"مجله علوم زراعی ایران"
جلد هیجدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت زمستانه

Assessment of genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions

همایون کانونی[۱]، یداله فرایدی[۲]، سید حسین صباغ پور[۳] و علی سعید[۴]

چکیده

کانونی، ه.، ی. فرایدی، س.ح. صباغ پور و ع. سعید. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت زمستانه. **مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(۱): ۷۵-۶۳.**

هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد ارقام و لاین‌های نخود سفید و شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار در شرایط متفاوت محیطی بود. در این آزمایش چهارده لاین و رقم نخود تیپ کابلی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی کردستان، ارومیه، مراغه و همدان به مدت سه سال زراعی (۹۱-۱۳۸۸) در شرایط دیم مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در محیط‌های؛ ارومیه سال ۱۳۸۹(U1)(۱۹۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار) و همدان سال ۱۳۹۰ (H2)(۳۷۹/۱ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. از بین لاین‌های نخود مورد بررسی، بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌هایG4 (۱۱۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و G2 (۷۵۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت. تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط معنی‌دار بودند. سهم محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها در تغییرات عملکرد دانه به ترتیب ۷۰/۶۱، ۳/۲۰ و ۱۱/۲۱درصد بود. مقدارGEI با استفاده از مدل بای پلات تفکیک شد و طبق تجزیهٔ مقادیر منفرد، دو مولفهٔ اصلی اول به‌ترتیب PC1= ۴۳/۰۹ و PC2= ۲۳/۳۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. بر اساس نمودارهای GGE بای‌پلات، ژنوتیپ‌های G6، G4 و G11 از عملکرد دانه و پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. نتایج این تحقیق، محیط‌ها را به دو ناحیهٔ بزرگ شامل «ارومیه و مراغه» و «کردستان و همدان» تقسیم نمود که برای هر ناحیه به‌ترتیب لاین‌های G6 (FLIP 99-26C) و G4 (FLIP 00-39C) قابل توصیه هستند. همچنین ژنوتیپ‌های G5، G7 و G8به عنوان لاین‌های دارای سازگاری عمومی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه پایداری، عملکرد دانه، نخود تیپ کابلی و GG بای پلات.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی به شماره مصوب۸۸۰۳۳-۱۵-۵۳-۰ و گزارش نهایی به شماره فروست۴۴۱۰۲ مورخ ۹۲/۰۹/۲۷ می‌باشد

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: hkanouni@yahoo.com)
۲- مربی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه
۳- استاد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان
۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، ارومیه

مقدمه

نخود سومین گیاه مهم از گروه حبوبات در جهان و مهم‌ترین آن‌ها در ایران است. سطح زیر کشت نخود در کشور حدود ۶۵۰ هزار هکتار است که از این سطح سالیانه حدود ۳۰۰ هزار تن نخود برداشت می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2014). ایران رتبه هفتم جهانی را در تولید نخود پس از کشورهای هند، استرالیا، ترکیه، میانمار، پاکستان، و اتیوپی داراست (FAO, 2012).

کشاورزان نخودکار به ارقامی نیاز دارند که عملکرد بالایی داشته و این خصوصیت مطلوب را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی و در خلال سال‌ها حفظ نمایند (Zali *et al.*, 2007). به‌منظور انتخابِ 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 دانهٔ آنها در سال‌ها و مناطق مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

الگوی تغییرات صفات کمّی پیوسته بوده و قابل انتساب 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 شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کمک کند. اثر متقابل 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 با توجه به نتایج آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی کرد. روش‌های مختلفی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است که شامل روش‌های یک متغیره و چند متغیرهٔ پارامتری و ناپارامتری هستند (Mohammadi*et al.*, 2012). اگرچه محاسبه و استفاده از روش‌های یک متغیرهٔ پارامتری و ناپارامتری آسان است، ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چند بعدی اثر متقابل را به خوبی تفسیر نمایند (Yan and Rajcan, 2002). برای رفع این مشکل استفاده از روش‌های چند متغیره پیشنهاد شده است.

واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف همان اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GEI) است. برای فائق آمدن بر GEI، آزمایشات معمولاً در مکان‌ها و سال‌های متعدد اجرا می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که ژنوتیپ‌های گزینش شده عملکرد بالا و با ثباتی در محیط‌های متفاوت دارند. داده‌های حاصل از این آزمایشات برای تعیین GEI به روش‌های مختلف تجزیه می‌شوند. مدل (Genotype + Genotype× Environment Interactions;GGE) یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر برای ارزیابی بصری و تجزیهٔ گرافیکی داده‌های آزمایشات چند منطقه‌ای از طریق ایجاد یک بای‌پلات ابداع شده است (Yan and Tinker, 2006). این مدل بر مبنای رسم دو مؤلفهٔ اصلی اول (PC1 و PC2) حاصل از تجزیهٔ مقادیر منفرد داده‌های با مرکزیت محیط استوار است. مدل GGE بای‌پلات، 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 مگامحیط به گروهی از محیط‌ها گفته می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ در آن مگامحیط بهترین عملکرد یا بالاترین واکنش محیطی را داشته باشند (Yan and Rajcan, 2002). روش GGE بای‌پلات توسط محققان متعددی در گیاهان زراعی مختلف برای تجزیهٔ داده‌های آزمایشات ناحیه‌ای مفید و کاربردی تشخیص داده شده است (Pourdad and Jamshid-Moghaddam, 2012; Shiri and Bahrampour, 2015Farshadfar *et al.* 2012Mortazavian*et al.* 2014; Zali*et al.*, 2007).

