دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ریشه و عملکرد قندخالص در ژنوتیپ‌های چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) با استفاده روش چند متغیره AMMI و GGE بای‌پلات

مهدی حسنی[۱]، حمزه حمزه[۲] و حامد منصوری[۳]

۱- استادیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
(نویسنده مسوول: m.hasani@areeo.ac.ir)
۲- استادیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷
صفحه: ۲۲۲ تا ۲۳۵

چکیده

به منظور بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص در ٤٧ ژنوتیپ چغندرقند (٤٤ هیبرید جدید همراه با دو شاهد خارجی و یک شاهد داخلی)، در آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار در چهار منطقه همدان، کرمانشاه، شیراز و مشهد در سال زراعی ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. به منظور تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب پذیر (AMMI) و روش گرافیکی GGE بای پلات استفاده شد، نتایج اثرات افزایشی جمع‌پذیر (تجزیه واریانس) و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (تجزیه به مؤلفه‌های اصلی) نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بر عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد دو مؤلفه اول به ترتیب۸۹/۱۰ و ۹۵/٤۸ درصد از واریانس اثر متقابل را برای عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص تبیین کردند. نمودار بای پلات حاصل از اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل و میانگین عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص برای ژنوتیپ ها و محیط‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۲۸، ۲٦ و به ترتیب با متوسط عملکرد ریشه ٦٥/٦۳،۳٥/۸٥ و ٦۲/٤٦ تن در هکتار و عملکرد قند خالص ۸/۱۷، ۸/۳٥ و ۷/۷۹ تن در هکتار، عملکردهای بیشتر از میانگین کل و با کمترین مقدار برای اولین مؤلفه اثر متقابل به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند، بر اساس نتایج نمودار دو بعدی مربوط به دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ژنوتیپ شماره ٢٤ از لحاظ عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص برای محیط‌های همدان، شیراز و مشهد دارای سازگاری خصوصی بالایی بود، در حالیکه ژنوتیپ ٤٦ از لحاظ عملکرد ریشه و ژنوتیپ ۳٦ از لحاظ عملکرد قند خالص برای محیط کرمانشاه سازگاری خصوصی مناسبی نشان دادند. همچنین ژنوتیپ شماره ۳۷ از لحاظ عملکرد ریشه و ژنوتیپ ٤٤ از نظر عملکرد قند خالص نسبت به سایر ژنوتیپ ها از سازگاری عمومی بالاتری برخوردار بودند. در مقایسه با ارقام شاهد خارجی هیبریدهای ۲۸، ۲٦ و ٤۳ از عملکرد ریشه، عملکرد قند خالص و پایداری مناسبی برخوردار بودند و گزینش آنها برای برنامه‌های آتی به نژادی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اثر اصلی، چغندرقند، گزینش، محیط، مؤلفه

مقدمه

چغندرقند با نام علمی (*Beta vulgaris*) به‌عنوان یکی از دو منبع مهم تأمین کننده قند جهان و با سطح زیر کشت جهانی بالغ بر ۴/۵ میلیون هکتار (۴)، حدود ۱۰۵ هزار هکتار از اراضی قابل کشت را در کشور به خود اختصاص داده است که معادل ۰/۹۲ درصد کل محصولات زراعی و ۲۴/۳ درصد از کل سطح برداشت محصولات صنعتی می‌باشد (۳).

در برنامه‌های معرفی ژنوتیپ‌های اصلاح شده، استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها به تنهایی معیار مطلوبی جهت گزینش نیست، بلکه میزان سازگاری و پایداری نیز نقش مهمی را ایفاء می‌کند. بدین منظور آزمایش‌های مقایسه عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف صورت می‌پذیرد (۵) . هر عاملی که جزئی از شرایط محیطی گیاه محسوب شود، توانایی ایجاد تغییر در عملکرد را دارد و با برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط در ارتباط خواهد بود (۱). پدیده برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط برای به‌نژادگران دارای اهمیت ویژه ای جهت آزادسازی ارقام می‌باشد. آگاهی از این برهم‌کنش این امکان را برای به نژادگران فراهم می‌آورد تا در ارزیابی و آزادسازی ژنوتیپ‌ها دقت بیش‌تری کرده و ژنوتیپ‌های مطلوب را انتخاب نمایند (۱۷). جهت تعیین برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط عموماً از تجزیه واریانس مرکب و تخمین اجزای واریانس استفاده می‌شود (۱۲). معنی‌دار شدن برهم‌کنش ژنوتیپ با محیط، به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و نیز تغییرات در رتبه نسبی ژنوتیپ‌ها می‌باشد (۱۹). روش‌های بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط به طورکلی به دو گروه اصلی شامل روش‌های تک متغیره و چند متغیره تقسیم می‌شوند. در میان روش‌های چند متغیره، مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب پذیر (AMMI) روش کارآمدی برای حذف خطا (Noise) و آشکار کردن الگوی مناسب داده ها است (۲۰). در مدل AMMI ابتدا با استفاده از تجزیه واریانس معمولی آثار اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد می‌شود که به آن‌ها اثرات اصلی جمع پذیر یا افزایشی گفته می‌شود. سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برهم‌کنش بین ژنوتیپ و محیط که به اثرات متقابل ضرب پذیر معروف است، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (۶) مدل AMMI زمانی بهترین مدل برای

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

تجزیه داده‌ها خواهد بود که هر دو اثرات اصلی و برهمکنش برای ما مهم باشند (۱۱).

