

پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود متحمل به سرما در کشت دیم پاییزه

حمید حسینیان خوشرو^{۱*}، همایون کانونی^۲، مریم حاجی حسنی^۳، علی احسان نصرتی^۴

- ۱- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
- ۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
- ۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
- ۴- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

چکیده

ارزیابی ژنوتیپ‌های نخود تحت شرایط محیطی مختلف، می‌تواند در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و با پتانسیل عملکرد بالا مفید باشد. در این تحقیق به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول، متحمل به سرما و پایدار نخود برای کشت پاییزه در نواحی سرد و مرتفع کشور ۱۳ ژنوتیپ نخود کابلی، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و در چهار منطقه سردسیر کشور شامل ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، کردستان، همدان و ارومیه به مدت سه سال زراعی (۹۹-۱۳۹۶) به صورت کشت دیم پاییزه مورد ارزیابی قرار گرفتند. از بین ژنوتیپ‌های نخود مورد بررسی، بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های G1 (۸۹۳ کیلوگرم در هکتار) و G9 (۷۴۴ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت. سهم محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل در تجزیه مرکب عملکرد دانه آنها در تغییرات عملکرد دانه به ترتیب ۶۸/۴، ۱/۲۱ و ۱۰/۳۰ درصد بود. مقدار GEI با استفاده از مدل بای‌پلات تفکیک شد و طبق تجزیه مقادیر منفرد دو مولفه اصلی اول به ترتیب $PC1 = 42/86$ و $PC2 = 27/88$ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. بر اساس نمودارهای GGE بای-پلات، ژنوتیپ‌های G1, G3 و G8 با کمترین سهم در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به‌عنوان پایدارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. در مجموع ژنوتیپ‌های G1, G3 و G8 ضمن داشتن پایداری بالا از عملکرد دانه بالاتری نیز نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بوده و می‌توانند کاندیدای فرآیند معرفی رقم باشند.

واژه‌های کلیدی: پایداری عملکرد، نخود کابلی، نمودار گرمایی، GG بای پلات

* نگارنده مسئول: h.hosnian@areeo.ac.ir تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) به دلیل نقش مهم در تثبیت ازت اتمسفری و افزایش حاصلخیزی خاک یکی از عمده‌ترین محصولات مورد استفاده در تناوب زراعی محصول استراتژیک گندم در مناطق دیم کشور می‌باشد (Varshney *et al.*, 2017). براساس آخرین آمار منتشره از سوی فائو (۲۰۱۹)، سطح زیر کشت نخود در دنیا ۱۸ میلیون هکتار، میزان کل تولید آن ۱۷ میلیون تن با متوسط عملکرد ۹۶۵ کیلوگرم در هکتار است. کشور هندوستان از نظر میزان تولید با حدود ۱۲ میلیون تن در رتبه نخست جهان و بدنبال آن کشورهای استرالیا، ترکیه، روسیه، آمریکا، اتیوپی و میانمار قرار دارند. در این میان ایران، در سال ۲۰۱۸، از نظر سطح زیر کشت با ۵۰۰ هزار هکتار در مقام ششم و از نظر میزان تولید با حدود ۲۲۲ هزار تن در رتبه یازدهم جهان قرار گرفته است (FAO, 2019). این آمار ضمن اعلام افزایش چشمگیر سطح زیر کشت، تولید کل، عملکرد نخود در جهان و کاهش این فاکتورها به جز عملکرد در ایران را نشان می‌دهد. این امر به نوبه خود کاهش حاصلخیزی اراضی دیم، افزایش میزان جاکاری‌ها و در نتیجه عدم پایداری تولید در گندم را به دنبال داشته است. در عین حال به خوبی فاصله بسیار زیاد متوسط عملکرد کشور (۵۲۰ کیلوگرم در هکتار) با عملکرد جهانی و پتانسیل تولید این محصول یعنی بیش از ۶-۵ تن در هکتار را نشان می‌دهد (FAO, 2015; Millan *et al.*, 2019). در حال حاضر کشت نخود در بیش از ۹۵ درصد اراضی دیم کشور به صورت بهاره و غیرمکانیزه انجام می‌گیرد

(احمدی و همکاران، ۱۳۹۸). بر اساس مطالعات انجام گرفته تغییر سیستم کاشت از بهار به پاییز، به دلیل افزایش طول دوره رشد، بهره‌وری مناسب از بارندگی‌های اواخر زمستان و اوایل بهار، همزمانی دوره گلدهی و غلاف‌بندی با رطوبت مناسب خاک و نهایتاً گریز از خشکی انتهای فصل، با افزایش عملکرد عمده‌ای در اقلیم‌های مدیترانه‌ای همراه بوده است (کانونی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Toker, 2005; Malhotra *et al.*, 1998). یکی از ملزومات کشت پاییزه نخود وجود ارقام پرمحصول و متحمل به سرما که بتواند این خصوصیات مطلوب را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی و در خلال سال‌ها حفظ نمایند، می‌باشد. از دیگر چالش‌های تولید نخود واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها به تغییرات اقلیمی و همچنین عدم امکان معرفی یک رقم مناسب به دامنه گسترده‌ای از محیط‌ها است. بنابراین برهمکنش ژنوتیپ × محیط در زراعت و به‌نژادی گیاهان زراعی، دارای اهمیت ویژه‌ای است (Karimizadeh *et al.* 2013; Sharifi *et al.* 2017). به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ برای محیط خاص و یا تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در دامنه‌ای از محیط‌ها ارقام و لاین‌های نخود در آزمایشات ناحیه‌ای ارزیابی شده و عملکرد دانه آن‌ها در سال‌ها و مناطق مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرند. الگوی تغییرات صفات کمی پیوسته بوده و قابل انتصاب به کنترل چند ژنی و عوامل محیطی هستند (Yan *et al.* 2007). از آنجا که بخشی از بیان ژن در قالب محیط القاء و تنظیم می‌شود، آزمایش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌تواند به ژنوتیپ‌های برتر کمک نماید. برهم

