیری نقش مهمی را در پیشرفت برنامه‌های به‌نژادی در جهت شناسایی و توصیه ژنوتیپ‌ها ایفا می‌کند (بناکاناهالی و همکاران، ۲۰۲۱، اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). در واقع وراثت‌پذیری یک مفهوم آماری است که درجه تنوع در یک صفت فنوتیپی

را که ناشی از تنوع ژنتیکی بین افراد است را برآورد می‌کند. اگر وراثت‌پذیری صفتی کمتر از ۰/۲ باشد، نشان‌دهنده وراثت‌پذیری پایین، اگر بین ۰/۲ تا ۰/۵ باشد، دارای وراثت‌پذیری متوسط و اگر بیش از ۰/۵ باشد، از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار است.

ضریب تبیین برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) و میزان وراثت‌پذیری بر میانگین به‌ترتیب برابر ۰/۳۷ و ۰/۶۵ درصد بود (جدول ۴). دقت‌گزینش ژنوتیپ و همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی در سراسر محیط‌ها به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۵۲ بود (جدول ۴). همچنین، ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات باقیمانده و همچنین نسبت این دو ضریب تغییرات به‌ترتیب برابر با ۱۲/۰۹، ۱۲/۷۳ و ۰/۹۵ درصد بود. برای افزایش دقت پیش‌بینی، یکی از گزینه‌های پیش‌روی به‌نژادگران، بهره‌گیری از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر همچون بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) است که تجزیه پایداری به روش AMMI می‌تواند بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a).

جدول ۴- پارامترهای برآورد شده به روش درست‌نمایی محدود شده REML +

عملکرد دانه	وزن صد دانه	ارتفاع بوته	تعداد روز تا رسیدگی	تعداد روز تا گلدهی
۲۲۳۲۱	۴/۲۶۸	۰/۹۳۴۹	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۳۱۴۵	۰/۴۵۸۷
۲۹/۹۷)*	(۲۹/۶۳)	(۵/۰۸۸)	(۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱۰۴۷)	(۱۳/۰۵)
۲۷۴۰۰	۷/۱۰۶	۱۲/۹۶	۱/۴۹۵	۱/۱۷۹
۳۶/۷۹)	(۴۹/۳۴)	(۷۰/۵۴)	(۴۹/۷۷)	(۳۳/۵۶)
۲۴۷۵۱	۳/۰۲۹	۴/۴۷۸	۱/۵۰۹	۱/۸۷۶
۳۳/۲۴)	(۲۱/۰۳)	(۲۴/۳۷)	(۵۰/۲۳)	(۵۳/۳۹)
۷۴۴۷۳	۱۴/۴	۱۸/۳۸	۳/۰۰۵+۰۰	۳/۵۱۴
۰/۲۹۹۷	۰/۲۹۶۳	۰/۰۵۰۹	۱/۰۵۵-۰۰۹	۰/۱۳۰۵
۰/۳۶۷۹	۰/۴۹۳۴	۰/۷۰۵۴	۴/۹۸۵-۰۰۱	۰/۳۳۵۶
۰/۶۵۲۶	۰/۶۱۲۱	۰/۱۶۲۵	۴/۷۲۵-۰۰۹	۰/۴۳۲۶
۰/۸۰۷۸	۰/۷۸۲۳	۰/۴۰۳۱	۶/۸۷۵-۰۰۵	۰/۶۵۷۷
۰/۵۲۵۴	۰/۷۰۱۱	۰/۷۴۳۲	۴/۹۸۵-۰۰۱	۰/۳۸۶
۱۲/۰۹	۶/۰۳۹	۲/۲۲۶	۳/۳۸۵-۰۰۵	۰/۵۱۳۹
۱۲/۷۳	۵/۰۸۸	۴/۸۹۴	۷/۴۰۵-۰۰۱	۱/۰۳۹
۰/۹۴۹۶	۱/۱۸۷	۰/۴۵۶۹	۴/۵۷۵-۰۰۵	۰/۴۹۴۴