از میان روش‌های چند متغیره دیگر می‌توان به روش بای‌پلات که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی پیشنهاد شده است اشاره کرد (۲۳). نسخه‌های متنوعی از بای‌پلات بر اساس روش‌های آماری چند متغیره معرفی و به صورت گسترده توسط اصلاح‌گران گیاهی به منظور تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ× محیط استفاده شده است (۲۰،۷). یک نسخه ویژه از بای پلات، GGE بای‌پلات (اثر اصلی ژنوتیپ،G، و اثر متقابل اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، GE) است که به طور همزمان اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط را در اختیار قرار می‌دهد. این روش بر خلاف مرسوم ترین روش چند متغیره تجزیه پایداری که تنها آثار متقابل ژنوتیپ× محیط را مورد توجه قرار می‌دهد، از آثار اصلی ژنوتیپ نیز استفاده می‌کند. پژوهش‌های متعدد نشان داده است که در بیشتر آزمایش‌های تجزیه پایداری اثر اصلی محیط زیاد است، در حالی‌که تغییرات توجیه شده به وسیله اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط که قابل توصیه و تفسیر می‌باشند، کم است. از آنجایی که محیط عاملی نیست که بتوان آن را کنترل کرد، از این‌رو در روش GGE بای‌پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد (۲۱ ،۲۳). روش GGE بای‌پلات از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به به‌نژادگر کمک می‌کند تا به سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی کرده و همچنین استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به سادگی میسر می‌سازد (۲۲). در مطالعه مصطفوی و همکاران (۱۴) بر روی ژنوتیپ های چغندرقند گزارش شد که اثر ژنوتیپ و اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از لحاظ عملکرد ریشه معنی‌دار بود. آنها اظهار داشتند دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در مجموع بیش از ۷۷ درصد از واریانس اثر متقابل را تبیین نمودند، همچنن نمودار بای‌پلات حاصل از اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل و میانگین عملکرد ریشه برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نشان داد که رقم JAAM با عملکرد بیشتر از میانگین کل و کمترین مقدار برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل به عنوان رقم پایدار شناخته شد. در مطالعه حسنی و همکاران (۹) در ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندرقند به روش AMMI (دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط معنی‌دار برای برای عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص شناسایی کردند که بر اساس نتایج تجزیه GGE بای‌پلات دو مؤلفه اول به ترتیب ۶۰/۵۲ و ۶۲/۹ درصد از تغییرات ژنوتیپ در محیط را برای عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص را تبیین نمودند، در مطالعه آنها ژنوتیپ‌ها G21، G28 و G29 به عنوان ژنوتیپ های پایدار نسبت به شرایط محیطی شناسایی شدند. در مطالعه قریب و همکاران (۸) بر اساس مدل AMMI نشان دادند اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به ترتیب ۸۵/۹۷، ۸۳/۳۴ و ۸۶/۴۷ درصد از تغییرات عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد قند خالص را تبیین نمود. در مطالعه آنها بر اساس نتایج بای‌پلات ژنوتیپ Lilly دارای بالاترین تطابق‌پذیری خصوصی بود همچنین واریته‌های Gazella، Oscar poly و DS9004 با وجود تطابق‌پذیری عمومی بالا از عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص کمتری برخوردار بودند. مطالعه حاضر با هدف بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ریشه و عملکرد قندخالص در هیبریدهای جدید چغندرقند با استفاده از روش AMMI و بای پلات صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۴۷ هیبرید چغندرقند (جدول ۱)، انتخاب شده از آزمایشات مقدماتی و نیمه نهایی به‌منظور مقایسه عملکرد نهایی آنها و گزینش هیبریدهای برتر در چهار منطقه (همدان، کرمانشاه، مشهد و شیراز) در سال ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. این هیبریدها تری وی کراس دارای مشاء داخلی هستند و از تلاقی سینگل کراس SB36 * 7112 (والد 7112 به عنوان نر عقیم، SB36 به عنوان اوتایب) و والدین S1 – 960004 تا S1 – 960336 به عنوان گرده افشان حاصل شده‌اند. همچنین دو رقم Succara و BTS 213 به عنوان شاهد خارجی و رقم Shokofa به عنوان شاهد داخلی در نظر گرفته شدند. شجره و منشأ ژنوتیپ‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۶ تکرار اجرا شد. هر کرت شامل یک ردیف به طول هشت متر و فاصله دو ردیف مجاور ۵۰ سانتی‌متر بود. کاشت در اوایل اردیبهشت انجام شد. میزان کود مصرفی بر اساس آزمون خاک انجام شد (جدول ۲). کود نیتروژن از منبع اوره، کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم و کود فسفر نیز از منبع فسفات آمونیوم تأمین و بطور یکنواخت به کرت‌های آزمایشی اضافه گردید. تمامی کودها بجز نیتروژن قبل از کاشت و در هنگام تهیه زمین استفاده شدند، کود نیتروژن نیز در سه مرحله به صورت سرک مصرف شد. در زمان برداشت ۰/۵ متر اول و آخر ردیف‌ها به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. برداشت از ۷ متر باقی مانده صورت گرفت و پس از تبدیل به مقیاس تن در هکتار، به عنوان عملکرد ریشه ثبت شد.

پس از شستشو ریشه‌ها، توسط دستگاه اتوماتیک و نما خمیر ریشه (پلپ) تهیه و پس از انجماد، جهت تجزیه کیفی به آزمایشگاه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند کرج ارسال شد. در این بررسی صفات عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص اندازه گیری شدند، عملکرد قند خالص از طریق رابطه [۱] بدست آمد:

$$WSY=RY\times WSC \quad [1]$$

WSY: عملکرد قند خالص، RY: عملکرد ریشه و WSC: درصد قند خالص بود.

قبل از تجزیه AMMI، یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش با استفاده از آزمون بارتلت آزمون گردید، سپس برای تجزیه AMMI بر روی عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص در محیط‌های مختلف از نرم‌افزار Genstat استفاده شد. جهت تجزیه پایداری عملکرد هیبریدهای مورد بررسی از مدل

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

AMMI و از مولفه‌های اثر متقابل اول و دوم AMMI (IPCA1, IPCA2) عنوان پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استفاده گردید (۲).

جهت انجام آنالیز داده‌های بدست آمده و تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین ابر محیط‌ها (Mega-emvironment) از روش GGE بای‌پلات استفاده شد. مدل GGE بای‌پلات بر پایه مقادیر ویژه تفکیک‌پذیر برای دو مولفه اول بصورت رابطه [۲] است:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{n=1}^{N} \lambda_n Y_{in} \delta_{jn} + \theta_{ij} + e_{ijk} \quad [۲]$$

به طوری که Yij: عملکرد iامین ژنوتیپ در jامین محیط، μ: میانگین کل، αi (i = 1,…,s) انحراف میانگین ژنوتیپ (میانگین ژنوتیپ منهای میانگین کل)، βj (j =1,…,t) انحراف میانگین محیط، λn مقدار منفرد برای n محور تجزیه به مؤلفهٔ اصلی، Yin وδjn اسکورهای PCA یا بردارهای منفرد به ترتیب برای ژنوتیپ و محیط در محور nام PCA، N تعداد محورهای PCA در مدل، θij ماتریس باقیمانده‌ها و eijk خطای باقیمانده مرتبط با kامین تکرار (k = 1,…,r) می‌باشند (۱۷).

جدول ۱- لیست و شجره ژنوتیپ های مورد بررسی

Table 1. List and pedigree of studied genotypes

شماره ژنوتیپ	اوریژین	شماره ژنوتیپ	اوریژین
G1	(7112 * SB36) * S1 – 960004	G25	Shokofa
G2	(7112 * SB36) * S1 – 960007	G26	(7112 * SB36) * S1 – 960215
G3	(7112 * SB36) * S1 – 960008	G27	(7112 * SB36) * S1 – 960216
G4	(7112 * SB36) * S1 – 960011	G28	(7112 * SB36) * S1 – 960222
G5	(7112 * SB36) * S1 – 960012	G29	(7112 * SB36) * S1 – 960223
G6	(7112 * SB36) * S1 – 960014	G30	(7112 * SB36) * S1 – 960224
G7	(7112 * SB36) * S1 – 960015	G31	(7112 * SB36) * S1 – 960227
G8	(7112 * SB36) * S1 – 960026	G32	(7112 * SB36) * S1 – 960234
G9	(7112 * SB36) * S1 – 960045	G33	(7112 * SB36) * S1 – 960241
G10	(7112 * SB36) * S1 – 960046	G34	(7112 * SB36) * S1 – 960258
G11	(7112 * SB36) * S1 – 960047	G35	(7112 * SB36) * S1 – 960279
G12	(7112 * SB36) * S1 – 960056	G36	(7112 * SB36) * S1 – 960281
G13	(7112 * SB36) * S1 – 960061	G37	(7112 * SB36) * S1 – 960283
G14	(7112 * SB36) * S1 – 960072	G38	(7112 * SB36) * S1 – 960284
G15	(7112 * SB36) * S1 – 960089	G39	(7112 * SB36) * S1 – 960290
G16	(7112 * SB36) * S1 – 960090	G40	(7112 * SB36) * S1 – 960294
G17	(7112 * SB36) * S1 – 960190	G41	(7112 * SB36) * S1 – 960295
G18	(7112 * SB36) * S1 – 960192	G42	(7112 * SB36) * S1 – 960309
G19	(7112 * SB36) * S1 – 960195	G43	(7112 * SB36) * S1 – 960313
G20	(7112 * SB36) * S1 – 960196	G44	(7112 * SB36) * S1 – 960318
G21	(7112 * SB36) * S1 – 960206	G45	(7112 * SB36) * S1 – 960328
G22	(7112 * SB36) * S1 – 960212	G46	(7112 * SB36) * S1 – 960334
G23	Succara	G47	(7112 * SB36) * S1 – 960336
G24	BTS 213		