در خصوص بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در

نخود دیم کشور تحقیقات نسبتاً زیادی صورت گرفته است (Farshadfar*et al*., 2012; Kanouni*et al*., 2007; Zali*et al*., 2007). آزمایش حاضر با هدف استفاده از مدل GGE بای‌پلات برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و تعیین پایداری عملکرد دانه ۱۴ ژنوتیپ نخود سفیددر شرایط محیطی غرب کشور انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سه سال زراعی (۹۱-۱۳۸۸) در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی کردستان (سنندج)، ارومیه، مراغه و همدان به‌صورت دیم اجرا شد. شرایط اقلیمی محل‌های اجرای آزمایش در (جدول ۱) ارائه شده است. در این آزمایش ۱۳ ژنوتیپ نخود سفید همراه با رقم جم (به‌عنوان شاهد)(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 مهر ماه هر سال انجام شد.

جدول ۱- اطلاعات آب و هوایی و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش (۹۱-۱۳۸۸)

Table 1.Meteorological and geographical information of experimental locations (2009-2012)

مکان Location		طول و عرض جغرافیایی Longitude & Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	سال Year	کد Code	دما Temperature (°C) حداقل Min.	دما Temperature (°C) حداکثر Max.	بارندگی Precipitation (mm)
Urmia	ارومیه	37° 32'N 45° 05'E	1880	2009-10	U1	-15.28	36.25	498.10
				2010-11	U2	-11.18	34.25	351.40
				2011-12	U3	-21.53	35.77	263.20
Kurdistan	کردستان	37° 32'N 45° 05'E	2120	2009-10	K1	-16.05	36.66	442.30
				2010-11	K2	-20.41	30.18	305.11
				2011-12	K3	-18.22	32.80	352.80
Maragheh	مراغه	37° 32'N 45° 05'E	1720	2009-10	M1	-17.22	33.23	291.22
				2010-11	M2	-17.93	29.61	303.20
				2011-12	M3	-19.32	30.44	300.16
Hamedan	همدان	37° 32'N 45° 05'E	1619	2009-10	H1	-15.64	32.09	298.93
				2010-11	H2	-16.19	31.38	309.37
				2011-12	H3	-14.24	31.44	333.05

عملیات زراعی شامل خاک‌ورزی و آماده سازی محل اجرای آزمایشات بطور یکنواخت برای تمامی ایستگاه‌ها انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل چهار خط چهار متری به فواصل ۳۰ سانتیمتر و فاصلهٔ 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 ۲- نام، مبداء و کد ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه

Table 2. Name, origin and code of chickpea genotypes

نام ژنوتیپ Genotype name	مبداء Origin	کد Code	ژنوتیپ Genotype	مبداء Origin	کد Code
FLIP 01-40C	ICARDA	G1	FLIP 02-512C	ICARDA	G8
SEL99 TH150454	ICARDA	G2	FLIP 00-84C	ICARDA	G9
FLIP 97-85C	ICARDA	G3	FLIP 01-9C	ICARDA	G10
FLIP 00-39C	ICARDA	G4	FLIP 01-18C	ICARDA	G11
FLIP 97-230C	ICARDA	G5	FLIP 98-15C	ICARDA	G12
FLIP 99-26C	ICARDA	G6	FLIP 99-45C	ICARDA	G13
FLIP 02-84	ICARDA	G7	JAM (Check)	Iran	G14

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 و در ادامه تجزیه GGE بای‌پلات بر اساس مدل زیر انجام گرفت (Yan and Tinker, 2006; Yan *et al.*, 2007):

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{1i} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{2i} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

در رابطه فوق Y_{ij} میانگین ژنوتیپ iام در محیط jام، μ میانگین کل، β اثر محیط jام، λ_1 و λ_2 مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفهٔ اصلی (PC_1 و PC_2)، ξ_{1i} و ξ_{2i} بردارهای ویژه مربوط به iامین ژنوتیپ برای PC_1 و PC_2، η_{1j} و η_{2j} بردارهای ویژهٔ jامین محیط برای PC_1 و PC_2 و بالاخره ε_{ij} باقیمانده یا خطای مدل هستند. تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با استفاده از برنامهٔ GenStat نسخه ۱۲ انجام و نمودارهای لازم رسم شدند (GenStat, 2010; Payne, 2009).

نتایج و بحث

میانگین عملکرد دانهٔ لاین‌های نخود مورد بررسی در سال‌ها و مکان‌های آزمایشی در دامنهٔ ۱۱۶۳/۵۰ کیلوگرم در هکتار برای لاین G4 تا ۷۵۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار برای G14 (رقم شاهد) متغیر بود و بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، لاین G4 برتری معنی‌داری نسبت به لاین‌های G2، G3، G13 و G14 داشت (جدول ۳). لاین G4 در محیط‌های K1، K2، K3 و M2، و لاین G9 در U2، M3 و H3 برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. لاین G6 در دو محیط U1 و M1، و G10 و G14 به ترتیب در محیط‌های H2 و H1 بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. بیشترین و کمترین مقدار نزولات به ترتیب در محیط‌های U1 و U3 به‌وقوع پیوست. محیط U3 به عنوان نامناسب‌ترین محیط شناسایی شد، زیرا کمترین میزان بارندگی و سردترین زمستان مربوط به ایستگاه ارومیه در سال سوم بود (جدول ۱). لاین G4 با ۲۱۱۵/۸ کیلوگرم دانه در هکتار در U1 بیشترین عملکرد و لاین G10 با ۲۷۰/۴ کیلوگرم دانه در هکتار در M3 کمترین عملکرد را تولید کردند.