*: اعداد داخل پرانتز درصد واریانس می باشند

واریانس ژنوتیپی

واریانس ژنوتیپ در محیط

واریانس مقادیر باقیمانده

واریانس فنوتیپی

وراثت‌پذیری عمومی

ضریب تشخیص اثرهای GEI

وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی

دقت‌انتخاب ژنوتیپ

همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیط‌ها

ضریب تغییرات ژنوتیپی

ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده

نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده

ادامه جدول ۴

وزن تک دانه	بهره‌وری از بارش	سرعت تشکیل عملکرد دانه	سرعت پر شدن دانه	دوره پر شدت دانه	
۰/۰۰۰۴۲۶۸	۰/۱۳۶۰	۰/۸۰۱۵	۳۴۳۵	۰/۵۲۸۰	واریانس ژنوتیپی
(۲۹/۶۳)	(۳۱/۲۳)	(۳۰/۶۹)	(۱۸/۷۴)	(۹/۰۵۲)	
۰/۰۰۰۷۱۰۶	۰/۱۲۱۵	۰/۹۲۳۱	۰/۷۵۴۱	۱/۸۲۴	واریانس ژنوتیپ در محیط
(۴۹/۳۴)	(۲۷/۸۹)	(۳۵/۳۵)	(۴۱/۳۶)	(۳۱/۲۷)	
۰/۰۰۰۳۰۲۹	۰/۱۷۸۰	۰/۸۸۷۰	۰/۷۳۱۳	۳/۴۸۱	واریانس مقادیر باقیمانده
(۲۱/۰۳)	(۴۰/۸۸)	(۳۳/۹۶)	(۳۹/۹۰)	(۵۹/۶۸)	
۰/۰۰۱۴۴	۰/۴۳۵۵	۲/۶۱۲	۱/۸۳۳	۵/۸۳۳	واریانس فنوتیپی
۰/۲۹۶۳	۰/۳۱۲۳	۰/۳۰۶۹	۰/۱۸۷۴	۰/۰۹۰۵	وراثت‌پذیری عمومی
۰/۴۹۳۴	۰/۲۷۸۹	۰/۳۵۳۵	۰/۴۱۳۶	۰/۳۱۲۷	ضریب تشخیص اثرهای GEI
۰/۶۱۲۱	۰/۶۹۳	۰/۶۶۳۶	۰/۵۰۷	۰/۳۴۶۷	وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی
۰/۷۸۲۳	۰/۸۳۲۵	۰/۸۱۴۶	۰/۷۱۲۱	۰/۵۸۸۸	دقت انتخاب ژنوتیپ
۰/۷۰۱۱	۰/۴۰۵۵	۰/۵۱۰	۰/۵۰۹	۰/۳۴۳۸	همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیط‌ها
۶/۰۳۹	۱۱/۴۷	۱۲/۱۴	۵/۷۹۸	۲/۱۲۸	ضریب تغییرات ژنوتیپی
۵/۰۸۸	۱۳/۱۲	۱۲/۷۷	۸/۴۶	۵/۴۶۵	ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده
۱/۱۸۷	۰/۸۷۴۱	۰/۹۵۰۶	۱/۸۳۳	۰/۳۸۹۵	نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده

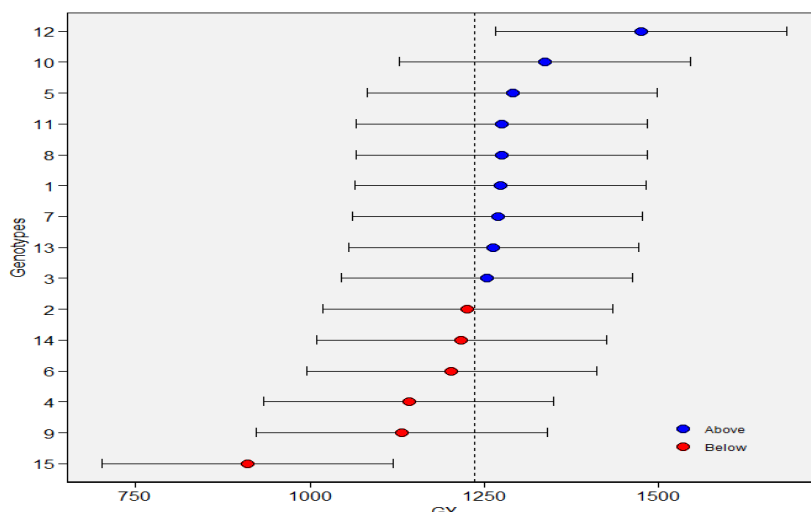
بسیاری از تلاش‌ها در گام‌های نهایی برنامه‌های به‌نژادی بر آزمایش‌های چند محیطی استوار است. از این‌رو، دقت پیش‌بینی برای گزینش درست ژنوتیپ‌ها، توصیه ژنوتیپ‌ها و شناسایی محیط‌های کلان بسیار مهم است (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). تجزیه واریانس جداگانه در هر کدام از سال‌ها نشان داد که در دو سال یا محیط، اثر ژنوتیپ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (داده‌ها ارائه نشده است). سه گزینه اصلی برای افزایش دقت پیش‌بینی در آزمایش‌های چند محیطی، بهبود تکنیک‌های آزمایشی (همچون بهره‌گیری از طرح‌هایی با اندازه و شکل ایده‌آل، پیاده کردن درست طرح‌ها در منطقه آزمایشی و کاربرد یکنواخت مدیریت زراعی)، افزایش تعداد تکرارها (با استفاده از طرح‌های مناسب همچون طرح‌های چند عاملی) و استفاده از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر هستند (گاچ و زوبل ۱۹۸۸، اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b).

در شکل ۳، میانگین‌های پیش‌بینی شده عملکرد دانه با روش BLUP نشان داده شده است که بیانگر آن است که بالاترین عملکرد پیش‌بینی شده با روش BLUP برای ژنوتیپ ۱۲ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۱۰، ۵، ۱۱، ۸، ۱، ۷،

۱۳ و ۳ بود که دارای عملکرد پیش‌بینی شده بیشتر از میانگین کل بودند. ژنوتیپ ۳ عملکرد پیش‌بینی شده بسیار نزدیک به میانگین داشت و کمترین پیش‌بینی عملکرد با فاصله زیاد از میانگین کل، مربوط به ژنوتیپ ۱۵ (توده محلی بیونیچ) بود. در مورد دیگر، رقم شاهد یعنی ژنوتیپ ۱۴ (رقم منصور) نیز پیش‌بینی عملکردی بالاتر از میانگین داشت. برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در مدل‌های مختلط از جمله مزیت‌های عمده روش BLUP می‌باشد (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b). افزون بر این، در صورتی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، BLUP امکان پیش‌بینی بهینه اثرهای تصادفی را امکان‌پذیر می‌سازد (اسمیت و همکاران ۲۰۰۵). روش BLUP کارایی خود را در بهبود دقت پیش‌بینی اثرهای تصادفی ثابت کرده است. ادغام دو روش BLUP و AMMI موجب افزایش کارایی هر دو روش می‌شود و یافته‌های حاصل از آزمایش‌های چند محیطی دقیق‌تر تفسیر خواهند شد (آجی و سینگ ۲۰۲۱). روش BLUP این ویژگی را دارد که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط، تخمین می‌زند (ناردینو و همکاران ۲۰۱۶، اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹b، اولیوتو و همکاران

همکاران ۲۰۱۶) و نیشکر (باربوسا و همکاران ۲۰۱۴)، روش‌های مبتنی بر BLUP در ارزیابی کارایی ژنوتیپ‌ها و پیش‌بینی دقیق اجزای واریانس ژنوتیپی مؤثر بوده‌اند.