جدول ۲- خصوصیات آب و هوایی مناطق مورد آزمایش

Table 2. climatic characteristics of the tested areas

مخفف هر منطقه	منطقه	ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی (N°)	طول جغرافیایی (E°)	کمینه دما (°C)	بیشینه دما (°C)	میانگین دما (°C)	میزان بارندگی سالیانه (mm)	بافت خاک
E1	همدان (اکباتان)	۱۷۵۷	″۳۴°۵۲	″۴۸°۳۲	−۲۳/۴	۳۹/۱	۱۲/۸	۲۳۸/۲۶	سیلتی کلی لوم
E2	کرمانشاه (ماهیدشت)	۱۳۸۰	″۳۴°۱۶	″۴۶°۵۰	−۲۰	۴۰	۱۴/۵	۳۳۵	سیلت کلی
E3	مشهد (طرق)	۹۹۰	″۳۶°۱۶	″۵۹°۳۸	−۸/۸	۳۹/۸	۱۶/۱	۱۹۳/۶	سیلت لوم
E4	شیراز (زرقان)	۱۵۹۶	″۲۹°۴۷	″۵۲°۴۳	−۱۵	۴۱/۶	۱۹/۱۳	۲۰۵/۵	سیلت لوم

نتایج و بحث

تجزیه AMMI بر اساس عملکرد ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس بر اساس عملکرد ریشه نشان داد اختلاف بین ژنوتیپ ها و محیط‌ها (اثرهای جمع‌پذیر) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از لحاظ عملکرد ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ژنوتیپ و محیط به ترتیب ۵/۰۵ و ۷۰/۸۵ درصد از کل تغییرات واریانس داده‌ها را تبین کردند(جدول ۳). در این بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به دو عامل یا مولفه IPCA1 (AMMI 1) و IPCA2 AMMI (2) تجزیه شدند که مولفه اول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و مولفه دوم غیرمعنی‌دار بود. سهم مولفه اول (IPCA1) ۳/۴۸ درصد از مجموع مربعات کل و ۴۵/۱۱ درصد از مجموع مربعات اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه نمود. همچنین دو عامل یا مولفه IPCA1 (AMMI 1) و IPCA2 (AMMI 2) در مجموع ۸۹/۱۰ درصد از کل تغییرات واریانس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه نمودند (جدول ۴).

معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط های مختلف می‌باشد، وجود اثر متقابل نشان‌دهنده مشکلات پیش روی به نژادگران در گزینش ژنوتیپ‌های جدید جهت آزاد سازی می باشد. هافمن و همکاران (۱۰) در مطالعه نه ژنوتیپ چغندرقند نشان دادند که محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به ترتیب ۸۰، ۵ و ۳ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند، همچنین در مطالعه مصطفوی و همکاران (۱۴) محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به ترتیب ۸۰، ۱/۳ و ۵/۵ درصد از واریانس کل را توجیه نمودند.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

در این مطالعه متوسط عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها در چهار محیط آزمایشی، مقادیر مؤلفه‌های IPCA2 و آماره ASV در جدول ۴ ذکر شده است. بر اساس نتایج جدول مذکور بالاترین عملکرد ریشه به ترتیب با متوسط ۶۷/۸۳، ۶۵/۳۵، ۶۴/۲۰، ۶۳/۸۹، ۶۳/۸۵ و ۶۲/۷۶ تن در هکتار به ژنوتیپ‌های شماره ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۴۰، ۲۸ و ۲۰ اختصاص داشت، کمترین عملکرد ریشه نیز به ترتیب با متوسط ۴۷/۱۲، ۴۹/۳۶ و ۵۰/۶۹ تن در هکتار به ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۴ و ۱۳ اختصاص یافت، دامنه تغییرات عملکرد ریشه در ژنوتیپ‌ها برابر ۲۰/۷۱ تن در هکتار تن در هکتار بود. در این مطالعه ژنوتیپ‌های ۲۸، ۴۳، ۴۴، ۱ و ۶ به ترتیب با ۰/۷۷، ۰/۸۷، ۱/۱۱، ۱/۱۳ و ۱/۱۵ دارای کمترین مقادیر ASV بوده و ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد ریشه محسوب شدند. در حالی‌که ژنوتیپ‌های ۲۴، ۴۱ و ۱۰ به ترتیب با مقادیر ۴/۳۷، ۳/۸۵ و ۳/۸۴ از بالاترین مقادیر ASV برخوردار بوده و به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند.

مقادیر متوسط عملکرد ریشه و چهار ژنوتیپ برتر در هر محیط در جدول ۵ قید گرده است. در این بررسی محیط‌های آزمایشی کرمانشاه و همدان به ترتیب با متوسط ۷۹/۳۸ و۷۲/۳۶ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه و محیط‌های آزمایشی شیراز و مشهد به ترتیب با متوسط ۳۳/۳۰ و ۴۷/۶۹ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص دادند همچنین دامنه تغییرات محیط‌ها برابر ۴۶/۰۸ تن در هکتار بود. لذا می‌توان اظهار داشت تفاوت بین محیط‌های آزمایشی از نظر شایستگی و توان تولیدی به مراتب بیشتر از تفاوت بین ژنوتیپ‌ها است تجزیه واریانس نیز بیانگر سهم ۷۰/۸۵ درصدی عامل محیط از واریانس کل بود. نتایج مربوط به ژنوتیپ‌های برتر در هر محیط نشان داد ژنوتیپ شماره ۴۶ در دو محیط کرمانشاه و شیراز، ژنوتیپ شماره ۲۴ در محیط‌های شیراز، همدان و مشهد، ژنوتیپ شماره ۱۹ در دو محیط شیراز و مشهد به عنوان مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات اصلی و ضرب‌پذیر برای عملکرد ریشه ژنوتیپ‌های چغندرقند در چهار مکان

Table 3. Additive and multiplicative main effects ANOVA for root yield of Sugar beets genotypes in four environments

SOV	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد واریانس
کل	۱۱۲۷	۴۸۷	–
ژنوتیپ	۴۶	۴۵۷**	۳/۸۲
محیط	۳	۱۲۹۶۷۶**	۷۰/۸۵
تکرار (داخل محیط)	۲۰	۹۴۲**	۳/۴۳
ژنوتیپ در محیط	۱۳۸	۲۰۱**	۵/۰۵
IPCA 1	۴۸	۳۹۹**	۳/۴۸
IPCA 2	۴۶	۱۲۲ns	۱/۰۲
باقی مانده (Noise)	۴۴	۶۸ns	۰/۵۴
خطای مرکب	۹۲۰	۱۰۰	۱۶/۶۳

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

جدول ۴- میانگین عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها، ضرایب مولفه‌های اثر متقابل، آماره AMMIو آماره – ASV[1] برای ژنوتیپ‌های چغندرقند
Table 4. Genotype root yield means, interaction principal component coefficient, AMMI values, and statistics - ASV for sugar beet genotypes