لاین‌های G10 و G14 اثر متقابل متقاطع (Cross-over) نشان دادند، زیرا در یک محیط بیشترین و در محیط دیگر کمترین میزان عملکرد دانه را تولید کردند. از بین محیط‌های آزمایشی، بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در محیط‌های U1 (۱۹۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار) و H2 (۳۷۹/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که دلالت بر تاثیر خاک، دما، نزولات و سایر شرایط محیطی بر عملکرد دانه داشت. بیشترین و کمترین ضریب تغییرات به ترتیب مربوط به مراغه در سال سوم (M3) و مراغه در سال اول (M1) بود. تجزیه واریانس سادهٔ محیط‌ها نشان داد که به جز در مورد K2، M3 و H1، در بقیهٔ محیط‌ها، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها معنی دار بود (جداول ارائه نشده‌اند).

بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معنی‌دار بودند. محیط به‌تنهایی ۷۱ درصد از مجموع مربعات کل را تبیین کرد و به‌دنبال آن سهم اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و اثر ژنوتیپ به ترتیب برابر با ۱۱ و ۳ درصد بود. اثر محیط به ترتیب ۶/۵ و ۲۳/۵ برابر اثرات GE و G بود، بنابراین محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانهٔ لاین‌های نخود ایجاد کرد. بزرگ بودن اثر محیط توسط تعداد زیادی از محققان در نخود و سایر گیاهان زراعی گزارش شده است (Shiri and Bahrampour, 2015; Farshadfar *et al.*, 2012; Mehari *et al.*, 2015; Mohammadi *et al.*, 2012).

تفکیک اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به‌وسیلهٔ روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مولفه اصلی اول (PC1 و PC2) به ترتیب ۴۳/۰۹ و ۲۳/۳۴ درصد و در مجموع ۶۶/۴۳ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل GE را توجیه کردند (شکل ۱). تجزیهٔ بای‌پلات می‌تواند محیط‌های آزمایشی را به چهار گروه دسته‌بندی کند. ژنوتیپ‌هایی که دارای PC1 بیشتر از

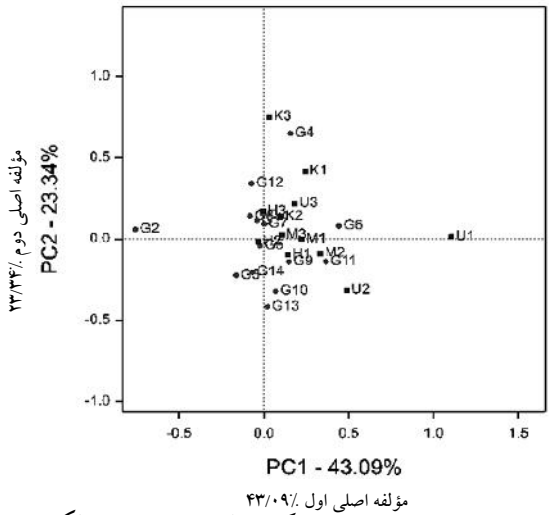
جدول ۳- میانگین عملکرد، مقدار احتمال و حداقل تفاوت معنی‌دار ژنوتیپ‌های نخود در ۱۲ محیط

Table 3. Mean seed yield, probability value and least significant difference of chickpea genotypes over 12 environments

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد Mean seed yield ($kg.ha^{-1}$)	میانگین عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$) در محیط‌های آزمایشی Mean seed yield ($kg.ha^{-1}$) at experimental environments											
		U1	U2	U3	K1	K2	K3	M1	M2	M3	H1	H2	H3
G1	982.33	2001.6	912.30	453.3	1490.1	885.9	1369.5	1290.8	812.5	501.7	1003.8	379.5	678.2
G2	756.02	837.6	452.3	515.1	1692.5	767.2	906.1	1142.1	518.8	285.1	724.3	407.9	823.5
G3	945.08	1625.7	1017.5	555.6	1540.3	702.8	834.3	1491.6	981.3	335.4	1017.1	459.7	780.1
G4	1163.50	2115.8	844.1	771.9	2170.5	1093.3	1728.7	1468.4	1112.5	349.6	1027.8	293.2	1049.8
G5	983.07	1936.2	1072.8	554.1	1782.6	838.5	951.3	1289.6	793.8	276.5	984.1	412.3	896.4
G6	1141.20	2625.9	1200.1	851.1	2045.3	887.1	1014.8	1640.2	918.8	493.2	973.1	383.4	662.1
G7	1015.70	1972.8	838.4	1140.3	1660.2	847.2	1014.4	1370.3	775.1	399.1	1126.3	289.4	745.9
G8	974.21	1934.4	689.1	641.1	1860.1	711.6	1059.9	1434.9	681.3	489.1	1035.1	362.1	792.1
G9	1111.30	1912.2	1523.2	746.9	1855.3	733.1	873.6	1466.1	1037.5	535.1	1119.2	247.9	1159.2
G10	994.64	2011.5	1257.5	429.3	1423.6	843.4	900.3	1446.6	1106.3	270.4	1113.3	499.5	625.4
G11	1069.50	2566.1	1109.2	695.2	1927.5	845.8	753.2	1376.1	1087.5	413.1	1018.3	379.4	662.4
G12	1051.00	1724.4	947.6	938.6	1902.5	778.4	1473.3	1342.3	881.3	349.1	1159.1	493.1	622.8
G13	945.14	1978.2	1122.9	707.9	1485.1	781.2	549.5	1285.7	987.5	357.4	1120.1	279.3	687.1
G14(check)	968.91	1794.5	923.9	495.4	1490.2	913.5	964.2	1554.7	962.5	400.3	1437.8	283.4	407.3
P value	0.003	0.001	0.001	0.001	0.038	0.057	0.001	0.001	0.008	0.115	0.232	0.001	0.002
LSD 5%	195.09	638.21	327.84	206.74	443.17	207.87	337.82	149.29	302.25	198.15	376.09	112.04	294.39
C.V (%)	23.15	23.11	26.24	21.31	17.87	17.51	22.97	7.46	23.38	35.51	24.78	20.67	27.18
Total mean ($kg.ha^{-1}$)	1006.5	1931.2	993.6	678.3	1733.6	830.7	1208.1	1400.1	904.0	390.3	1016.3	379.1	757.2