۲۰۱۹a). در روش BLUP، در وهله نخست، اثرهای مدل ANOVA تخمین زده می‌شوند و سپس وزن‌هایی به این اثرها داده می‌شود. در گیاهان زراعی مانند ذرت (بارتا و

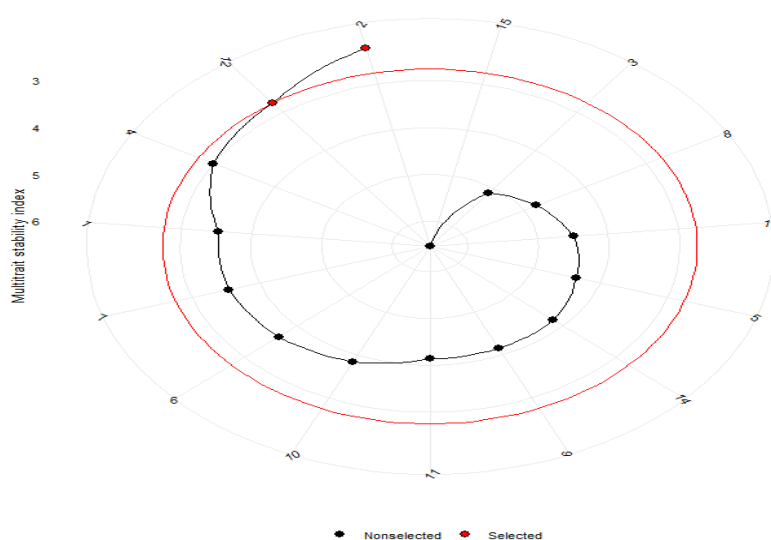


شکل ۳- عملکرد دانه پیش‌بینی شده ژنوتیپ‌های نخود بر پایه بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP)

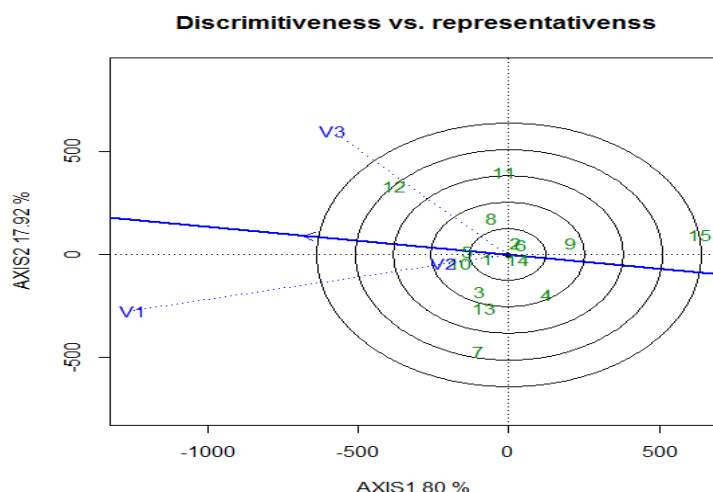
انتخاب ژنوتیپ توسط MTSI با توجه به ارزش صفات در ژنوتیپ‌ها، یعنی صفاتی که نمود خوبی دارند، مهم است (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a). پایه تجزیه عاملی برای محاسبه شاخص MTSI این است که در یک چارچوب چندصفقی، مقادیر WAASBY صفت‌ها ممکن است به نوعی با توجه به یک ساختار همبستگی که از قبل ناشناخته است، با یکدیگر وابستگی داشته باشند. بنابراین، تجزیه عاملی اکتشافی^۱، برای پاسخ به این ساختار همبستگی استفاده می‌شود (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a). با استفاده از تجزیه عاملی اکتشافی، شناسایی تعداد فاکتور، ارتباط بین عوامل و چگونگی ارتباط متغیرها با این عوامل امکان‌پذیر است (اولهام ۲۰۰۶). سرانجام، برآورد نمرات فاکتور نهایی امکان‌پذیر از چند هم‌خطی، یک مسئله سیستمیک در تجزیه‌های چندمتغیره را فراهم می‌آورد (الیوتو و ناردینو ۲۰۲۱).

در شکل ۴، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص پایداری چند صفتی انجام شده است که در آن، ژنوتیپ‌های ۲ و ۱۲ به عنوان ژنوتیپ‌های برگزیده، مشخص شده است. دایره قرمز نقطه برش را نشان می‌دهد (شکل ۴). ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱۲ که به این حلقه (دایره قرمز شکل ۴) نزدیک بود، در تمام روش‌های ارزیابی بر اساس عملکرد و پایداری (GGE Biplot و WAASBY) جزو ژنوتیپ‌های پایدار بودند (شکل ۵). برای معرفی یک رقم جدید زراعی، علاوه بر عملکرد دانه، ویژگی‌های زیاد دیگری نیز در نظر گرفته می‌شوند که بیشتر آن‌ها با یکدیگر و با عملکرد دانه همبستگی بالایی دارند و انتخاب ژنوتیپ توسط MTSI با توجه به ارزش صفات در ژنوتیپ‌ها، یعنی صفاتی که نمود خوبی دارند، نیز مهم است (اولیوتو و همکاران ۲۰۱۹a).