ژنوتیپ	میانگین عملکرد (تن در هکتار)	مولفه اول	مولفه دوم	آمارهASV	ژنوتیپ	میانگین عملکرد (تن در هکتار)	مولفه اول	مولفه دوم	آمارهASV
G1	۵۱/۴۶n-q	−۰/۰۵	−۰/۶۱	۱/۱۳	G25	۵۳/۴۱opq	۰/۰۳	−۰/۷۲	۱/۳۳
G2	۵۶/۰۷ho	−۱/۱۲	−۰/۳۸	۲/۱۸	G26	۶۵/۳۵a	۰/۲۳	−۱/۳۴	۲/۵۱
G3	۵۸/۹۲b-l	−۰/۶۳	−۱/۴۱	۲/۸۵	G27	۶۴/۲abc	۰/۶۷	۰/۰۴	۱/۴۴
G4	۵۲/۲۶m-q	−۱/۰۲	−۰/۲۶	۱/۹۴	G28	۶۳/۸۵a-e	۰/۴۱	۰/۰۹	۰/۷۷
G5	۵۶/۳۴h-o	−۰/۸۸	−۰/۷۹	۲/۱۸	G29	۵۶/۰۰h-o	۱/۱۴	۰/۴۳	۲/۲۵
G6	۶۰/۶۴a-j	−۰/۶۲	−۰/۰۴	۱/۱۵	G30	۶۰/۸۶a-e	۰/۰۵	۰/۵۶	۱/۳۸
G7	۵۷/۵۸f-m	−۰/۰۷	۰/۷۲	۱/۳۳	G31	۶۱/۲۶a-h	۰/۶۹	−۱/۳۷	۲/۸۳
G8	۵۵/۴۴i-o	−۱/۲۵	−۰/۶۹	۲/۶۳	G32	۵۷/۵۲f-m	۱/۰۶	۱/۱۵	۲/۸۸
G9	۵۵/۱۴j-o	−۰/۷۴	−۱/۴۷	۳/۰۳	G33	۶۰/۶۱a-j	۱/۰۱	۰/۵۸	۲/۱۵
G10	۵۹/۸۰a-j	−۱/۷۶	۱/۰۶	۳/۳۸	G34	۶۲/۳a-j	۱/۰۸	۰/۶۹	۲/۳۶
G11	۵۳/۸۴k-p	−۱/۰۷	−۱/۲۶	۳/۰۵	G35	۶۰/۰۱a-j	۱/۷۹	−۰/۳۳	۳/۳۶
G12	۵۷/۶۷f-m	−۰/۷۷	−۱/۵۶	۳/۲۱	G36	۶۱/۱۷a-h	۱/۴۶	۰/۳۳	۲/۷۶
G13	۵۰/۶۹opq	−۰/۶۶	۰/۶۷	۱/۷۳	G37	۵۶h-o	۰/۶۲	۰/۱۶	۱/۱۸
G14	۴۹/۳۶pq	−۱/۹۳	۰/۶	۳/۷۳	G38	۶۱/۲۸a-h	۰/۷۳	۰/۴۱	۱/۵۴
G15	۵۳/۵۶l-p	−۰/۲۶	−۰/۶۷	۱/۳۳	G39	۵۸/۶۶c-l	۱	−۱/۱۵	۲/۸۱
G16	۴۷/۱۲q	۰/۵۵	۱/۱۳	۱/۳۲	G40	۶۳/۸۹a-d	۰/۷۷	۰/۱۹	۱/۴۶
G17	۵۲/۳۲m-q	−۱/۱۸	۰/۷۳	۲/۵۶	G41	۵۶/۴۹h-n	۲/۰۹	۰/۰۳	۳/۸۵
G18	۵۵/۹۳h-o	−۱/۱۷	۱/۱۴	۳/۰۱	G42	۶۱/۲۸a-h	۰/۹۵	۰/۳۶	۱/۸۷
G19	۶۰/۸۷a-i	−۰/۵۲	۱/۳۷	۲/۷۰	G43	۶۲/۴۶a-g	۰/۳۹	−۰/۲۷	۰/۸۷
G20	۶۲/۷۶a-f	−۱/۰۸	۰/۳۳	۲/۰۸	G44	۵۸/۳۴d-l	۰/۴۹	−۰/۳۵	۱/۱۱
G21	۵۵/۹۶h-o	−۱/۰۴	۰/۹۱	۲/۵۵	G45	۵۸/۱۸e-l	۱/۵۷	−۰/۴۶	۳/۰۲
G22	۵۹/۷۴a-j	−۰/۸۷	۰/۳۱	۱/۷۰	G46	۶۲/۴۲a-g	۱/۵۹	۱/۳۳	۳/۸۲
G23	۵۸/۴۹g-n	−۱/۲۱	۰/۳۴	۲/۳۲	G47	۵۹/۳b-k	۱/۶	۰/۰۹	۲/۹۵
G24	۶۷/۸۳ab	−۲/۳۶	۰/۲۴	۴/۳۷					

جدول ۵- متوسط عملکرد ریشه، مقادیر مولفه‌های اصلی AMMI و مناسب‌ترین ژنوتیپ برای محیط‌های مورد بررسی
Table 5. Mean root yield, AMMI values principal component and the most suitable genotype for the studied environments

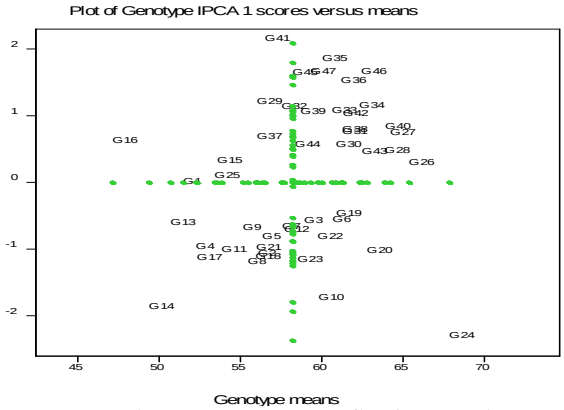
محیط	میانگین	امتیاز	ژنوتیپ اول	ژنوتیپ دوم	ژنوتیپ سوم	ژنوتیپ چهارم
کرمانشاهE2	۷۹/۳۸	۵/۸۱	G46	G35	G36	G34
شیرازE4	۳۳/۳۰	−۰/۲۲	G24	G46	G27	G19
همدانE1	۷۲/۳۶	−۰/۹۰	G26	G24	G31	G3
مشهدE3	۴۷/۶۹	−۴/۶۷	G24	G10	G20	G19

براساس شکل ۱ بای‌پلات متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در مقابل مقادیر IPCA1، ژنوتیپ‌های ۲۵، ۱، ۷، ۲۶، ۲۸، ۱۵ و ۴۳ دارای مقادیر IPCA1 نزدیک به صفر بوده و از پایداری عملکرد و سازگاری عمومی خوبی برخوردار بودند در حالی‌که ژنوتیپ‌های شماره ۲۴، ۴۱ و ۱۴ دارای بیشترین مقادیر مثبت و منفی IPCA1 بوده و به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند. گزارش شده است که ژنوتیپ‌هایی که عملکرد کمتری دارند اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل باشند در مناطقی و محیط‌های ضعیف و فقیر مناسب می‌باشد، به عبارتی با مناطق فقیر اثر متقابل مثبت دارند (۲۳) در بررسی حاضر ژنوتیپG1 چنین وضعیتی داشت.