می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ در آن بهترین عملکرد یا بالاترین واکنش محیطی را داشته باشند (Yan and Rajcan, 2002). علاوه بر روش پایداری لافونت و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از نمودار موزائیکی، سهم مجموع مربعات ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) را در مجموع مربعات کل پیش از تجزیه پایداری به روش GGE بای پلات نشان دادند. در خصوص بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در نخود دیم کشور تحقیقات نسبتاً زیادی صورت گرفته است (کانونی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پزشکیپور و همکاران، ۱۳۹۸؛ Farshadfar *et al.*, 2012). هدف از پژوهش حاضر، بهره‌گیری از ابزار GEE بای پلات و نمودار موزائیکی و گرمایی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر نخود مناسب کشت پاییزه در شرایط آب و هوایی مناطق سرد کشور است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سه سال زراعی (۹۹-۱۳۹۶) در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، ارومیه، همدان و کردستان اجرا شد. شرایط اقلیمی محل‌های اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. در این آزمایش ۱۳ ژنوتیپ نخود کابلی (جدول ۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در ۱۲ محیط (چهار ایستگاه طی سه سال) مورد مطالعه قرار گرفتند. کاشت بذر با دست در نیمه دوم مهرماه هر سال انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر میزان تحمل به سرما در این آزمایش و آزمایشات مقدماتی و پیشرفته براساس روش پیشنهادی (singh *et al.*, 1989) مورد

کنش ژنوتیپ × محیط، از یک طرف همبستگی بین اثرات ژنوتیپی و فنوتیپی و از طرف دیگر، پیشرفت گزینش ژنوتیپ‌ها را، به‌ویژه در شرایط تنش، کاهش می‌دهد (Kaya *et al.*, 2006; Yan and Tinker, 2006). تجزیه پایداری مهم‌ترین روشی است که برای پی بردن به ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد و باتوجه به نتایج آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی کرد. روش‌های زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌وسیله محققین ارائه شده که از آن جمله می‌توان به ارزیابی گرافیکی رفتار ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها بر پایه دو مولفه اصلی اول از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بدون حذف اثر محیط اشاره کرد که بوسیله پژوهشگران زیادی استفاده شده است (کریمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ Yan Whaley and Eskandari, and Rajcan, 2002; 2019). از آنجا که در بیشتر آزمایش‌های تجزیه پایداری، اثر اصلی محیط، به عنوان یک منبع غیر قابل کنترل، زیاد است، اما تغییرات توجیه شده بوسیله منابع قابل تفسیر یعنی اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) کم است، در روش GGE، این دو منبع تغییر بکار گرفته می‌شوند تا نتایج قابل اعتمادتری بدست آید (Yan *et al.*, 2001; Yan *et al.*, 2007; Rosado *et al.*, 2019). مدل GGE بای پلات، به طور همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را ارزیابی کرده، محیط‌های مطلوب برای ژنوتیپ‌های خاص را تعیین نموده و محیط‌ها را به یک یا چند ناحیه بزرگ (Mega-environments) دسته بندی می‌کند. یک مگا محیط به گروهی از محیط‌ها گفته

ارزیابی قرار گرفته و جزء ژنوتیپ‌های متحمل به سرما محسوب می‌شدند. عملیات زراعی شامل خاک‌ورزی و آماده‌سازی محل اجرای آزمایشات بطور یکنواخت برای تمامی ایستگاه‌ها انجام شد. هر واحد آزمایش شامل چهار خط چهارمتری به فواصل ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذور روی خط ۱۰ سانتی‌متر بود. برداشت محصول پس از حذف حاشیه شامل دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی معادل ۲/۱ مترمربع انجام شد.

جدول ۱- اطلاعات آب و هوایی و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش (۹۹-۱۳۹۶)

مکان Location	طول و عرض و جغرافیایی Longitude & Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	سال Year	کد Code	دما Temperature (°C)		بارندگی Precipitation(mm)
					حداقل Min	حداکثر Max.	
مراغه Maragheh	37° 26' N 46° 45' E	۱۷۲۰	۹۷-۱۳۹۶	Ma1	-۱۸/۵	۳۷	۴۲۳/۲
			۹۸-۱۳۹۷	Ma2	-۱۴/۵	۳۷/۴	۴۹۴/۶
			۹۹-۱۳۹۸	Ma3	-۲۵	۳۲/۶	۳۲۶/۸
کردستان Kurdistan	37° 43' N 48° 08' E	۲۱۲۰	۹۷-۱۳۹۶	Ku1	-۱۵/۶	۳۳/۶	۳۳۳/۹
			۹۸-۱۳۹۷	Ku2	-۱۲/۶	۳۰	۴۹۵
			۹۹-۱۳۹۸	Ku3	-۱۸/۱	۳۲/۵	۳۹۵/۶
ارومیه Urmia	37° 21' N 45° 09' E	۱۵۲۰	۹۷-۱۳۹۶	Ur1	-۱۴/۸	۳۰/۴	۴۱۷/۱
			۹۸-۱۳۹۷	Ur2	-۱۰/۶	۳۳	۵۷۷/۵
			۹۹-۱۳۹۸	Ur3	-۱۵/۴	۳۲	۳۵۱/۷
همدان Hamedan	36° 52' N 48° 49' E	۱۶۱۹	۹۷-۱۳۹۶	Ha1	-۱۴/۶	۳۷/۲	۳۶۵/۶
			۹۸-۱۳۹۷	Ha2	-۱۵/۴	۳۴/۳	۵۰۶/۱
			۹۹-۱۳۹۸	Ha3	-۱۵/۹	۳۴/۶	۳۸۹/۲

جدول ۲- نام، مبدأ و کد ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه

نام ژنوتیپ Genotype name	مبدأ Origin	کد Code	نام ژنوتیپ Genotype name	مبدأ Origin	کد Code
FLIP 08-94C	ICARDA	G1	FLIP 09-419C	ICARDA	G8
FLIP 09-78C	ICARDA	G2	FLIP 09-434C	ICARDA	G9
FLIP 09-132C	ICARDA	G3	FLIP 02-51C	ICARDA	G10
FLIP 09-251C	ICARDA	G4	Saral	IRAN	G11
FLIP 09-264C	ICARDA	G5	Saeed	IRAN	G12
FLIP 09-278C	ICARDA	G6	Ana	IRAN	G13
FLIP 09-381C	ICARDA	G7			

برهمکنش ژنوتیپ \times محیط نشان دهنده اختلاف بین عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر و وجود نوسان در عملکرد دانه است که نیاز به ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون، برای شناسایی سازگاری عمومی و خصوصی را نشان می‌دهد. مشابه نتایج این پژوهش، اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و اثرمتقابل ژنوتیپ \times محیط را پژوهشگران دیگری نیز در نخود دیم و سایر گیاهان زراعی گزارش کرده‌اند (بدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ پزشکپور و همکاران، ۱۳۹۸؛ کانونی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Farshadfar *et al.*, 2012).