¹ EFA



شکل ۴- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های انتخاب شده بر پایه شاخص پایداری چند صفتی (MTSI)



شکل ۵- نمای قدرت تمایز و نمایندگی محیط‌ها یا مقیاس‌بندی مبتنی بر محیط. PC1 و PC2، به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند (V1، V2 و V3 به ترتیب نشانگر محیط‌های اول، دوم و سوم اجرای آزمایش و شماره‌های سبزرنگ، ژنوتیپ‌ها می‌باشند)

سه عامل یا فاکتور (FA) قرار گرفتند. صفات عملکرد دانه، تعداد روز تا رسیدگی، سرعت تشکیل عملکرد دانه و بهره‌وری از بارش در عامل اول، صفات وزن صد دانه، سرعت پرشدن دانه و وزن تک دانه در عامل دوم و صفات ارتفاع بوته و تعداد روز تا گلدهی در عامل سوم، به ترتیب بیشترین سهم را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

تجزیه عاملی بر اساس صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که سه مؤلفه اصلی در مدل باقی ماندند که واریانس تجمعی این سه مؤلفه ۷۸/۴۶ درصد بود (جدول ۵). پس از چرخش واریماکس، میانگین میزان اشتراک (۰/۷۹۹) بود و به این معنی است که عوامل می‌توانند بخش بزرگی از واریانس هر متغیر را توضیح دهند. مقادیر WAASBY هر یک از ۱۰ صفت در

جدول ۵- مقادیر هر یک از صفات اندازه گیری شده در سه عامل اول تحلیل عاملی

صفات	عامل اول FA1	عامل دوم FA2	عامل سوم FA3	میزان اشتراک	واریانس خاص
عملکرد دانه	-۰/۹۲۵	-۰/۰۶۲	۰/۱۹۶	۰/۸۹۸	۰/۱۰۲
وزن صد دانه	-۰/۱۹۹	-۰/۹۵۸	۰/۰۰۵	۰/۹۵۷	۰/۰۴۳
ارتفاع بوته	-۰/۲۲۲	۰/۲۹۸	۰/۵۵۰	۰/۴۴۰	۰/۵۶۰
تعداد روز تا رسیدگی	-۰/۰۶۶	-۰/۲۹۶	۰/۸۵۵	۰/۸۲۴	۰/۱۷۶
تعداد روز تا گلدهی	-۰/۷۴۹	-۰/۳۷۴	-۰/۱۹۵	۰/۷۳۹	۰/۲۶۱
دوره پر شدن دانه	-۰/۴۵۳	-۰/۴۵۷	-۰/۱۷۸	۰/۴۴۶	۰/۵۵۴
سرعت پر شدن دانه	۰/۲۸۶	-۰/۹۲۰	۰/۱۱۱	۰/۹۴۰	۰/۰۶۰
سرعت تشکیل عملکرد دانه	-۰/۹۴۱	-۰/۰۲۷	۰/۲۲۰	۰/۹۳۴	۰/۰۶۶
بهره‌وری از بارش	-۰/۹۱۴	۰/۱۳۱	-۰/۰۱۷	۰/۸۵۳	۰/۱۴۷
وزن تک دانه	-۰/۱۹۹	-۰/۹۵۸	۰/۰۰۵	۰/۹۵۷	۰/۰۴۳
مقادیر ویژه	۱/۴۷	۱/۳۵	-۰/۵۴۸		
سهم	۳۴/۳۱	۳۱/۳۸	۱۲/۷۷		
تجمعی	۳۴/۳۱	۶۵/۶۹	۷۸/۴۶		

با توجه به میانگین کل صفات در جدول ۶، در بین ده صفت زراعی ارزیابی شده، مقادیر مشاهده شده ژنوتیپ‌های منتخب (X_s) برای تمامی صفات مورد مطالعه بجز روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی، بالاتر از میانگین بود (X_0) (جدول ۶). همچنین، حداقل و حداکثر دیفرانسیل انتخاب^۱ به ترتیب مربوط به صفات تعداد روز تا گلدهی

(۰/۴۷-) و عملکرد دانه (۱۷۵) بود که این می‌تواند روشنگری را برای اصلاح نخود به ارمغان بیاورد. با توجه به شاخص WAASBY (جدول ۶)، دیفرانسیل انتخاب ارتفاع بوته و تعداد روز تا رسیدگی مثبت مشاهده شد و اختلاف انتخاب از ۶/۱ تا ۲۳/۷ متغیر بود که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های انتخاب شده پایدار بودند.

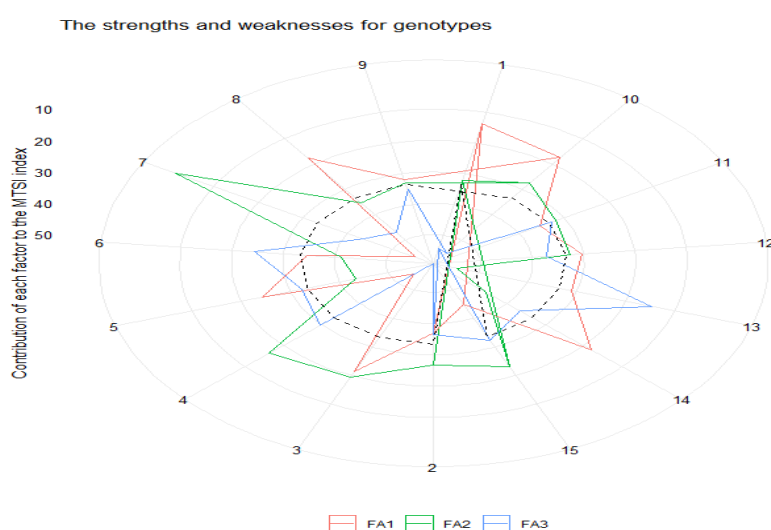
جدول ۶- دیفرانسیل انتخاب شاخص WAASBY برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود

صفات	عامل	X_0	X_s	SD	SD%	میانگین کل صفات				Stability (WAASBY)		
						میانگین کل (X_0)	ژنوتیپ‌های انتخابی (X_s)	میانگین انتخاب (SD)	دیفرانسیل انتخاب (SD)	دیفرانسیل انتخاب درصد (SD%)	وراثت پذیری	هدف
عملکرد دانه	۱	۱۲۳۶/۰	۱۴۱۰/۰	۱۷۵/۰	۱۴/۲۰	۶۳/۳	۷۶/۹	۱۳/۶	۲۱/۵	۰/۲۹۹	افزایش	
وزن صد دانه	۲	۳۴/۲	۳۶/۲	۲/۰۲	۵/۹۲	۵۰/۷	۷۱/۶	۲۰/۹	۴۱/۳	۰/۲۹۶	افزایش	
ارتفاع بوته	۳	۴۳/۲	۴۶/۸	۳/۵۹	۸/۳۰	۵۲/۴	۷۶/۰	۲۳/۷	۴۵/۲	۰/۰۵۱	افزایش	
روز تا رسیدگی	۳	۱۶۶/۰	۱۶۶/۰	۰/۵۶	۰/۳۴	۵۲/۰	۶۴/۴	۱۲/۳	۲۳/۷	۰/۰۰۱	کاهش	
روز تا گلدهی	۱	۱۳۲/۰	۱۳۱/۰	-۰/۴۷	-۰/۳۵	۵۶/۸	۶۸/۹	۱۲/۱	۲۱/۳	۰/۱۳۱	کاهش	
دوره پر شدن دانه	۲	۳۴/۱	۳۵/۲	۱/۰۳	۳/۰۰	۴۹/۲	۶۷/۸	۱۸/۷	۳۸/۰	۰/۰۹۱	افزایش	
سرعت پر شدن دانه	۲	۱۰/۱	۱۰/۴	-۰/۲۶	۲/۶۱	۵۲/۹	۶۸/۰	۱۵/۱	۲۸/۶	۰/۱۸۷	افزایش	
سرعت تشکیل عملکرد دانه	۱	۷/۴	۸/۴	۱/۰۲	۱۳/۸۰	۶۶/۰	۷۶/۳	۱۰/۴	۱۵/۷	۰/۳۰۶	افزایش	
بهره‌وری از بارش	۱	۳/۲	۳/۷	-۰/۴۸	۱۴/۸۰	۵۶/۱	۶۲/۲	۶/۱	۱۰/۹	۰/۳۱۲	افزایش	
وزن تک دانه	۲	۰/۳	۰/۴	-۰/۰۲	۵/۹۲	۵۰/۷	۷۱/۶	۲۰/۹	۴۱/۳	۰/۲۹۶	افزایش	

^۱ SD%

میانگین برخی از خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در جدول ۷ نشان داده شده است. از نظر تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارقام و ژنوتیپ‌ها در محدوده ۱۳۰-۱۳۳ روز قرار داشتند، که کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G1 (FLIP09-319C) و بیشترین آن مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۶، ۱۳ و ۱۵ بود. از نظر تعداد روز تا رسیدگی نیز تفاوت سه روز در محدوده ۱۶۴-۱۶۷ بین ارقام و ژنوتیپ‌ها مشاهده شد (جدول ۷). ژنوتیپ G10 با کمترین زمان رسیدن (۱۶۴ روز)، زودرس‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. تغییرات ارتفاع بوته ارقام و ژنوتیپ‌ها نیز در محدوده بین ۳۹ تا ۴۷ سانتی‌متر بود. کمترین ارتفاع بوته (۳۹/۶ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ G10 و بیشترین ارتفاع بوته (۴۷ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ G2 بود. وزن صد دانه ارقام و ژنوتیپ‌ها با میانگین ۳۴/۲ گرم بین ۳۰/۸ تا ۳۹/۵ گرم متغیر بود. بیشترین وزن صد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های G2 (۳۶/۸ گرم) و G7 (۳۹/۵ گرم) بود. ژنوتیپ G12 دارای بیشترین بهره‌وری از بارش (۴/۲ کیلوگرم بر میلی‌متر) بود و کمترین بهره‌وری از بارش (۲/۱۵ کیلوگرم بر میلی‌متر) مربوط به توده محلی بیونج (G15) بود. بیشترین سرعت تشکیل عملکرد دانه (۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار در روز) مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۲ بود.