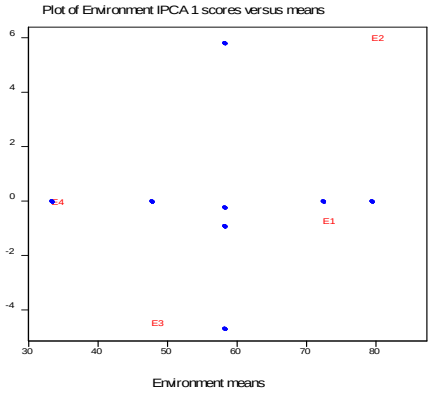
بر اساس نتایج بای‌پلات متوسط عملکرد محیط‌های آزمایشی در مقابل مقادیر نمودار IPCA1، محیط E4 (شیراز) و E1 (همدان) دارای کمترین مقدار IPCA1 بوده و بنابراین از ثبات عملکردی بیشتری برای ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. در حالی‌که دو محیط دیگر مورد بررسی E2 و E3 (کرمانشاه و مشهد) دارای مقادیر بالای IPCA1 بوده به عنوان محیط‌های ناپایدار برای ژنوتیپ‌ها تلقی شدند. پراکندگی محیط‌ها در این نمودار نیز نشان داد که محیط‌ها به لحاظ پایداری یا ثبات عملکردی تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند (شکل ۲).

1- AMMI Stability Value

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]



شکل ۱- بای پلات متوسط عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها در مقابل مقادیر IPCA1
Figure 1. Biplot of mean root yield of genotypes versus IPCA1 values

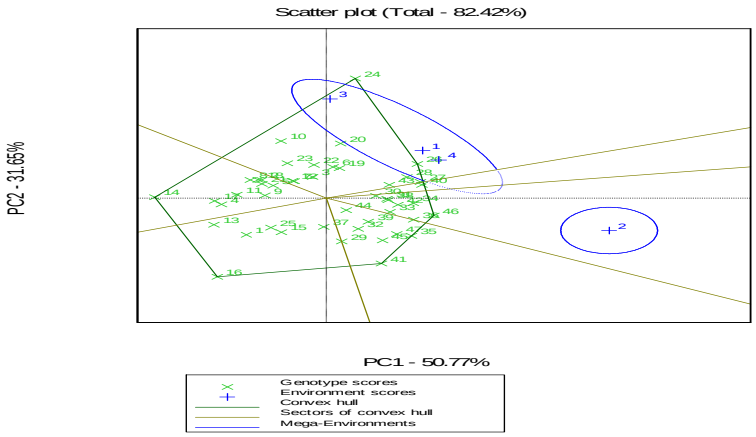


شکل ۲- بای پلات متوسط عملکرد ریشه محیط‌ها در مقابل مقادیر IPCA1
Figure 2. Biplot of mean root yield of environment versus IPCA1 values

GGE بای پلات بر اساس عملکرد ریشه:

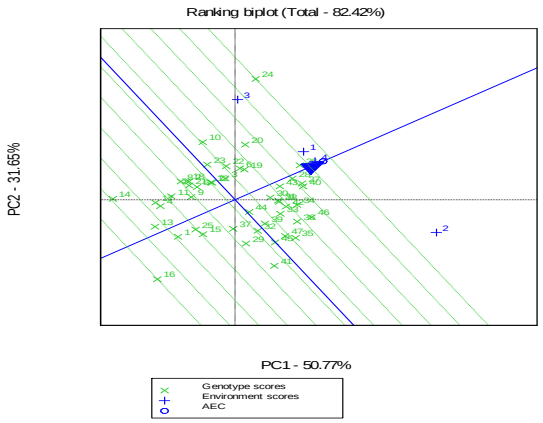
نمایش چندضلعی (Convex hull) حاصل از تجزیهGGE بای‌پلات ۴۷ ژنوتیپ چغندرقند در چهار محیط در شکل ۳ نشان داده شده است، در این نمودار، ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم مشخص شده‌اند، آنهایی که از لحاظ مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر متقابل نزدیک به مبدأ مختصات (نزدیک به صفر) باشند دارای کمترین اثر متقابل هستند. این نمودار (مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل) در مجموع ۸۲/۴۳ درصد از واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را توجیه نمودند، در این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک مکان واقع شوند با آن محیط سازگاری خصوصی دارند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک مبدأ مختصات قرار دارند دارای سازگاری عمومی هستند (۱۶). در این بای‌پلات یک چند ضلعی مشاهده می‌شود که ارقام برتر برای هر محیط را مشخص می‌کند بر این اساس برای محیط‌های همدان، شیراز و مشهد ژنوتیپ شماره ۲۴ و برای محیط کرمانشاه ژنوتیپ شماره ۴۶ در رأس چند ظلعی قرار گرفتند و به واسطه سازگاری خصوصی بالا و به عنوان ژنوتیپ مناسب بر این محیط ها تشخیص داده شدند. دو ژنوتیپ شماره ۱۴ و ۱۶ که در رأس چند ضلعی قرار داشتند برای هیچ محیطی مناسب تشخیص داده نشده‌اند، با مراجعه به جدول ۳ مشاهده شد که این ژنوتیپ‌ها از کمترین مقدار عملکرد ریشه برخوردار بودند. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ ۴۴ کمترین فاصله را از مبدأ مختصات داشت و از سازگاری عمومی بالا برخوردار بود. در مطالعه مصطفوی و همکاران (۱۴) ژنوتیپ‌های 1571، (113*KWS)*302- HSF.20، (I13*A37).1)*S1.88239، BR1 و ARAS 101 در محیط مغان و کرمانشاه، ژنوتیپ‌های (I13*A37.1)*SH-1-HSF.5 و JAAM در مشهد و اصفهان و ژنوتیپ‌های 7233 و IC در محیط کرج سازگاری خصوصی بوده و از عملکرد نسبتاً خوبی برخوردار بودند.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]



شکل ۳- نمایش گرافیکیGGE بای‌پلات جهت تعیین برتری کدام ژنوتیپ(ها) در کدام محیط(ها) برای ۴۷ ژنوتیپ چغندرقند
Figure 3. Graphic representation of GGE byplate to determine the superiority of which genotype (genotypes) in which environment (environments) for 47 sugar beet genotypes

میانگین عملکرد و پایداری: خط مورب که از مرکز بای‌پلات و از نقطه ایده‌آل (که نماینده متوسط ضرایب دو مؤلفه اول اثر متقابل در مدل GGE بای پلات است) می‌گذرد، خط متوسط عملکرد محیطی (Average Environment Coordination) نامیده می‌شود (۲۲) ژنوتیپ‌هایی که به مرکز دایره که بر روی این خط قرار دارند نزدیک‌تر باشند دارای عملکرد بیشتری هستند. خطی که بر خط متوسط عملکرد محیطی عمود و از مرکز بای‌پلات می‌گذرد معیار سنجش پایداری ژنوتیپ‌ها است هرچه ژنوتیپ‌ها از این خط فاصله بیشتری داشته باشند در اثر متقابل نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت، بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره ۲۶، ۲۸، ۲۷، ۴۰ و ۴۳ هم از متوسط عملکرد ریشه بالاتر از متوسط کل ژنوتیپ‌ها برخوردار بوده و هم پایداری بالاتری نشان دادند و به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب تشخیص داده شدند، در مقابل ژنوتیپ‌های شماره ۱۶ و ۱۴ هم از عملکرد پایین‌تر از متوسط کل ژنوتیپ ها برخوردار بودند و هم دارای دارای حداکثر نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بوده و از کمترین مقدار پایداری برخوردار بودند. براساس نتایج شکل ۴ ژنوتیپ ۲۴ هرچند از بالاترین عملکرد ریشه برخوردار بود به دلیل اینکه حداکثر فاصله را از ACE داشت از پایداری مناسبی در محیط‌های مورد مطالعه برخودار نبود. دایره کوچک در شکل ۲ که روی محور افقی ACE واقع است و با یک پیکان به آن اشاره شده است، نشان دهنده رقم ایده‌آل است که به وسیله دو معیار تعریف می‌شود(۱) دارای بالاترین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه است و (۲) کاملاً پایدار نسبت به شرایط محیطی است زیرا بر محور افقی ACE قرار گرفته‌اند. برا این اساس ژنوتیپ‌های شماره ۲۷، ۲۶، ۲۸ و۴۰ بیشترین نزدیکی را به دایره مذکور داشته و در مقایسه با دیگر ژنوتیپ ها به عنوان ژنوتیپ‌های مناسبی شناسایی شدند.