جهت نمایش پراکنش و میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی نمودار گرمایی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ترسیم گردید (شکل ۱-الف و ب). میانگین عملکرد دانه لاین‌های نخود مورد بررسی در محیط‌های آزمایشی در دامنه ۱۴۶۴ کیلوگرم در هکتار برای لاین G7 در محیط Ma3 تا ۳۰۵ کیلوگرم در هکتار برای G11 در محیط Ur3 متغیر بود این نتایج برای سایر ژنوتیپ‌ها نیز در نمودار گرمایی (شکل ۱-الف) قابل مشاهده است. از بین ژنوتیپ‌های نخود مورد بررسی، بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های G1 با ۸۹۳ کیلوگرم در هکتار و G9 با ۷۴۴ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت. از بین محیط‌های آزمایشی، بیشترین میزان عملکرد دانه در محیط-های Ma3, Ur2 و Ku1 (با دامنه عملکرد ۱۱۰۰ تا ۱۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در محیط‌های Ma2 و Ku3 (با عملکرد کمتر از ۵۰۰

تجزیه آماری: برای بررسی یکنواختی واریانس خطای آزمایش‌ها، آزمون بارتلت انجام شد، سپس با ثابت در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر محیط، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت. تجزیه‌های اصلی پایداری با روش GGE بای پلات و همچنین نمودارهای گرمایی (برای نشان دادن پراکنش میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف) و موزائیکی (برای ارزیابی سهم ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط از مجموع مربعات کل) انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از بسته Metan (Olivoto and Lúcio, 2020) و gge (Wright and Laffont, 2018) در نرم افزار R انجام شد.

نتایج و بحث

آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت، نشانگر نایکنواختی واریانس‌ها بود بنابراین با حذف دو محیط Ur1 و Ha1 خطاهای آزمایشی یکنواخت شده و تجزیه واریانس بر مبنای امید ریاضی منابع تغییر انجام شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی محیط در سطح احتمال یک درصد و اثر ژنوتیپ و اثرمتقابل ژنوتیپ \times محیط در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۳). اثر معنی‌دار ژنوتیپ نشان دهنده تنوع ژنتیکی بین مواد آزمایشی است. اثر معنی‌دار محیط می‌تواند برآمده از عواملی همچون یکسان نبودن شرایط جوی در سال‌های اجرای آزمایش، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و غیره باشد. اثر معنی‌دار

و به دنبال آن سهم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و اثر ژنوتیپ به ترتیب برابر ۱۰/۳۰ و ۱/۲۱ درصد بود. اثر محیط به ترتیب ۶/۵ و ۵۶ برابر اثرات GE و G بود، بنابراین محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانه لاین‌های نخود ایجاد کرد.

کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۱-ب) که دلالت بر تاثیر خاک، دما، میزان بارش و توزیع آن و سایر شرایط محیطی بر عملکرد دانه داشت. بر اساس تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳)، محیط به تنهایی ۶۸/۴٪ از مجموع مربعات کل را تبیین کرد

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در محیط‌های اجرای آزمایش

منابع تغییر Source of Variations	درجه آزادی D.f	میانگین مربعات M.S.
محیط Environment(E)	۹	۵۶۰۵۷۸۶/۳۷**
خطا ۱ Error1	۳۰	۸۷۴۴۳/۰۸
ژنوتیپ Genotype(G)	۱۲	۷۴۵۹۰/۷۷*
ژنوتیپ × محیط G×E	۱۰۸	۷۰۴۰۱/۸۷*
خطا ۲ Error2	۳۶۰	۳۳۸۹۶/۵۷
کل	۵۱۹	
ضریب تغییرات % C.V.%		۲۲
کای اسکور برای آزمون بارتلت χ^2		۱۵/۷۸ ^{n.s}

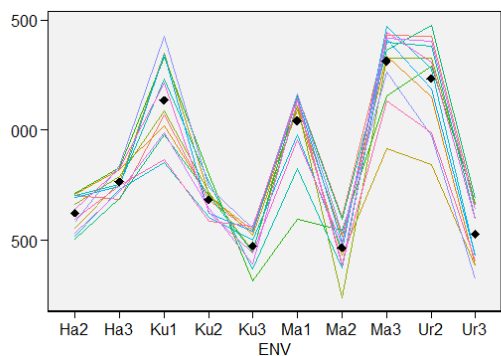
** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و n.s: عدم تفاوت معنی‌دار

بدون در نظر گرفتن اثر محیط (E)، شکسته می‌شود از جدول دو طرفه مجموع مربعات کل برای کشیدن نمودار موزائیکی بهره گرفته شد (شکل ۱-د). در این نمودار که کل نمودار ۱۰۰ درصد مجموع مربعات کل است، نواحی با رنگ تیره تنوع کل ناشی از اثرات ژنوتیپی را نشان می‌دهد که در این پژوهش ۱۰/۵۲٪ از تنوع کل ناشی از اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها است و به بیانی دیگر ۱۰/۵۲٪ از تنوع کل یا فنوتیپی ناشی از اثر ژنوتیپ است. مناطق با رنگ روشن در این نمودار،

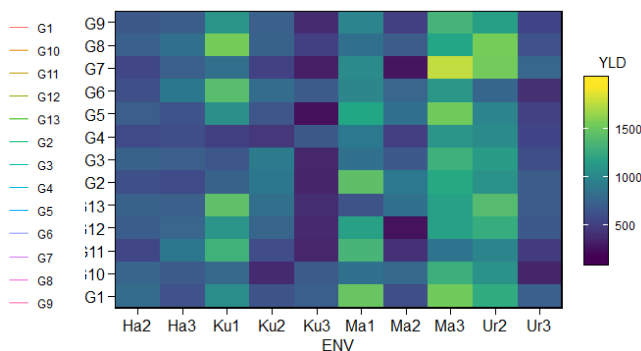
با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، به منظور تعیین سهم هر یک از مولفه‌ها در GEI (Genotype × Environments Interaction) از آزمون اسکریت استفاده شد، نتایج آزمون اسکریت نشان داد که سه مولفه اصلی اول هر کدام سهم قابل توجهی در توجیه GEI داشتند (شکل ۱-ج). بطوری که مولفه اول و دوم به ترتیب ۴۲/۹۶٪ و ۲۷/۹۳٪ از تنوع ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند. پیش از تجزیه پایداری به روش GGE بای‌پلات که در آن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به دو جزء ژنوتیپ و ژنوتیپ در محیط،

را در بر می گیرد و اولین مولفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می دهد. و ستون دوم (PC2) ۲۷٪/۹۳ از مجموع مربعات کل را در بر گرفته است. در مجموع این دو مولفه اصلی، که برای رسم نمودارهای بای پلات از آنها استفاده شده است، ۷۰٪/۸۹ درصد از مجموع مربعات کل را تشکیل می دهند. ردیف های نمودار موزائیکی (در داخل هرستون)، آن ستون را به بخش ناشی از SSG و بخش ناشی از SSGE، هر محور تقسیم می کند.