شاخص فاصله ژنوتیپ - ایدئوتیپ چند صفتی^۱ یک شاخص چندصفتی دیگر و مبتنی بر تجزیه عاملی است که بر اساس فاصله هر کدام از ژنوتیپ‌ها از ژنوتیپ ایده‌ال، برآورد می‌شود. در شکل ۶ کاربرد شاخص فاصله ژنوتیپ - ایدئوتیپ چندصفتی در گزینش ژنوتیپ‌های برتر نخود نشان داده شده است. ژنوتیپ شماره ۱ در عامل اول (FA₁)، ژنوتیپ شماره ۷ در عامل دوم (FA₂) و ژنوتیپ شماره ۱۳ در عامل سوم (FA₃) که به لبه شکل نزدیک‌تر می‌باشند، دارای بالاترین ظرفیت تولید و پایداری می‌باشند (شکل ۶). سهم فاکتورها در MGIDI به دو عنوان شامل عوامل کمک کننده کمتر و بیشتر طبقه‌بندی شدند. عواملی که سهم بیشتری دارند، در نزدیکی مرکز ترسیم قرار دارند، در حالی که عوامل کمک کننده کمتر، به سمت لبه ترسیم قرار داشتند (الیوتو و ناردینو ۲۰۲۱). پذیرش شاخص‌های MTSI و MGIDI در مطالعات ارزیابی پایداری آینده برای به حداقل رساندن محاسبات غیر ضروری شناخته شده است (یو و همکاران ۲۰۲۲). بنابراین، توصیه ارقام برتر در مطالعات اصلاح نباتات در مورد محصولات زراعی آسان خواهد بود.



شکل ۶- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های انتخاب شده بر پایه شاخص فاصله ژنوتیپ - ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI)

^۱ MGIDI

جدول ۷- میانگین خصوصیات زراعی ژنوتیپ های مورد بررسی در محیط های مورد آزمایش

عملکرد نسبت به میانگین کل (%)	عملکرد نسبت به شاهد توده محلی بیونینج (%)	عملکرد نسبت به شاهد منصور (%)	متوسط وزن تک دانه (g)	بهره وری از بارش kg.mm^{-1}	سرعت تشکیل عملکرد دانه $\text{kg.ha}^{-1} \text{d}^{-1}$	سرعت پر شدن دانه (میلی گرم در دانه در روز)	دوره پر شدن دانه (d)	تعداد روز تا رسیدگی گلدهی	تعداد روز تا گلدهی	ارتفاع بوته (cm)	وزن صد دانه (g)	عملکرد دانه Kg.ha^{-1}	ژنوتیپ
۱۰۴/۷	۱۷۵/۵	۱۰۷/۲	-۰/۳۴	۳/۴	۷/۷	۹/۷	۳۶	۱۶۶	۱۳۰	۴۶/۰	۳۴/۴	۱۲۹۳/۳	G1
۹۸/۸	۱۶۵/۶	۱۰۱/۱	-۰/۳۷	۳/۲	۷/۲	۱۰/۵	۳۵	۱۶۷	۱۳۱	۳۹/۶	۳۶/۸	۱۲۲۰/۴	G2
۱۰۲/۳	۱۷۱/۴	۱۰۴/۷	-۰/۳۶	۳/۲	۷/۵	۱۰/۲	۳۶	۱۶۷	۱۳۱	۴۰/۳	۳۶/۴	۱۲۶۳/۶	G3
۸۸/۳	۱۴۸	۹۰/۴	-۰/۳۵	۲/۸	۶/۵	۱۱/۰	۳۲	۱۶۵	۱۳۳	۴۰/۶	۳۵/۳	۱۰۹۰/۹	G4
۱۰۶/۷	۱۷۸/۹	۱۰۹/۳	-۰/۳۵	۳/۴	۷/۸	۱۰/۱	۳۵	۱۶۶	۱۳۱	۴۱/۳	۳۴/۷	۱۳۱۸/۵	G5
۹۵/۹	۱۶۰/۸	۹۸/۲	-۰/۳۷	۳/۱	۷/۱	۱۱/۳	۳۳	۱۶۶	۱۳۳	۴۱/۳	۳۶/۷	۱۱۸۵/۴	G6
۱۰۴/۰	۱۷۴/۴	۱۰۶/۵	-۰/۳۹	۳/۲	۷/۷	۱۱/۸	۳۴	۱۶۵	۱۳۱	۴۲/۰	۳۹/۵	۱۲۸۵/۸	G7
۱۰۴/۸	۱۷۵/۷	۱۰۷/۳	-۰/۳۱	۳/۴	۷/۸	۸/۸	۳۵	۱۶۶	۱۳۱	۴۲/۳	۳۰/۸	۱۲۹۴/۸	G8
۸۷/۰	۱۴۵/۹	۸۹/۱	-۰/۳۱	۲/۸	۶/۵	۹/۵	۳۳	۱۶۵	۱۳۲	۴۳/۰	۳۱/۳	۱۰۷۵/۶	G9
۱۱۲/۸	۱۸۸/۶	۱۱۵/۲	-۰/۳۳	۳/۶	۸/۳	۹/۸	۳۴	۱۶۵	۱۳۰	۴۳/۳	۳۲/۹	۱۳۹۰/۳	G10
۱۰۴/۸	۱۷۵/۷	۱۰۷/۳	-۰/۳۲	۳/۵	۷/۸	۹/۶	۳۴	۱۶۶	۱۳۳	۴۴/۷	۳۲/۰	۱۲۹۵/۰	G11
۱۲۶/۶	۲۱۷/۳	۱۳۲/۷	-۰/۳۶	۴/۲	۹/۵	۱۰/۲	۳۵	۱۶۶	۱۳۱	۴۵/۰	۳۵/۷	۱۶۰۱/۷	G12
۱۰۳/۴	۱۷۳/۳	۱۰۵/۹	-۰/۳۱	۳/۳	۷/۶	۹/۵	۳۳	۱۶۶	۱۳۳	۴۵/۳	۳۰/۸	۱۲۷۷/۴	G13
۹۷/۷	۱۶۳/۷	۰۱۰۰	-۰/۳۱	۳/۱	۷/۲	۹/۱	۳۵	۱۶۶	۱۳۲	۴۶/۶	۳۱/۱	۱۲۰۶/۸	G14
۵۹/۶	۱۰۰/۰	۶۱/۱	-۰/۳۵	۲/۲	۴/۴	۱۰/۶	۳۳	۱۶۶	۱۳۳	۴۷/۰	۳۴/۷	۷۳۷/۱	G15