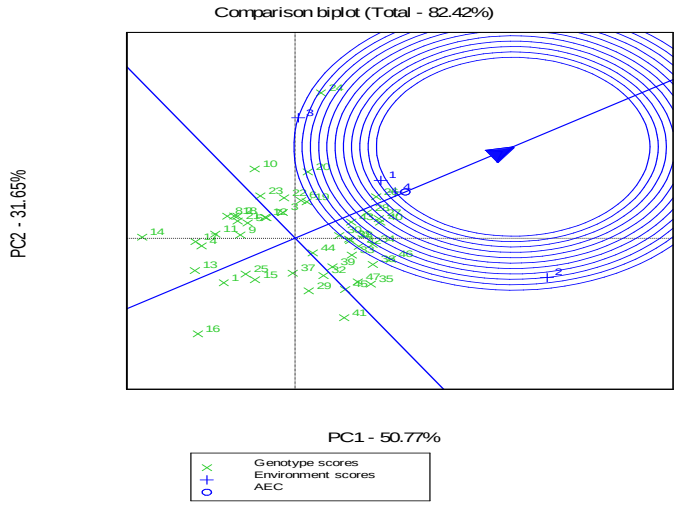


شکل ۴- خط متوسط عملکرد محیطی در مقایسه ۴۷ ژنوتیپ مورد بررسی بر اساس عملکرد ریشه و پایداری در چهار محیط آزمایشی
Figure 4. Mean line of environmental yield in comparison of 47 studied genotypes based on root yield and stability in four experimental environments

برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرجع ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است دوایر هم مرکز، با برخورداری از ژنوتیپ ایده‌آل در مرکز، به تجسم فاصله بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و رقم ایده‌آل کمک می‌کند، بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره ۲۶،

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

۲۷ و ۲۸ نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بوده و مطلوب‌تر از کلیه ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر عملکرد و پایداری بودند. در مقابل، ژنوتیپ‌های ۱۶ و ۱۴ به عنوان به عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها تعیین شدند زیرا دارای بیشترین فاصله از رقم ایده‌آل بودند (شکل ۵). مرادی و همکاران (۱۳) در ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ارقام منوژرم چغندرقند بر اساس عملکرد ریشه با استفاده از روش AMMI نشان دادند که دو مؤلفه اثر متقابل اول بیش از ۹۹ درصد از واریانس داده‌ها را تبین کردند، در مطالعه آنها رقم زرقان بیشترین سازگاری عمومی و رقم لاتیتیا کمترین سازگاری عمومی را نشان داد.



شکل ۵- ارزیابی ۴۷ ژنوتیپ موردبررسی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل در چهار محیط مورد آزمایش بر اساس عملکرد ریشه
Figure 5. Evaluation of 47 studied genotypes compared to the ideal genotype in the four tested environments based on root yield

تجزیه AMMI بر اساس عملکرد قند خالص:

بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بودند. محیط به تنهایی۷۵/۸۲ درصد از مجموع مربعات کل را تبیین کرد و به‌دنبال آن سهم اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب برابر ۴/۳۴ و ۳/۸۸ درصد بود. اثر محیط به ترتیب ۱۷/۴۸ و ۱۹/۵۶ برابر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود (جدول ۶)، بنابراین محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد قند خالص ژنوتیپ‌های چغندرقند ایجاد کرد.

تفکیک اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به‌وسیلهٔ روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مولفه اصلی اول (IPCA1 و IPCA2) به ترتیب ۶۲/۳۹ و ۲۶/۰۸ درصد و در مجموع ۹۵/۴۸ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل GE را توجیه کردند (جدول ۶). متوسط عملکرد قند خالص در چهار محیط آزمایشی، مقادیر مؤلفه‌های IPCA1 و IPCA2 و آماره ASV در جدول درج شده است، بر این اساس بالاترین قند خالص به ترتیب با متوسط ۱۰/۱۸، ۸/۹۳، ۸/۴۹، ۸/۴۷، ۸/۴۱ و ۸/۳۵ تن در هکتار در ژنوتیپ‌های شماره ۲۴، ۲۳، ۴۰، ۲۷، ۲۰ و ۲۶ مشاهده شد، ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۴، ۱، ۲۵ و ۱۳ به ترتیب با متوسط ۶/۴۶، ۶/۵۶، ۶/۶۴، ۶/۶۸ و ۶/۷۳ کمترین عملکرد قند خالص را به خود اختصاص دادند. دامنه تغییرات برای عملکرد قند خالص ۳/۷۱ تن در هکتار بود (جدول ۷). در این مطالعه ژنوتیپ‌های ۳۸، ۴۰، ۳۷، ۲۵ و ۴۳ به ترتیب با مقادیر ۰/۱۳، ۰/۲۰، ۰/۲۲، ۰/۲۴ و ۰/۲۷ دارای کمترین مقادیر ASV بوده و ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد قند خالص شناسایی شدند. در حالی‌که ژنوتیپ‌های شماره ۲۴، ۲۳، ۴۵، ۱۴ و ۳۶ به ترتیب با مقادیر ۲/۸۱، ۱/۷۰، ۱/۴۸، ۱/۴۶ و ۱/۴۳ بالاترین مقادیر ASV را به خود اختصاص داده و از پایداری کمتری در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند.

مقادیر متوسط عملکرد قند خالص و چهار ژنوتیپ برتر در هر محیط در جدول ۸ قید گردیده است. در این بررسی محیط‌های آزمایشی کرمانشاه و همدان به ترتیب با متوسط ۱۱/۲۸و۹/۴۴ تن در هکتار بالاترین و محیط‌های آزمایشی شیراز و مشهد به ترتیب با متوسط ۴/۲۵ و ۵/۵۹ تن در هکتار کمترین عملکرد قند خالص را به خود اختصاص دادند. در این بررسی روال تغییرات عملکرد قند خالص همانند عملکرد ریشه در چهار مکان مورد بررسی بود، می توان اظهار داشت در این مکان‌ها عملکرد قند خالص بیشتر تحت تأثیر عملکرد ریشه بوده است تا درصد قند خالص، دامنه تغییرات محیط‌ها از نظر عملکرد قند خالص برابر ۷/۰۳ تن در هکتار بود. که نشان‌دهنده نقش چشم‌گیر اثرات محیطی در مقایسه با اثرات ژنوتیپ‌ها در تبیین تغییرات عملکرد قند خالص بود. نتایج مربوط به ژنوتیپ‌های برتر در هر محیط نشان داد ژنوتیپ شماره ۲۴ در سه محیط شیراز، همدان و مشهد به عنوان ژنوتیپ مناسب در جایگاه اول قرار گرفت، در محیط کرمانشاه ژنوتیپ شماره ۳۶ جایگاه اول را به خود اختصاص داد، همچنین ژنوتیپ شماره ۲۳ در محیط همدان و مشهد به عنوان دومین و در شیراز به عنوان سومین ژنوتیپ مناسب شناسایی شد (جدول ۸).