صفر باشند، به عنوان لاین‌های پرمحصول و آن‌هایی که نمرهٔ PC1 آن‌ها کمتر از صفر باشد، به‌عنوان لاین‌های کم محصول شناخته می‌شوند (Mohamed and Ahmad, 2013)، بنابراین در این تحقیق لاین‌های G6، G4، G11 و G9 ژنوتیپ‌های پرمحصول و برخی لاین‌ها از جمله G2، G3 و G14 ژنوتیپ‌های کم‌محصول بودند.

مقادیر مطلق PC2 نشان دهنده پایداری ژنوتیپی



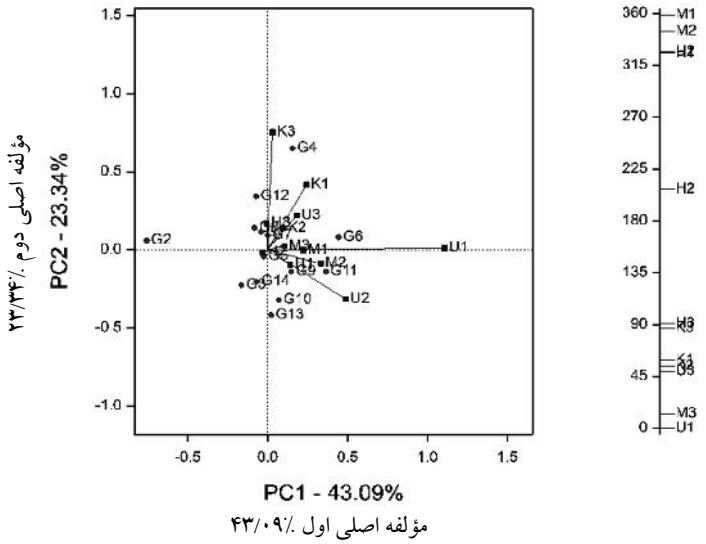
شکل ۱- بای پلات GGE بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود

Fig. 1. GGE-biplot based on genotype focused scaling for seed yield of chickpeagenotypes

لاین‌های آزمایشی هستند (Kaya *et al.*, 2006; Mohammadi *et al.*, 2010). بر این اساس، در آزمایش حاضر لاین G6 بیشترین میزان پایداری را داشت و به دنبال آنلاین‌های G11 و G9 پایداری بیشتری نسبت به سایر لاین‌های نخود مورد بررسی داشتند.

در شکل ۲ مقیاس بندی بر مبنای محیط انجام شده و GGE بای‌پلات الگوی محیط‌ها را برآورد نموده است. برای به تصویر کشیدن روابط بین محیط‌ها، هر کدام از محیط‌ها با استفاده از یک خط به مرکز بای‌پلات وصل می‌گردد که بردارهای محیطی خوانده می‌شوند. کسینوس زاویهٔ بین بردار دو محیط برای تقریب رابطهٔ بین آن‌ها به‌کار می‌رود و زاویهٔ کمتر از ۹۰ درجه بین بردارهای محیطی، نشان‌دهندهٔ همبستگی مثبت بین محیط‌های آزمایشی است (Yan and Tinker, 2006)، بنابراین محیط‌های U2، M2 و U1 از یک طرف و محیط‌های K3 و K1 از طرف دیگر، مشابهت زیادی با هم داشتند، اما بیشترین همبستگی مثبت بین محیط‌های M1 و U1، H1 و U2، H3 و K3 وجود داشت و وجود همبستگی منفی بین محیط‌هایی مانند U2 و K3 با توجه به زاویهٔ بیش از ۹۰ درجه بین بردارهای آن‌ها، قابل تشخیص است. بردار محیط K3 با بردار محیط‌های U1، M1 و M2 زاویه حدود ۹۰ درجه داشته که نشان دهنده عدم وجود همبستگی یا عدم وجود شباهت بین محیط K3 با سه محیط فوق است. گدیف و یگزاو (Gedif and Yigzaw, 2014)، محمد و احمد (Mohamed and Ahmad, 2013) و یان و راجکان (Yan and Rajcan, 2002) گزارش کردند که وجود رابطهٔ نزدیک بین محیط‌های آزمایشی نشان دهنده اطلاعات مشابه در بارهٔ محیط‌ها است، به طوری که در صورت اجرای آزمایشات مشابه، می‌توان برای کاهش هزینه ها 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 تحقیق محیط‌های U1 و K3 طویل‌ترین بردار و بیشترین قابلیت تمایز را در بین محیط‌های آزمایشی داشتند. به دنبال این دو، محیط‌های U2، K1 و M2 به ترتیب متمایزکننده‌ترین محیط‌ها بودند و محیط M3 از کمترین قدرت تمایز برخوردار بود. سایر محیط‌های آزمایشی طول بردار نسبتاً برابری داشته و به عبارت دیگر توانایی تمایز مشابهی داشتند. محیط‌های دارای این خصوصیات همبستگی مثبتی با یکدیگر داشتند.