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ در سال بر عملکرد دانه، وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پرشدن دانه، سرعت پرشدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد دانه، بهره وری از بارش و وزن تک دانه معنی دار بود. بر اساس نمودار گرمائی، ژنوتیپ های ۲ و ۱۲ را می توان پایدار در نظر گرفت. بر اساس شاخص گزینش چند صفی (MTSI) ژنوتیپ های ۲ و ۱۲ به عنوان ژنوتیپ های برتر انتخاب شدند. به نظر می رسد که برای یک نتیجه گیری با اطمینان بالا استفاده از نمودار گزینش ژنوتیپ برتر بر اساس شاخص MSTI بتواند به نتایج مطلوبی از تجزیه پایداری با بهره گیری از تجزیه هایی همچون تجزیه عاملی، BLUP و AMMI در شناسایی ژنوتیپ های مطلوب منجر شود. در مجموع بر اساس تمام تجزیه ها، ژنوتیپ های شماره ۲ و ۱۲ ژنوتیپ هایی پایدار و برتر نسبت به میانگین کل ژنوتیپ ها بودند. ژنوتیپ شماره ۲ (FLIP09-331C) عملکرد دانه (۱۲۲۰/۴) کیلوگرم در هکتار) در حدود میانگین کل ژنوتیپ ها را به خود اختصاص داد و از لحاظ وزن صد دانه (۳۶/۸ گرم) و

ارتفاع بوته (۴۷ سانتی متر) جزء ارقام برتر بود و نسبت به شاهد های منصور و توده محلی بیونینج به ترتیب ۱/۱۲ و ۶۷/۸ درصد برتری نشان داد. لذا با توجه به وجود لینکاژ منفی بین عملکرد دانه با دانه درشتی در گیاه نخود در صورتی که فقط افزایش عملکرد ملاک باشد ژنوتیپ شماره ۱۲ (FLIP07-125C) مناسب می باشد ولی اگر وزن صد دانه و ارتفاع بوته برای بازارپسندی و برداشت مکانیزه نخود مورد توجه باشد، انتخاب ژنوتیپ شماره ۲ می تواند مناسب باشد. ژنوتیپ شماره ۱۲ با عملکرد دانه (۱۶۰۱/۶) کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته (۴۶/۶ سانتی متر)، سرعت تشکیل عملکرد دانه (۹/۵۴) کیلوگرم در هکتار در روز، بهره وری از بارش (۴/۲) کیلوگرم بر میلی متر) بیشتر از میانگین کل صفات در ژنوتیپ ها و شاهد ها (منصور و بیونینج) در این پژوهش، برتر بودند.

سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی با عنوان بررسی سازگاری و پایداری لاین های نخود پاییزه در شرایط معتدل دیم با شماره مصوب ۹۸۰۸۶۴-۹۵-۰۲۵-۱۵-۱۵ می باشد که بدین وسیله تشکر و قدردانی می گردد.

منابع مورد استفاده

- Ajay V and Singh GP. 2021. AMMI with BLUP analysis for stability assessment of wheat genotypes under multi locations timely sown trials in Central Zone of India. *International Journal of Agriculture and Food Science*, 7: 118-124. <https://doi.org/10.17352/2455-815X.000098>
- Authrapun J, Lertsuchatavanich U and Kang D. 2021. Selection for improving field resistance to capsicum chlorosis virus and yield-related traits using selection indices in peanut breeding. *Acta Scientific Agriculture*, 5: 22–31. <https://doi.org/10.31080/asag.2021.05.1001>
- Balalić I, Zorić M, Branković G, Terzić S and Crnobarac J. 2012. Interpretation of hybrid× sowing date interaction for oil content and oil yield in sunflower. *Field Crops Research*, 137: 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.08.005>
- Barbosa MH, Ferreira A, Peixoto LA, Resende MD, Nascimento M and Silva FF. 2014. Selection of sugar cane families by using BLUP and multi-diverse analyses for planting in the Brazilian savannah. *Genetics and Molecular Research*, 13: 1619-1626. <https://doi.org/10.4238/2014.March.12.14>
- Baretta D, Nardino M, Carvalho IR, Oliveira AD, Souza VD and Maia LD. 2016. Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. *Científica*, 44(3): 403-411. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n3p403-411>
- Benakanahalli NK, Sridhara S, Ramesh N, Olivoto T, Sreekantappa G, Tamam N, Abdelbacki AM, Elansary HO and Abdelmohsen SA. 2021. A Framework for Identification of stable genotypes based on MTSI and MGDII Indexes: An example in Guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomy*, 11(6): 1221. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061221>
- Brankovic-Radojcic D, Babic V, Girek Z, Tivanovic T, Radojcic A, Filipovic M and Srdic J. 2018. Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika*, 50: 1067-1080. <https://doi.org/10.2298/GENSR1803067B>
- Chongo G, Gossen BD, Buchwaldt L, Adhikari T and Rimmer SR. 2004. Genetic diversity of *Ascochyta rabiei* in Canada. *Plant Disease*, 88(1):4-10. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.1.4>
- Finlay K and Wilkinson G. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(6): 742-754. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9630742>
- Forouzi M, Ehteshami SM, Esfahani M and Rabiei M. 2016. Study the amount of dry matter remobilization and current photosynthesis in different seed sizes of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Rasht. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 3(1): 47-61. (In Persian). 20.1001.1.24763780.1395.3.1.4.8
- Gauch H and Zobel R. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(1): 1-10. <https://doi.org/10.1007/BF00288824>
- Hasan M and Deb A. 2017. Stability analysis of yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Horticulture International Journal*, 1(1): 4-14. <https://doi.org/10.15406/hij.2017.01.00002>
- IBPGR, ICRISAT and ICARDA, 1993. Descriptors for Chickpea (*Cicer arietinum* L.) International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy; International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India and International Center for Agriculture Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria.
- Jahangiri A, Sadeghzadeh-Ahari D, Safikhani M, Pezeshkpour P, Saeid A, Sarparast R and Mohammadi M. 2015. Adel, a new rainfed chickpea cultivar for autumn planting under moderate cold and semi-warm regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 4(1): 1-13. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/RAFHC.2015.106539>
- Jahufer M and Casler M. 2015. Application of the Smith-Hazel Selection Index for improving biomass yield and quality of switchgrass. *Crop Science*, 55(3): 1212-1222. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.08.0575>