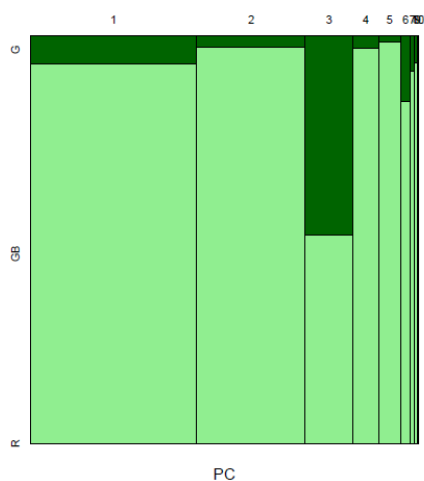
تنوع ناشی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است که ۸۹٪/۴۸ از کل تغییرات را در بر می گیرد. بزرگ بودن اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط توسط تعداد زیادی از محققان در نخود و سایر گیاهان زراعی گزارش شده است (کریمی زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ پزشکیور و همکاران، ۱۳۹۸؛ کانونی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Mehari *et al.*, 2015; Mortazavian *et al.*, 2014). ستون های این نمودار مرتبط با محورهای مولفه اصلی می باشند، طوری که ستون اول ۴۲٪/۹۶ از کل مساحت مربع



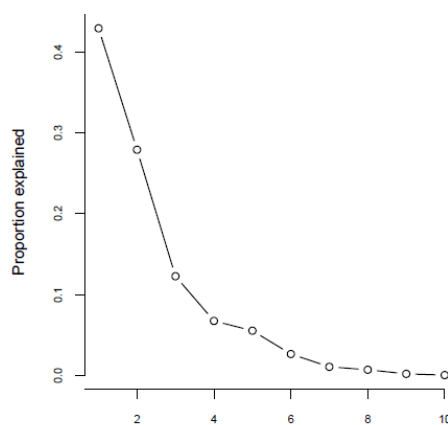
(ب)



(الف)



(د)

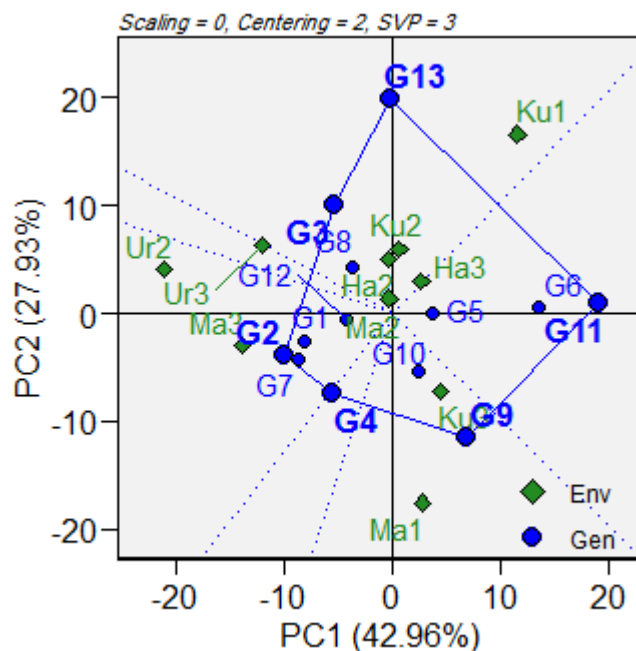


(ج)

شکل ۱- اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GEI) ۱۳ ژنوتیپ نخود در ۱۰ محیط. الف) نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ ها در محیط ها؛ ب) نمودار میانگین عملکرد ژنوتیپ ها در محیط های آزمایش؛ ج) ریشه مشخصه ماتریس GEI؛ ج) نمودار موزائیکی جهت نمایش سهم مولفه ها از واریانس G+GE

مجموع مربعات محور مولفه اصلی اول و دوم، سهم بسیار بیشتری از اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط را نسبت به اثر ژنوتیپ دارد (شکل ۱-د)، بنابراین می‌توان این دو ستون را به عنوان محور ژنوتیپ × محیط نام نهاد. سومین محور مولفه اصلی (PC3)، هرچند سهم پایینی از مجموع مربعات کل (۰/۸/۴) داشت ولی سهم بسیار بزرگی از مجموع مربعات ژنوتیپ دارد (شکل ۱-د) که می‌توان این مولفه را محور ژنوتیپ در نظر گرفت. بنابراین، ارزیابی ژنوتیپ‌ها در دو محور نخست می‌تواند اطلاعاتی درباره پایداری ژنوتیپ‌ها فراهم نماید و ارزیابی آن‌ها در محور سوم می‌تواند در رابطه با عملکرد دانه باشد. تفکیک اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بر اساس روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مولفه اول (PC1 و PC2) در مجموع ۷۰/۸۹ درصد از کل تغییرات اثر متقابل GE را توجیه کردند که نشان دهنده سهم بالای این دو مولفه در برهمکنش ژنوتیپ × محیط می‌باشد. جهت ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌های مختلف از نماهای مختلفی استفاده شد اولین نما استفاده از نمای چند ضلعی بای‌پلات (شکل ۲) است که یکی از بهترین راه‌ها برای نمایش برهمکنش ژنوتیپ × محیط (Yan and Kang, 2003) و نشان دادن مفاهیمی همچون سازگاری ویژه یک ژنوتیپ و تفکیک محیط‌های کلان (Rakshit *et al.*, 2012) به صورت گرافیکی است. در شکل ۲، ژنوتیپ‌های G3, G2, G4, G9, G11 که رئوس چند ضلعی را تشکیل دادند، بیشترین فاصله را از مرکز بای‌پلات داشتند و بهترین یا ضعیف‌ترین لاین‌ها در محیط‌های مربوط به خود بودند. سایر ژنوتیپ‌ها در داخل