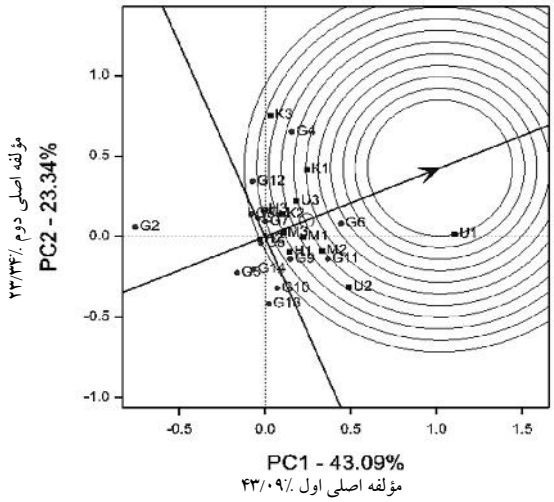


شکل ۲- نمودار بای‌پلات برای نشان دادن روابط بین محیط‌های آزمایشی (۹۱-۱۳۸۸)

Fig 2.Biplotdiagram to show relationships between experimental environments (2009-2012)

در شکل ۳ بای‌پلات مقایسهٔ محیط‌های آزمایشی ارائه شده است. مختصات محیط متوسط (AEC) خطی است که از محیط متوسط و مبداء مختصات بای‌پلات عبور می‌کند (در شکل با دایره کوچک نشان داده شده است). هرچه زاویهٔ بین محیط آزمایشی با محور AEC کوچک‌تر باشد، نماینده بودن آن بیشتر از سایر محیط‌های آزمایشی است (Mohammadi *et al*., 2012). چنانچه ملاحظه می‌شود، U1وK1 بیش از سایر محیط‌های آزمایشی نماینده بودند. از آنجا که این دو محیط بر اساس شکل ۲، هم قدرت تمایز بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها داشته و هم خاصیت نماینده بودن را دارند، این محیط‌ها به عنوان محیط‌های آزمایشی مناسب برای گزینش لاین‌های سازگار و پرمحصول نخود شناسایی شدند. ضمناً مرکز دوایر هم‌مرکز به عنوان محیط ایده‌آل در نظر گرفته شده و محیط U1 نزدیک‌ترین محیط به محیط ایده‌آل بوده و در میان محیط‌های مورد نظر از همه مطلوب‌تر شناخته شد.

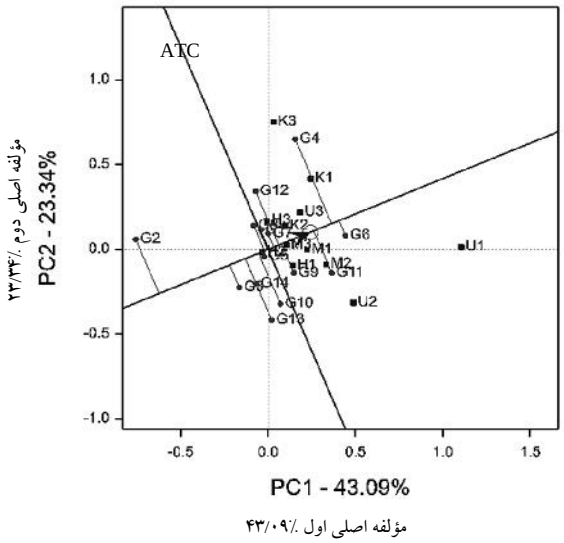
در شکل ۴ میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های آزمایشی از طریق رسم محور پایداری نشان داده شده است. در این شکل، محوری که با فلش نشان داده شده مشخص کنندهٔ پایداری است و هر لاینی که به این محور نزدیکتر باشد، پایدارتر است. محور عمود بر آن که ATC نامیده می‌شود، شاخصی است که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های آزمایشی را با متوسط کل مقایسه می‌کند (Yan and Tinker, 2006).