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

جدول ۶- تجزیه واریانس اثرات اصلی و ضرب پذیر برای عملکرد قند خالص ژنوتیپ‌های چغندرقند در چهار مکان
Table 6. Additive and multiplicative main effects ANOVA for white sugar yield of Sugar beets genotypes in four environments

SOV	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد واریانس
کل	۱۱۲۷	۱۰/۶	–
ژنوتیپ	۴۶	۱۱/۳**	۴/۳۴
محیط	۳	۳۰۲۵/۵**	۷۵/۸۲
تکرار (داخل محیط)	۲۰	۱۲/۹**	۲/۱۶
ژنوتیپ در محیط	۱۳۸	۳/۴**	۳/۸۸
IPCA 1	۴۸	۶/۷**	۲/۶۹
IPCA 2	۴۶	۱/۸ns	۰/۷۰
باقی مانده (Noise)	۴۴	۱/۳ns	۰/۴۸
خطای مرکب	۹۲۰	۱/۸	۱۳/۸۲

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۷- میانگین عملکرد قند خالص ژنوتیپ‌ها، ضرایب مولفه‌های اثر متقابل، آماره AMMI یا آماره ASV - برای ژنوتیپ‌های چغندرقند
Table 7. Genotype white sugar yield means, interaction principal component coefficient, AMMI values, and statistics - ASV for sugar beet genotypes

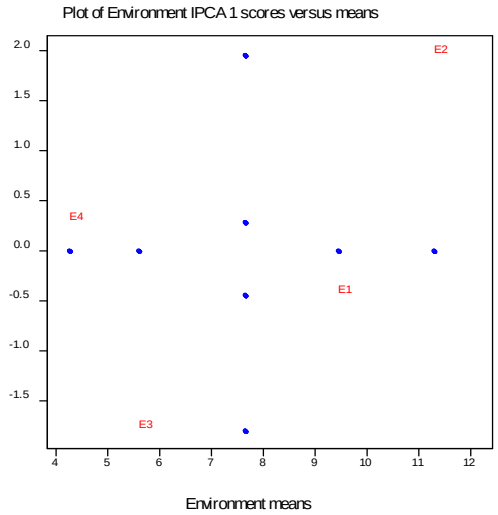
ژنوتیپ	میانگین عملکرد قند خالص (تن در هکتار)	مولفه اول	مولفه دوم	آماره ASV	ژنوتیپ	میانگین عملکرد قند خالص (تن در هکتار)	مولفه اول	مولفه دوم	آماره ASV
G1	۶/۶۴stu	۰/۰۸	−۰/۱۲	۰/۲۹	G25	۶/۶۸u	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۲۴
G2	۷/۳۹j-s	−۰/۳۱	−۰/۱۵	۰/۷۰	G26	۸/۳۵b-f	۰/۱۱	−۰/۲۹	۰/۶۲
G3	۷/۸۳c-n	−۰/۱۳	−۰/۶۵	۱/۳۳	G27	۸/۴۷bcd	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۳۹
G4	۶/۹۳p-u	−۰/۳۹	−۰/۱۶	۰/۸۶	G28	۸/۱۷b-h	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۵۲
G5	۷/۴۷h-r	−۰/۳۱	−۰/۳۰	۰/۸۷	G29	۷/۱۲b-h	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۶۸
G6	۷/۹۱c-l	−۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۳۱	G30	۷/۸۴c-n	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۷۹
G7	۷/۷۳d-o	−۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۳۸	G31	۷/۶۰g-p	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۶۴
G8	۷/۰۶o-u	−۰/۴۱	−۰/۲۶	۰/۹۷	G32	۷/۴۸h-r	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۷۰
G9	۷/۱۷l-u	−۰/۱۳	−۰/۳۹	۰/۸۴	G33	۷/۹۴c-k	۰/۲۰	−۰/۱۳	۰/۴۷
G10	۷/۶۲f-p	−۰/۳۳	۰/۴۷	۱/۱۵	G34	۸/۳۱b-g	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۸۷
G11	۷/۱۰n-u	−۰/۲۹	−۰/۴۰	۰/۹۹	G35	۷/۸۰c-o	۰/۵۲	−۰/۲۱	۱/۱۴
G12	۷/۷۱e-o	−۰/۲۹	−۰/۵۷	۱/۳۰	G36	۸/۱۴b-i	۰/۳۷	۰/۲۲	۱/۴۳
G13	۶/۷۳r-u	−۰/۱۶	۰/۴۳	۰/۹۳	G37	۷/۴۸h-q	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۲۲
G14	۶/۵۶tu	−۰/۶۵	۰/۳۲	۱/۴۶	G38	۸/۲۳b-g	۰/۰۶	−۰/۰۲	۰/۱۳
G15	۶/۷۹q-u	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۳۵	G39	۷/۹۰c-l	۰/۳۰	−۰/۵۹	۱/۳۳
G16	۶/۴۶u	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۶۶	G40	۸/۴۹bc	۰/۱۰	−۰/۰۱	۱/۲۰
G17	۶/۸۹p-u	−۰/۳۸	۰/۳۳	۱/۰۱	G41	۷/۳۵j-s	۰/۶۲	−۰/۲۲	۱/۳۳
G18	۷/۳۱k-t	−۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۷۶	G42	۷/۷۸c-o	۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۷۸
G19	۸/۱۴b-i	−۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۸۴	G43	۷/۷۹c-o	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۲۷
G20	۸/۴۱b-e	−۰/۲۸	−۰/۰۱	۰/۵۷	G44	۷/۴۲i-r	۰/۳۲	−۰/۱۶	۰/۷۳
G21	۷/۳۰k-t	−۰/۳۷	۰/۴۱	۱/۱۱	G45	۷/۳۲k-s	۰/۷۱	−۰/۱۸	۱/۴۸
G22	۷/۸۵c-m	−۰/۰۱	−۰/۲۵	۰/۵۰	G46	۸/۰۷b-j	۰/۴۳	۰/۴۳	۱/۲۳
G23	۸/۹۳b	−۰/۸۴	۰/۰۶	۱/۷۰	G47	۷/۶۲f-p	۰/۵۲	−۰/۰۳	۱/۰۶
G24	۱۰/۱۸a	−۱/۳۹	−۰/۱۰	۲/۸۱					

جدول ۸- متوسط عملکرد قند خالص، مقادیر مولفه‌های اصلی AMMI و مناسب‌ترین ژنوتیپ برای محیط های مورد بررسی
Table 8. Mean white sugar yield, AMMI values principal component and the most suitable genotype for the studied environments

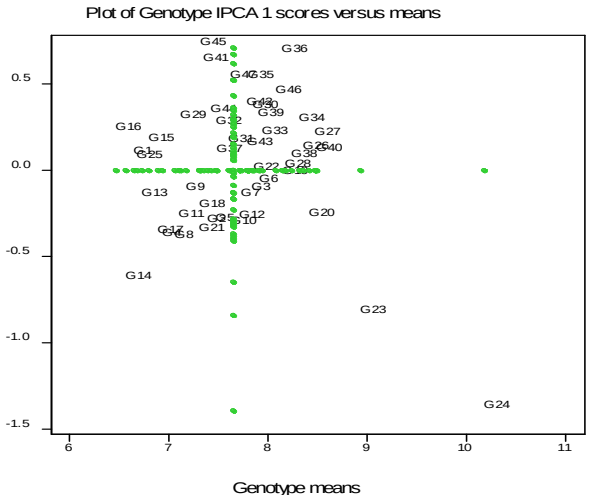
محیط	میانگین	امتیاز	ژنوتیپ اول	ژنوتیپ دوم	ژنوتیپ سوم	ژنوتیپ چهارم
کرمانشاهE2	۱۱/۲۸	۱/۹۵	G36	G35	G27	G46
شیرازE4	۴/۲۵	۰/۲۸	G24	G34	G23	G46
همدانE1	۹/۴۴	−۰/۴۴	G24	G23	G3	G26
مشهدE3	۵/۵۹	−۱/۷۹	G24	G23	G20	G10