چند ضلعی قرار گرفتند. خطوطی که از مبدا مختصات عمود بر اضلاع چند ضلعی رسم شده‌اند، گروه‌های محیطی را مشخص می‌کنند. بطوری که ملاحظه می‌شود، در این آزمایش محیط‌ها به ۳ گروه محیطی تقسیم شدند. گروه محیطی اول شامل محیط‌های کردستان سال اول و دوم (Ku1, Ku2)، همدان سال دوم و سوم (Ha2, Ha3) و مراغه سال دوم (Ma2) بود که ژنوتیپ G13 (رقم آنا) و G3 (FLIP 09-132C) بیشترین و با ثباتترین عملکرد را در این گروه داشتند. در گروه محیطی دوم، محیط‌های ارومیه سال دوم و سوم (Ur2, Ur3) و مراغه سال سوم (Ma3) قرار داشتند و ژنوتیپ‌های برتر و پایدارتر در این گروه، لاین‌های G2 (FLIP 09-78C) و G4 (FLIP 09-251C) بودند. گروه سوم شامل محیط‌های کردستان سال سوم (Ku3) و مراغه سال اول (Ma1) بود که لاین G9 (FLIP 09-434C) بالاترین عملکرد دانه را در این گروه کسب کرد. این نمای از بای‌پلات افزون بر شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به هر محیط، برای شناسایی ژنوتیپ‌های دارای پایداری عمومی بالا با توجه به نزدیک بودن به مبدا بای‌پلات، به محیط‌های آزمایشی نیز کاربرد دارد، بر این اساس ژنوتیپ‌های G1, G5, G8, G10 و G12 نزدیکترین ژنوتیپ‌ها به مبدا بای‌پلات و دارای سازگاری عمومی به تمامی محیط‌ها بودند. بر اساس شکل ۲، دو محیط کلان شامل ارومیه+مراغه و کردستان+همدان در مناطق سردسیر غرب و شمال غرب کشور مشخص شدند و این دو محیط به خوبی با توزیع جغرافیایی مکان‌ها مطابقت داشتند.



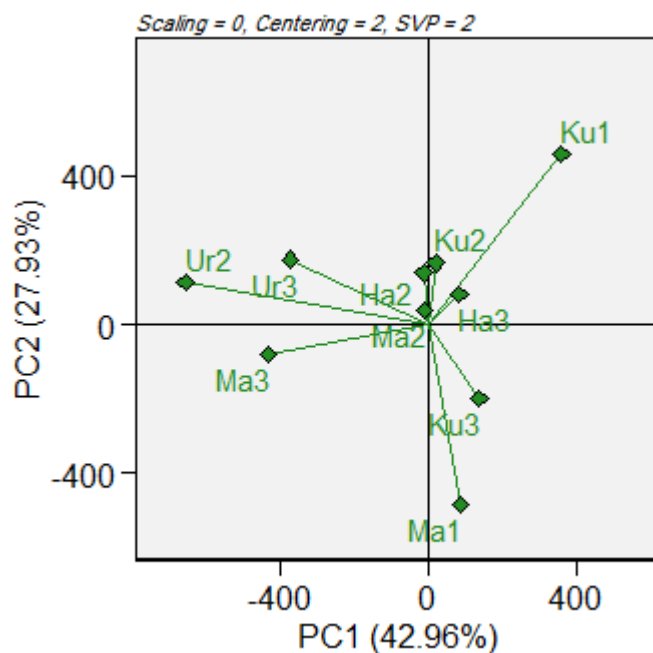
شکل ۲- الگوی تناسب ژنوتیپ برای محیط در سیزده لاین نخود مورد ارزیابی در ۱۰ محیط آزمایشی

بردارهای آن‌ها، قابل تشخیص است. بردار محیط Ku1 با بردار محیط‌های ku3 و Ur3 زاویه حدود ۹۰ درجه داشته که نشان دهنده عدم وجود همبستگی یا عدم وجود شباهت بین محیط ku1 با دو محیط فوق است. گدیف و یگزاو (Gedif and Mohamed (Yigzaw, 2014) محمد و احمد (Mohamed Yan and Ahmad, 2013) و یان و راجکان (Rajcan, 2002) گزارش کردند که وجود رابطه نزدیک بین محیط‌های آزمایشی نشان دهنده اطلاعات مشابه درباره محیط‌ها است، به طوریکه در صورت اجرای آزمایشات مشابه، می‌توان برای کاهش هزینه‌ها از تکرار آزمایش در محیط‌های مشابه جلوگیری کرد. طول بردارهای محیطی، برآوردی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و در واقع معیاری از قدرت تمایز محیط‌های آزمایشی است (Yan et al., 2007). بر همین اساس در این پژوهش محیط‌های ku1, Ma3 و

در شکل ۳ مقیاس‌بندی بر مبنای محیط انجام شده و GEE بای پلات الگوی محیط‌ها را برآورد نموده است. برای به تصویر کشیدن روابط محیط‌ها هر کدام از محیط‌ها با استفاده یک خط به مرکز بای- پلات وصل می‌گردد که بردارهای محیطی خوانده می‌شوند. کسینوس زاویه بین بردار دو محیط برای تقریب رابطه بین آن‌ها به کار می‌رود و زاویه کمتر از ۹۰ درجه بین بردارهای محیطی، نشان دهنده همبستگی مثبت بین محیط‌های آزمایشی است (Yan and Tinker, 2006)، بنابراین محیط‌های Ma2, Ha2, Ha3, Ku1, Ku2 از یک طرف و محیط‌های Ur2, Ur1, Ma3 و همچنین دو محیط ku3 و Ma1 از طرف دیگر، مشابهت زیادی باهم داشتند، اما بیشترین همبستگی مثبت بین محیط‌های Ma2 و Ha2, Ha3, Ku1, Ku2 وجود داشت و وجود همبستگی منفی بین محیط‌هایی مانند Ma3 و Ku1 با توجه به زاویه بیش از ۹۰ درجه بین

(Ku3, Ha2, Ha3) طول بردار نسبتاً برابری داشته و به عبارتی دیگر توانایی تمایز مشابهی داشتند. محیط‌های دارای این خصوصیات همبستگی مثبتی با یکدیگر داشتند.