شکل ۳- بای پلات رسم شده بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر محیط برای مقایسهٔ محیط‌های آزمایشی با محیط مطلوب

Fig. 3.Biplot drawn based on environment focused scaling to compare experimental environments with an ideal environment

لاین‌های موجود در سمت راست محور ATC دارای عملکرد دانهٔ بالاتر از متوسط و لاین‌های واقع در طرف چپ این محور، میانگین عملکرد کمتر از متوسط دارند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی مانند G6، G11 و G9 که با خط کوتاه‌تری به محور پایداری وصل شده‌اند، دارای پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند. لاین‌های G4، G6 و G11 میانگین عملکرد بیش از متوسط و لاین‌های G2، G4، G14 میانگین عملکرد کمتر از متوسط داشتند. از بین این ژنوتیپ‌ها، لاین G6 به عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین ژنوتیپ



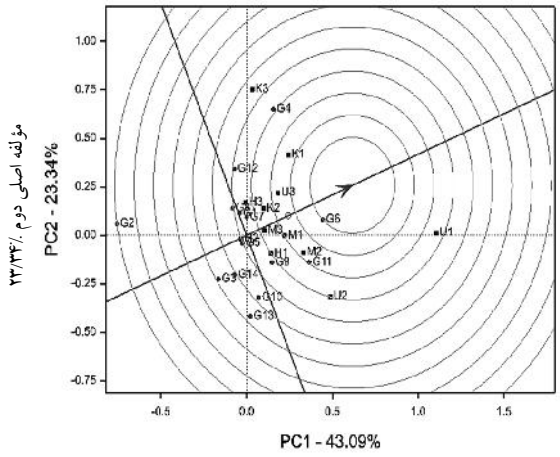
شکل ۴- گزینش هم‌زمان برای عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های نخود دیم در محیط‌های مختلف

Fig 4. Simultaneous selection for seed yield and stability of chickpea genotypes at different environments

شناخته شد. لاین G2 به عنوان کم‌محصول‌ترین ژنوتیپ با پایداری ضعیف شناخته شد. از طریق این بای‌پلات

می‌توان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا ولی با پایداری متوسط یا ضعیف (مانند لاین G4) را برای محیط‌های ویژه گزینش کرد. این ژنوتیپ سازگاری اختصاصی بسیار خوبی به محیط کردستان (K1 و K3) نشان داد.

در شکل ۵ لاین‌های آزمایشی با ژنوتیپ مطلوب فرضی مقایسه شده‌اند. ژنوتیپ مطلوب، ژنوتیپی است که ضمن داشتن پایداری در طول محیط‌ها، واجد بیشترین میانگین عملکرد دانه نیز باشد (Farshadfar *et al.*, 2012). محور ژنوتیپ مطلوب از مبداء مختصات بای‌پلات و مرکز دوایر هم مرکز گذشته و با یک پیکان مشخص می‌گردد. محور عمود بر آن (AEC)، وضعیت عملکرد ژنوتیپ‌ها را در مقایسه با میانگین کل مشخص می‌کند. از بین ژنوتیپ‌های پرمحصول، آن‌که بیشترین طول بردار را داشته و کمترین سهم را در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط داشته باشد، ژنوتیپ مطلوب فرضی خوانده می‌شود (Mohamed and Ahmad, 2013; Yan *et al.*, 2007). شکل ۵ نشان می‌دهد که G6 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ مطلوب (وسط دوایر هم‌مرکز) است. پس این لاین از سایر ژنوتیپ‌های آزمایشی مطلوب‌تر است.



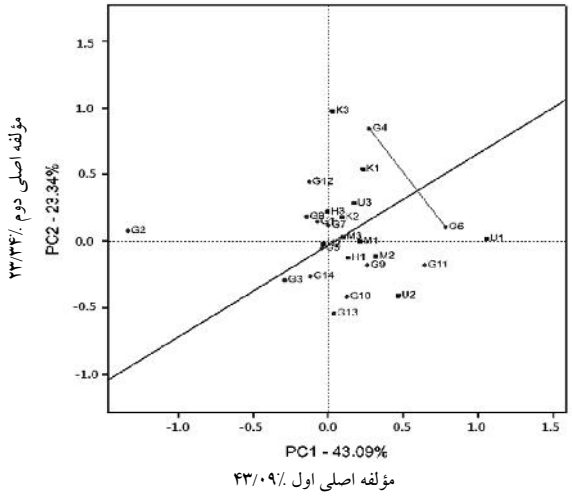
شکل ۵- بای پلات رسم شده بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای مقایسه ژنوتیپ‌های نخود آزمایشی با ژنوتیپ مطلوب

Fig 5.Biplot drawn according to genotype focused scaling for comparison of chickpea genotypes with an ideal genotype

در GGE بای پلات، نمود دو ژنوتیپ از طریق رسم خط برابری (Equality line) با وصل کردن آنها به یکدیگر با یک خط راست و رسم یک خط عمود بر آن که از مبداء بای‌پلات بگذرد، قابل مقایسه هستند (Mehari *et al.*, 2015). در شکل۶، دو لاین G4 و G6 که بیشترین عملکرد دانه را در میانگین محیط‌ها داشتند با یکدیگر مقایسه شده‌اند و خط برابری، محیط‌هایی را که در آن G4 دارای عملکرد بهتری است، از محیط‌هایی که در آن‌ها G6 عملکرد بالاتری دارد، جدا می‌کند. ملاحظه می‌شود که لاین G6 در همهٔ سال‌ها در مراغه (M1، M2 و M3)، در سال‌های اول و دوم در ارومیه (U1 و U2) و در سال اول در همدان (H1) مطلوب‌ترین ژنوتیپ و لاین G4 در سه سال در کردستان (K1، K2 وK3)، همدان در سال‌های دوم و سوم (H2 و H3) و ارومیه در سال سوم (U3)، ژنوتیپ برتر بودند. از آنجا که عملکرد حاصل از محیط‌هایی مانند U1، U2، M1 و M2 بالاتر از متوسط محیط‌ها بود (جدول ۲)، می‌توان نتیجه گرفت که لاین G6

سازگاری بهتری نسبت به لاین G4 در مناطق با پتانسیل بالا داشته است.