- Joudi M and Ebadi A. 2015. Evaluation of agronomic traits of Iranian wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and their associations under terminal heat stress. *Research in Field Crop Journal*, 3(1):42-54.
- Karimizadeh R, Pezeshkpour P, Barzali M, Armion M and Sharifi P. 2021. Stability of some of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes by AMMI indices and biplots. *Iranian Journal Pulses Research*, 12(2): 214-228. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/IJPR.V12I2.2103-1006>
- Karimizadeh R, Pezeshkpour P, Barzali M, Mehraban A and Sharifi P. 2020. Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. *Journal of Crop Breeding*, 12(36): 160-170. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jcb.12.36.160>
- Laffont JL, Hanafi M and Wright K. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science*, 47: 990-996. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.08.0549>
- Mohammadi GH, Golezani KG, Javanshir A and Moghaddam M. 2006. The influence of water limitation on the yield of three chickpea cultivars. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 10(2):109-120. (In Persian). 20.1001.1.24763594.1385.10.2.9.6
- Nardino M, Baretta D, Carvalho IR, Olivoto T, Follmann DN, Szareski VJ, Ferrari M, de Pelegrin AJ, Konflanz VA and de Souza VQ. 2016. Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48): 4864-4872. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11691>
- Olivoto T and Nardino, M. 2020. MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, 1-22. <https://doi.org/10.1101/2020.07.23.217778>
- Olivoto T, Lúcio AD, da Silva JA, Marchioro VS, de Souza VQ and Jost E. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6): 2949-2960. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Olivoto T, Lúcio AD, da Silva JA, Sari BG and Diel MI. 2019a. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6): 2961-2969. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221>
- Olivoto T and Lúcio AD. 2020. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6): 783-789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>
- Oweis T and Hachum A. 2003. Improving water productivity in the dry areas of west Asia and north Africa CAB International, water productivity in agriculture: Limits and Opportunities for improvement (eds Kijne JW, Barker R and Molden D), Pp: 179-198. <https://doi.org/10.1079/9780851996691.0179>
- Sarker A. 2011. Lentils in production and food systems in West Asia and Africa. *Grain Legumes*, 57: 46-48.
- Sellami MH, Lavini A and Pulvento C. 2021. Phenotypic and quality traits of chickpea genotypes under rainfed conditions in south Italy. *Agronomy*, 11(5): 962. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050962>
- Sharifi P, Aminpanah H, Erfani R, Mohaddesi A and Abbasian A. 2017. Evaluation of Genotype $\times$ Environment Interaction in Rice Based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, 24(3):173-180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>
- Sharifi P. 2020. Evolution, Domestication, Breeding Methods and the Latest Breeding Findings in Rice. Agricultural and Natural Resources Engineering Organization of IRAN, IR, 254 PP (In Persian).
- Smith HF. 1936. A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, 7(3): 240-250. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>
- Tekalign A, Sibiya J, Derera J and Fikre A. 2017. Analysis of genotype $\times$ environment interaction and stability for grain yield and chocolate spot (*Botrytis fabae*) disease resistance in faba bean (*Vicia faba*). *Australian Journal of Crop Science*, 11(10): 1228 -1235.
- Ullman JB. 2006. Structural equation modeling: Reviewing the basics and moving forward. *Journal of Personality Assessment*, 87: 35-50. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa8701_03

- Varshney RK, Thudi M and Muehlbauer FJ. 2017. The Chickpea Genome. Springer International Publishing, 3(319): 66117-9. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66117-9_1
- Wright K and Laffont JL. 2018. Genotype plus genotype-by-environment biplots. R package. [https:// Kwstat. Github.io/gge/index.html](https://Kwstat.Github.io/gge/index.html).
- Yue H, Wei J, Xie J, Chen S, Peng H, Cao H, Bu J and Jiang X. 2022. A Study on genotype-by-environment interaction analysis for agronomic traits of maize genotypes across Huang-Huai-Hai region in China. *Phyton*, 91(1):57-81. <https://doi.org/10.32604/phyton.2022.017308>
- Zali H, Sabaghpour SH, Farshadfar E, Pezeshkpour P, Safikhani M, Sarparast R and Hashem A. 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter compare to other stability methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(2): 21-29. (In Persian). 20.1001.1.20084811.1388.40.2.3.7
- Zali H, Farshadfar E, Sabaghpour SH and Karimizadeh R. 2012. Evaluation of genotype $\times$ environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, 3(7): 3126-3136.