Ur2 طولی‌ترین بردار و بیشترین قابلیت تمایز را در بین محیط‌های آزمایشی داشتند. به دنبال این سه، محیط‌های ku3, Ma3 و Ur3 به ترتیب متمایز کننده‌ترین محیط‌ها بودند و محیط Ma2 از کمترین قدرت تمایز برخوردار بود. سایر محیط‌ها



شکل ۳- نمودار بای پلات برای نشان دادن روابط بین محیط‌های آزمایش

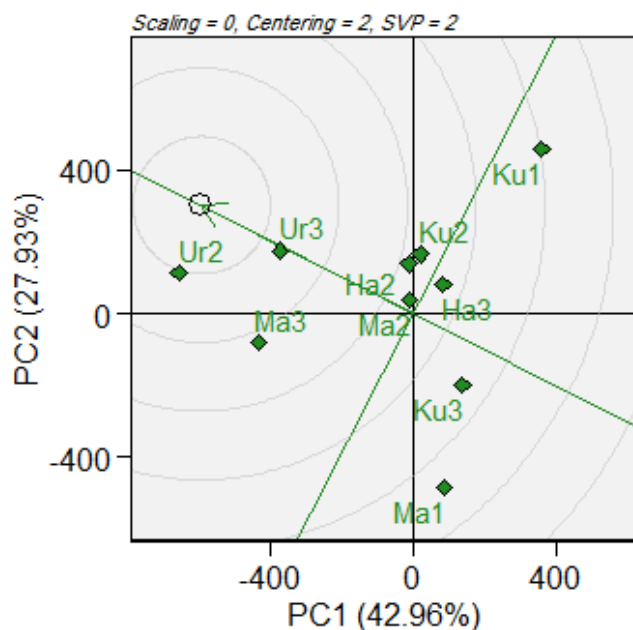
بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها داشته و هم خاصیت نماینده بودن را دارند، این محیط‌ها به عنوان محیط‌های آزمایشی مناسب گزینش لاین‌های سازگار و پر محصول نخود شناسایی شدند. همچنین مراکز دوایر هم‌مرکز به عنوان محیط ایده‌آل در نظر گرفته شده و محیط Ur2 نزدیکترین محیط به محیط ایده‌آل بوده و در میان محیط‌های مورد نظر از همه مطلوب‌تر شناخته شد.

در شکل ۵ میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های آزمایشی از طریق رسم محور پایداری (Average Tester Coordinate: ATC) نشان داده شده است. محور پایداری خطی است که از مبدا

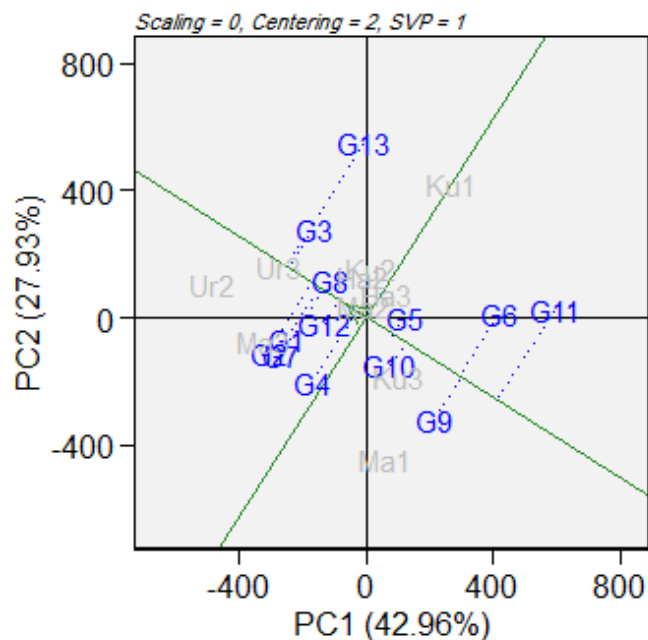
در شکل ۴ بای پلات مقایسه محیط‌های آزمایشی ارائه شده است. مختصات محیط متوسط (AEC) خطی است که از محیط متوسط و مبدا مختصات بای پلات عبور می‌کند (در شکل با دایره کوچک نشان داده شده است). هرچه زاویه بین محیط آزمایشی با محور (Average Environment Coordinate: AEC) کوچکتر باشد، نماینده بودن آن بیشتر از سایر محیط‌های آزمایشی است (Mohammadi et al., 2010). همانطور که ملاحظه می‌شود، Ur2, Ur3 و Ma3 بیش از سایر محیط‌های آزمایشی نماینده بودند. از آنجا که این دو محیط بر اساس شکل ۳، هم قدرت تمایز

همان محور ATC، شاخصی است که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های آزمایشی را با متوسط کل مقایسه می‌کند (Yan and Tinker, 2006).

بای پلات و میانگین محیط (میانگین نمرات PC1 و PC2 محیط‌ها) می‌گذرد و بُعد افقی ATC نیز نامیده می‌شود و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیکتر باشد، پایدارتر است. محور عمود بر آن یا



شکل ۴- بای پلات رسم شده بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر محیط برای مقایسه محیط‌های آزمایشی با محیط مطلوب



شکل ۵- گزینش هم‌زمان برای عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های نخود در محیط‌های مختلف

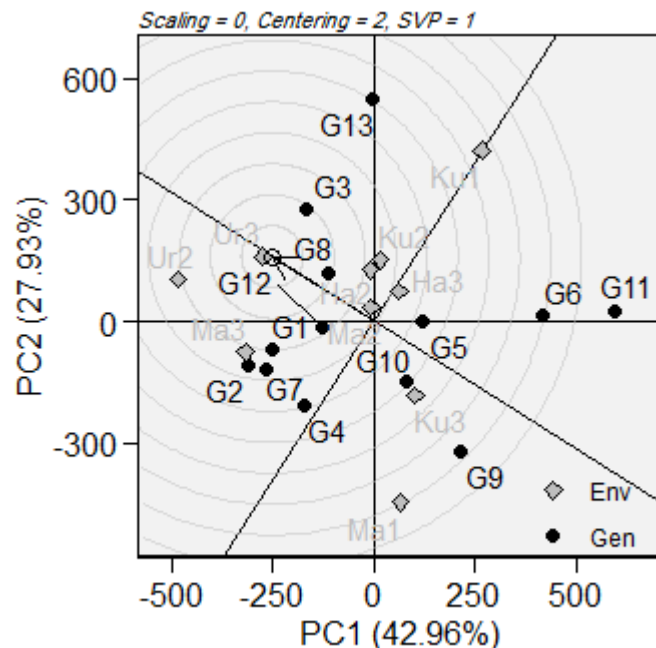
در شکل ۵ ژنوتیپ‌های موجود در سمت چپ محور ATC دارای عملکرد دانه بالاتر از متوسط و ژنوتیپ‌های واقع در طرف راست این محور، میانگین عملکرد کمتر از متوسط دارند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی مانند G3, G8, G1, G10, G12 و G5 با خط کوتاه‌تری به محور پایداری وصل شده‌اند، دارای پایداری بیشتری نسبت با سایر ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های G5, G10, G6, G11 و G9 میانگین عملکرد کمتر از متوسط داشته و سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی بیش از متوسط، میانگین عملکرد داشتند. از بین ژنوتیپ‌ها، لاین G3 (FLIP 09-132C) به عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین ژنوتیپ شناخته شد. ژنوتیپ G11 (رقم شاهد سارال) به عنوان کم محصول‌ترین ژنوتیپ با پایداری ضعیف شناخته شد.