چندضلعی GGE بای پلات به اصلاحگر کمک می‌کند تا اثرات متقابل متقاطع و غیر متقاطع را از یکدیگر تشخیص داده و محیط‌های کلان (Mega environments) را در آزمایشات ناحیه‌ای تعیین

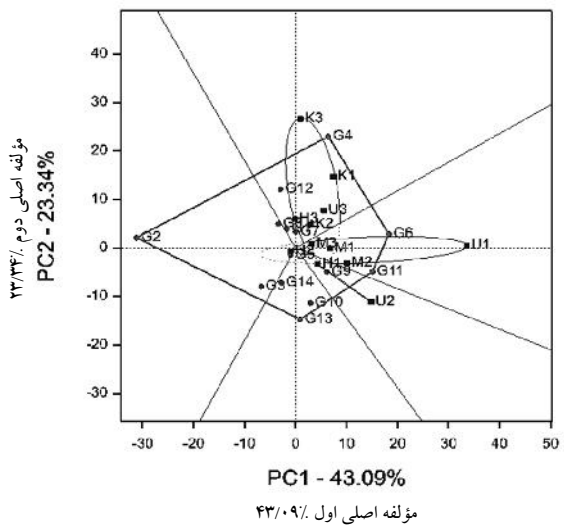


شکل ۶- مقایسهٔ لاین‌های نخود G4 و G6 بر اساس عملکرد دانه در محیط‌های مختلف

Fig 6. Comparing two chickpea genotypes, G4 and G6 according to their seed yield at different environments

نماید (Mortazavian *et al*., 2014; Yan and Tinker, 2006). در شکل ۷ نمایش چند ضلعی برای آزمایش حاضر شامل ۱۴ ژنوتیپ نخود در ۱۲ محیط نشان داده شده است. در این شکل، ژنوتیپ‌های G6، G4، G2، G13 و 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. بقیه ژنوتیپ‌ها در داخل چند ضلعی قرار گرفتند. خطوطی که از مبداء مختصات عمود بر اضلاع چند ضلعی رسم شده‌اند، گروه‌های محیطی و یا محیط‌های کلان را مشخص می‌کنند. بطوری که ملاحظه می‌شود، در این آزمایش محیط‌ها به ۲ گروه محیطی کلان و یک گروه محیطی تقسیم شدند. گروه محیطی کلان اول شامل محیط‌های کردستان در هر سه سال (K1, K2, K3)، ارومیه در سال سوم (U3) و همدان در سال سوم (H3) بود که ژنوتیپ G4 (FLIP 00-39C) بیشترین و با ثبات‌ترین عملکرد را در این گروه داشت. در گروه محیطی کلان دوم، محیط‌های مراغه در هر سه سال (M1, M2, M3) و ارومیه در سال اول (U1) قرار داشتند و ژنوتیپ برتر و پایدار در این گروه، لاین G6 یا FLIP 99-26C بود. گروه سوم شامل محیط‌های ارومیه در سال دوم (U2) و همدان در سال اول (H1) بود و لاین FLIP 00-84C (G9) بالاترین عملکرد دانه را در این گروه محیطی کسب کرد.

ژنوتیپ‌های G13 (FLIP 99-45C) و G2 (SEL99TH150454) در هیچ‌کدام از محیط‌ها برتر نبودند. بعضی از ژنوتیپ‌ها مانند G3، G5، G7، و G14 که در نزدیکی مرکز بای‌پلات قرار داشتند، دارای عملکرد متوسط و سازگاری عمومی در تمامی محیط‌های آزمایشی بودند. بر اساس شکل ۷، دو محیط کلان شامل ارومیه+ مراغه و کردستان+ همدان در مناطق سردسیر غرب و شمال‌غرب کشور مشخص شدند و این دو محیط به خوبی با توزیع جغرافیایی مکان‌ها مطابقت داشتند.



شکل ۷- الگوی تناسب ژنوتیپ برای محیط در چهارده لاین نخود مورد ارزیابی در ۱۲ محیط آزمایشی

Fig 7. Which won where pattern for 14 chickpea genotypes studied at 12 experimental environments

نتیجه‌گیری

در این آزمایش که با هدف بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در ژنوتیپ های نخود تیپ کابلی در کشت زمستانه دیم در غرب و شمال‌غرب کشور انجام شد، اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معنی‌دار بودند و محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانه ایجاد کرد. ژنوتیپ‌های G6، G11 و G4 به ژنوتیپ مطلوب نزدیک‌تر بودند و بنابراین می‌توان از آن‌ها به عنوان شاهد برای ارزیابی ژنوتیپ‌های نخود سفید در مناطق مورد نظر استفاده کرد. ژنوتیپ G6 بهترین لاین در گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری بود. برای کشت پاییزه دیم نخود، دو محیط کلان شامل «مراغه و ارومیه» و «کردستان و همدان» تعیین شدند که به ترتیب برای ژنوتیپ‌های G6 (FLIP 99-26C) و G4 (FLIP 00-39C) قابل توصیه هستند.