در شکل ۶ ژنوتیپ‌های آزمایشی با ژنوتیپ مطلوب فرضی مقایسه شده‌اند. ژنوتیپ مطلوب که ممکن است در واقعیت وجود نداشته باشد، اما می‌تواند به عنوان مرجعی برای ارزیابی سودمندی ژنوتیپ (Kroonenberg, 1995) و معیاری برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار (Mohamed and Ahmad, 2013; Yan and Kang, 2003) استفاده شود، دارای بیشترین میانگین عملکرد (با بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا یا خط ATC) و پایداری (کمترین نقش برهمکنش ژنوتیپ در محیط و در نتیجه کمترین فاصله عمودی با خط ATC) است. هر چقدر فاصله ژنوتیپ‌ها از این ژنوتیپ مطلوب بیشتر باشد، از مطلوبیت آن (عملکرد و پایداری) کاسته می‌شود. این نما نشان

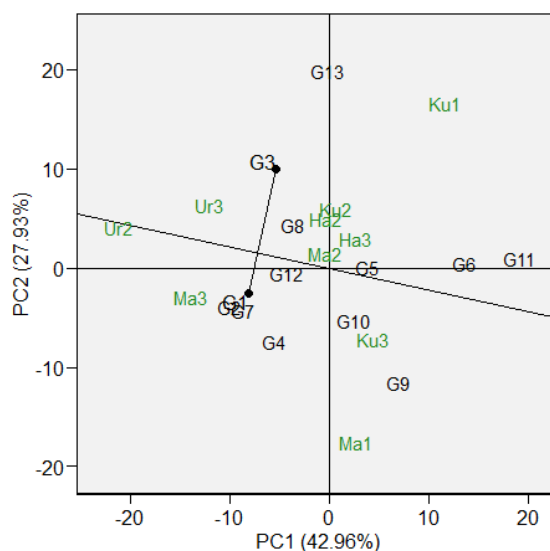
می‌دهد که نزدیکترین ژنوتیپ، به ژنوتیپ مطلوب (واقع در اولین دایره هم مرکز در بای‌پلات) ژنوتیپ مطلوب است و توصیه می‌شود در آزمایش‌های بعدی بررسی شود، و ژنوتیپ‌های نامطلوب که دور از ژنوتیپ مطلوب است می‌تواند در چرخه‌های اولیه به نژادی حذف شود (Yan and Kang, 2003). بنابراین شکل ۶ نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های G3, G8, G12 و G1 نزدیکترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ مطلوب (وسط دایره هم مرکز) بوده پس این لاین‌ها از سایر ژنوتیپ‌های آزمایشی مطلوب‌تر است.

در GGE بای‌پلات، نمود دو ژنوتیپ از طریق رسم خط برابری (Equality line) با وصل کردن آن‌ها به یکدیگر با یک خط راست و یک خط عمود بر آن که از مبدا بای‌پلات بگذرد، قابل مقایسه هستند (Mehari et al., 2015). در شکل ۷، دو ژنوتیپ G1 و G3 که بیشترین عملکرد دانه را در میانگین محیط‌ها داشتند با یکدیگر مقایسه شده‌اند و خط برابری، محیط‌هایی را که در آن G1 دارای عملکرد بهتری است، از محیط‌هایی که در آن‌ها G3 عملکرد بالاتری دارد، جدا می‌کند. ملاحظه می‌شود که G1 در محیط‌های Ma1, Ku3, Ma3 و Ur2 مطلوبترین ژنوتیپ و ژنوتیپ G3 در سال دوم و سوم همدان (Ha2, Ha3)، سال دوم مراغه (Ma2)، سال اول و دوم کردستان (Ku1, Ku2) و سال سوم ارومیه (Ur3) ژنوتیپ برتر بودند. از آنجا که عملکرد حاصل از محیط‌هایی مانند Ma1, Ma3 و Ur2 بالاتر از متوسط محیط‌ها بود (شکل ۱-ب)، می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ G1

سازگاری بهتری نسبت به ژنوتیپ G3 در محیط‌های با پتانسیل داشته است.



شکل ۶- بای پلات رسم شده بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای مقایسه ژنوتیپ‌های نخود آزمایشی با ژنوتیپ مطلوب



شکل ۷- مقایسه ژنوتیپ‌های نخود G1 و G3 بر اساس عملکرد دانه در محیط‌های مختلف

شد، تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان-
 دهنده معنی دار بودن اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل
 ژنوتیپ × محیط بود و محیط بیشترین تغییرات را
 در عملکرد دانه ایجاد کرد. معنی دار بودن اثر متقابل

نتیجه گیری کلی

در این آزمایش که با هدف بررسی اثر متقابل
 ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های نخود کابلی در
 کشت پاییزه دیم در مناطق سردسیر کشور انجام

ژنوتیپ × محیط بیانگر منطقی بودن کاربرد تجزیه پایداری برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های نخود به محیط‌های مورد مطالعه در این پژوهش است. ژنوتیپ‌های G1, G3, G8 و G12 (رقم نصرت) به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیکتر بودند و بنابراین می‌توان از آن‌ها به عنوان شاهد برای ارزیابی ژنوتیپ‌های نخود کابلی در مناطق مورد نظر استفاده کرد.

ژنوتیپ‌های G3 و G8 بهترین ژنوتیپ‌ها در گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری بودند. برای کشت پاییزه دیم نخود، دو ژنوتیپ G1 (FLIP 08-94C) و G3 (FLIP 09-132C) به ترتیب برای محیط‌های "مراغه و ارومیه" و "کردستان و همدان" قابل توصیه هستند.

منابع

- احمدی کریم، عبادزاده حمید رضا، عبد شاه هلداء، کاظمیان آرزو، رفیعی مریم. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶. جلد اول: محصولات زراعی. تهران. وزارت جهاد کشاورزی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۸۷ صفحه.
- بدری هاجر، محمدی رضا، اطمینان علیرضا. ۱۳۹۹. بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۱۲(۳۳): ۱۱۹-۱۲۶.
- پزشکپور پیام، کریمی‌زاده رحمت‌اله، میرزایی امیر، برزعلی محمد. ۱۳۹۸. پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش نخود در کشت پاییزه با استفاده از روش GGE biplot. نشریه علمی زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۱۵(۱): ۲۹-۴۳.
- کانونی همایون، صباغ‌پور سید حسین، سعید علی. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت زمستانه. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(۱): ۶۳-۷۵.
- کریمی‌زاده رحمت‌اله، حسین‌پور طهماسب، آلت جعفری‌بای جبار، شهبازی هومونلو کمال، آرمیون محمد، شریفی پیمان. ۱۳۹۹. تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم با استفاده از مدل GGE biplot در شرایط دیم. نشریه زراعت دیم ایران. ۹(۲): ۲۸۳-۲۱۷.

FAOSTAT. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Database available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Farshadfar E, Rashidi M, Jowkar MM, Zali H. 2012. GGE Biplot analysis of genotype × environment interaction in chickpea genotypes. *Europ. J. Exp. Biol.* 3(1):417-423.

Gedif M, Yigzaw D. 2014. Genotype by environment interaction analysis for tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) using a GGE Biplot method in Amhara region, Ethiopia. *Agric. Sci.* 5: 239-249.

Karimizadeh R, Mohammadi M, Sabaghni N, Mahmoodi AA, Roustami B, Seyyedi F. 2013. GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under

- rainfed condition. *Notulae Scientia Biologica* 5:256-262.
- Kaya Y, Akcura M, Taner S. 2006. GGE-biplot analysis of Multi-Environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30:325-337.
- Kroonenberg PM. 1995. Introduction to biplots for GxE tables. Department of Mathematics, Research Report 51. Australia: Univ. of Queensland.
- Malhotra, RS. 1998. Breeding chickpea for cold tolerance . 3rd European Conference on Grain Legumes , pp.152.
- Mehari M, Tesfay ., Yirga H, Mesele A, Abebe T, Workineh A, Amare B. 2015. GGE biplot analysis of genotype-by-environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in South Tigray, Ethiopia. *Commun. Biometry Crop Sci.* 10: 17–26.
- Millan T, Madrid E, Cubero JI, Amri M, Castro P, Rubio J. 2015. Chickpea. In: De RON, A.M. (Ed.). Grain legumes, Hand book of plant breeding 10, Spring of science, Business Media, New YORK. pp: 85-109.
- Mohamed NE, Ahmed AA. 2013. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype \times environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 8: 5197–5203.
- Mohammadi R, Haghparast R, Amri A, Ceccarelli S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop Pasture Sci.* 61: 92-101.
- Mortazavian SM, NikKhah HR, Hassani, FA, Sharif-al-Hosseini M, Mahlooji MM. 2014. GGE-biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. *J. Agric. Sci. Technol.* 16: 609-622.
- Olivoto T, Lúcio, AD. 2020. metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods Ecol. Evol.* 11, 783–789.
- Rakshit S, Ganapathy KN, Gomashe SS, Rathore A, Ghorade RB, Kumar MVG, Ganesmurthy K, Jain SK, Kamtar MY, Sachan JS, Ambekar SS, Ranwa BR, Kanawade DG, Balusamy M, Kadam D, Sarkar A, Tonapi VA, Patil JV. 2012. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. *Euphytica* 185: 465–479.
- Rosado RD, Rosado TB, Cruz CD, Ferraz A G, Conceição LDC, Laviola BG. 2019. Genetic parameters and simultaneous selection for adaptability and stability of macaw palm. *Scientia Horticulturae*, 248, 291–296.
- Sharifi P, Aminpanah H, Erfani R, Mohaddesi A, Abbasian A. 2017. Evaluation of genotype \times environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice science* 24(3): 173-180.
- Singh KB, Malhotra RS, Saxena MC. 1989. Chickpea Evaluation for Cold Tolerance under Field Conditions. *Crop Sci.* 29(2):282.
- Toker, C. 2005. Preliminary screening and selection for cold tolerance in annual wild Cicer species. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 52:1–5.
- Varshney RK, Thudi M, Muehlbauer FJ. 2017. The Chickpea Genome. Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-66117-9
- Whaley R, Eskandari M. 2019. Genotypic main effect and genotype-by-environment interaction effect on seed protein concentration and yield in food-grade soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Euphytica* 215 (2): 1-17.

- Wright K, Laffont JL. 2018. Package 'gge'. <https://github.com/kwstat/gge/issues>.
- Yan W, Cornelius PL, Crossa J, Hunt LA. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. *Crop Science* 41: 656–663.
- Yan W, Kang MS, Ma B, Wood S, Cornelious PL. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science* 47: 643-655.
- Yan W, Kang MS. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, Geneticists and Agronomists. 1st Edn., CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, pp: 271.
- Yan W, Rajcan I. 2002. Biplot Analysis of Test Sites and Trait Relations of Soybean in Ontario. *Crop Science* 42(1):11-20.
- Yan W, Tinker NA. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623–645.

Seed yield stability of cold tolerant chickpea genotypes in dryland autumn planting

Hamid Hassanian Khoshro ^{*1}, Homayon Kanouni ², Maryam Hajihassani ³,
Ali-Ehsan Nosrati ⁴

1- Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.

2- Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran.

3- West Azabaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran.

4- Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran

Abstract

Evaluating of the chickpea genotypes under different environmental conditions would be useful to identify genotypes with stable and high yield potential. The purpose of this study was to identify high yielding genotypes, cold tolerant and stable types for sowing in cold regions of Iran. The experiment was conducted using thirteen chickpea genotypes in randomized complete block design with four replications in four cold regions of Iran including Maragheh, Kurdistan, Urmia, and Hamedan during three successive cropping seasons (2017-2020) in autumn planting under dryland conditions. Among the chickpea genotypes, the highest and lowest average seed yield obtained in G1 (893 kg.ha⁻¹) and G9 (744 kg.ha⁻¹), genotypes, respectively. The contribution of environments (E), genotypes (G), and genotype × environment interaction (GEI) to the total variation in seed yield was 68.4%, 1.21% and 10.30%, respectively. According to singular value partitioning, the first two principal components explained PC1=42.86% and PC2=27.88% of total variations in data of seed yield. On the basis of GGE biplots, G1, G3 and G8 had high seed yield and yield stability as compared to the other genotypes. In conclusion, G1, G3 and G8 with high mean yield and stability performance can be used in selection/ recommendation process of cultivar.

Keywords: GG Biplot, Heat-map plot, Kabuli chickpea, Yield stability

* Corresponding author: h.hosnian@areeo.ac.ir Submit date:2021/04/26 Accept date: 2021/09/11