منابع مورد استفاده

References

Ahmadi, K., H. Gholizadeh, H. Ebadzadeh, R. Hoseinpour, F. Hatami, Z. Mohiti, B.Fazli and M. Rafiei. 2014. Agricultural year book (2012-2013), Vol. 1. Ministry of Jihad-e-Agriculture, http://www.maj.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=6f66d3e3-0884-4823-b12d-6319a2edad84.

FAO. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

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

Gedif, M. and D. Yigzaw. 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.

GenStat. 2010. Genstat Procedure Library Release PL22.1. 12th Edition, VSN International Ltd., Hemel Hempstead.

Kanouni, H., A. R. Taleei and M. Khalily. 2007. Stability analysis of seed yield and one-hundred seeds weight in Desi type chickpea genotypes. Seed Plant J. 23(3): 297-310. (In Persian with English abstract).

Kaya, Y., M. Akcura and S. Taner. 2006. GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. Turk. J. Agric. Forest. 30: 325-337.

Mehari, M., M. Tesfay, H. Yirga, A. Mesele, T. Abebe, A. Workineh and B. Amare. 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.

Mohamed, N. E. and A. A. Ahmed. 2013. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype × environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Afr. J. Agric. Res. 8: 5197–5203.

Mohammadi, R. **R. Haghparast, A. Amri and S. Ceccarelli. 2010.** Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. Crop Pasture Sci. 61: 92-101.

Mohammadi, R., M. Armion, E. Zadhasan, M. M. Ahmadi and D. Sadeghzadeh Ahari. 2012. Genotype ×environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE biplotmodel. Seed Plant Improv. J. 28-1(3): 503-518. (In Persian with English abstract).

Mortazavian, S. M., M. NikKhah, H. R. Hassani, F. A. Sharif-al-Hosseini, M. Taheri and M. M. Mahlooji. 2014. GGE-biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. J. Agric. Sci. Technol. 16: 609-622.

Payne, R.W. 2009. GenStat. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics.1: 255–258.

Pourdad, S. S. and M. Jamshid–Moghaddam. 2012. Study on genotype × environment interaction through GGE biplot in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). J. Crop Prod.Process. 6(2): 99-107. (In Persian with English abstract).

Shiri, M. R. and T. Bahrampour. 2015. Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. Cereal Res. 5(1):83-94. (In Persian with English abstract).

Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Sci. 42: 11-20.

Yan, W. and N. A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Can. J. Plant Sci. 86: 623-645.

Yan, W., M.S. Kang, S. Woods and P.L. Cornelius. 2007. GGE Biplot vs AMMI analysis of genotype by environment data. Crop Sci. 47: 643-655.

Zali, H., S. Sabaghpour, E. Farshadfar, P. Pezeshkpour, M. Safikhani, R. Sarparast and A. Hashembeigi. 2007. Stability analysis of yield in chickpea genotypes by additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). J. Crop Prod. Process. 11(42):173-180. (In Persian with English abstract).

Assessment of genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions

Kanouni, H. [1], Y. Farayedi[2], S. H. Sabaghpour[3] and A. Saeid[4]

ABSTRACT

Kanouni, H., Y. Farayedi, S. H. Sabaghpour and A. Saeid. 2016. Assessment of genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions**. Iranian Journal of Crop Sciences. 18(1):63 -75. (In Persian).**

To investigate the effect of genotype, environment, and their interaction on seed yield of Kabuli type chickpea lines and identifying lines with high seed yield seed yield stability under different environmental conditions a field experiment was carried out. The experiment was conducted using fourteen chickpea genotypes in randomized complete bloch design with four replications in four agricultural research stations i.e. Urmia, Kurdistan , Maragheh and Hamedan during three successive cropping seasons (2010-2013) in winter planting under rainfed conditions. The highest average seed yield (1931.2 kg.ha^{-1}) was obtained at Urmia in 2011 and the lowest (379.1 kg.ha^{-1}) was at Hamedan in 2012. The highest and lowest average seed yield obtained in G4 (1163.5 kg.ha^{-1}) and G2 (756.02 kg.ha^{-1}), genotypes, respectively. Combined analysis of variance indicated that the main effect due to environments (E), genotypes (G), and genotype × environment interaction (GEI) were highly significant. The contribution of E, G, and GEI to the total variation in seed yield was about 70.61%, 3.20% and 11.21%, respectively. The GEI was partitioned using GGEbiplot model. According to singular value partitioning, the first two principal components explained PC1=43.09% and PC2=23.34% of total variations in data of seed yield. On the basis of GGE biplots, G6, G4 and G11 had high seed yield and yield stability as compared to the other genotypes. Results of this experiment divided environments to two distinct mega-environments including "Urmia and Maragheh" and "Kurdistan and Hamedan", which G6 (FLIP 99-26C) and G4 (FLIP 00-39C) can be recommended for each mega environment, respectively. In addition, G5, G7, and G8 identified as genotypes with wide adaptation for the four environments.

Key words: Seed yield, Kabuli chickpea, Stability analysis and GG Biplot.

Received: 22 December, 2015 Accepted: 28 May, 2016

1- Assistant Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Kurdistan Province, Sanandaj, Iran. Corresponding author) (Email: hkanouni@yahoo.com)
2- Faculty member, Dryland Agricultural Research Institute, Maragheh, Iran
3 -Professor, Agriculture and Natural ResourcesResearch and Education Center of Hamedan Province, Hamedan, Iran
4 -Assistant Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Eenter of West Azabaijan Province, Urmia, Iran