براساس شکل ۶ بای‌پلات متوسط عملکرد قند خالص ژنوتیپ‌ها در مقابل مقادیر IPCA1، ژنوتیپ‌های ۲۸، ۱۹، ۲۶، ۴۳ و ۳۸ دارای مقادیر IPCA1 نزدیک به صفر بوده پایداری عملکرد و سازگاری عمومی خوبی نشان دادند، اما ژنوتیپ‌های ۲۴، ۲۳، ۴۵، ۳۶ و ۴۱ از مقادیر بالای مثبت و منفی IPCA1 برخوردار بوده و به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند هرچند مقادیر عملکرد قند خالص در این ژنوتیپ‌ها متغیر بود. نتایج بای پلات متوسط عملکرد قند خالص در محیط‌های آزمایشی در مقابل مقادیر نمودار IPCA1 در شکل آمده است، بر اساس نتایج این گراف همانند عملکرد ریشه، محیط E4 (شیراز) و E1 (همدان) دارای کمترین مقدار IPCA1 بوده و بنابراین از ثبات عملکردی بیشتری برای ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند، در حالی‌که دو محیط دیگر مورد بررسیE2 و E3 (کرمانشاه و مشهد) دارای مقادیر بالای IPCA1 بوده به عنوان محیط‌های ناپایدار برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی شناسایی شدند (شکل ۷).

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]



شکل ۶- بای‌پلات متوسط عملکردقند خالص ژنوتیپ‌ها در مقابل مقادیر IPCA1
Figure 6. Biplot of mean white sugar yield of genotypes versus IPCA1 values



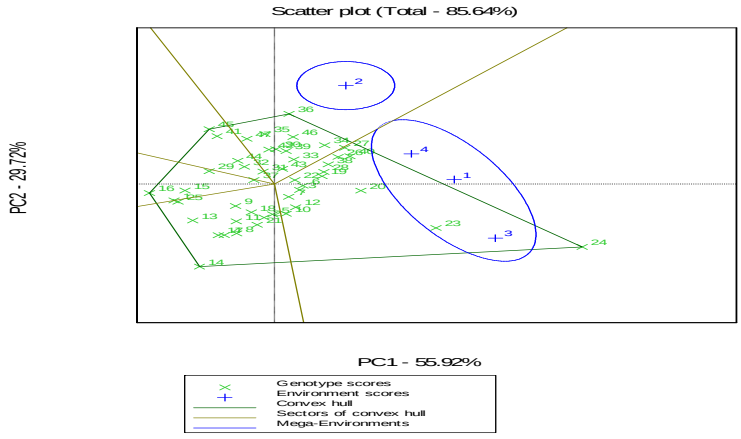
شکل ۷- بای‌پلات متوسط عملکرد قند خالص محیط‌ها در مقابل مقادیر IPCA1
Figure 7. Biplot of mean white sugar yield of environment versus IPCA1 values

GGE بای‌پلات بر اساس عملکرد قند خالص:

در این مطالعه از نمودار بای‌پلات چند ضلعی جهت مشخص کردن محیط‌های بزرگ (ابر محیط‌ها) و تعیین ارقام برتر در مکان‌های مختلف برای عملکرد قند خالص استفاده شد، بر اساس نتایج نمودار مذکور برای محیط‌های همدان، شیراز و مشهد ژنوتیپ شماره ۲۴ و برای محیط کرمانشاه ژنوتیپ شماره ۳۶ در رأس چند ضلعی قرار گرفتند و به عنوان ژنوتیپ مناسب با سازگاری خصوصی مناسب بر این محیط‌ها شناسایی شدند. ژنوتیپ‌های شماره ۴۵، ۱۴ و ۱۶ که در رأس چند ضلعی قرار گرفته و کمترین عملکرد قند خالص را به خود اختصاص داده بودند برای هیچ کدام از محیط‌های مورد بررسی مناسب تشخیص داده نشدند. با توجه به نتایج شکل ۸ ژنوتیپ ۳۷ کمترین فاصله را از مبدأ مختصات داشت و به عنوان ژنوتیپی با درجه سازگاری عمومی بالا در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها شناسایی شد.

حسنی و همکاران (۹) در ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندرقند به روش AMMI (AMMI) دریافتند دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط معنی‌دار برای برای عملکرد قند خالص گزارش کردند، در مطالعه آنها GGE بای‌پلات دو مؤلفه اول ۶۲/۹ درصد از تغییرات ژنوتیپ در محیط را برای و عملکرد قند خالص را توجیه کردند. در مطالعه آنها ژنوتیپ‌ها G21، G28 و G29 به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار نسبت به شرایط محیطی شناسایی شدند.

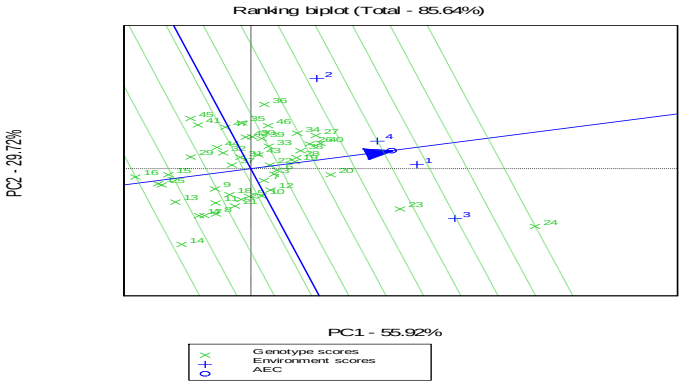
[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]



شکل ۸- نمایش گرافیکیGGE بای‌پلات جهت تعیین برتری کدام ژنوتیپ(ها) در کدام محیط(ها) برای ۴۷ ژنوتیپ چغندرقند بر اساس عملکرد قند خالص

Figure 8. Graphic representation of GGE byplate to determine the superiority of which genotype (genotypes) in which environment (environments) for 47 sugar beet genotypes in term of white sugar yield

میانگین عملکردقند خالص و پایداری: ارزیابی همزمان عملکرد قند خالص و پایداری ژنوتیپ‌های چغندرقند در چهار محیط آزمایشی به روش GGE بای‌پلات برای عملکرد قند خالص (شکل ۹) نشان داد ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲۸، ۳۸، ۲۶ و ۴۰ دارای عملکرد قند خالص بالاتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها و هم از پایداری بالاتری برخوردار بودند، در مقابل ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۴۵ و ۱ هم از عملکرد قند خالص کمتر از میانگین کل ژنوتیپ‌های و هم از پایداری کمتری برخوردار بودند. بر اساس نتایج شکل ۹ اگر چه مقادیر عملکرد قند خالص در دو ژنوتیپ شماره ۲۴ و ۲۳ بالا بود اما از مقدار پایداری کمی برخوردار بودند، همچنین با وجود پایدار بودن ژنوتیپ‌های شماره ۱۵، ۱۶، ۱ و ۲۵ به واسطه عملکرد قند خالص کم، این ژنوتیپ‌ها به عنوان ژنوتیپ مناسب تشخیص داده نشدند.

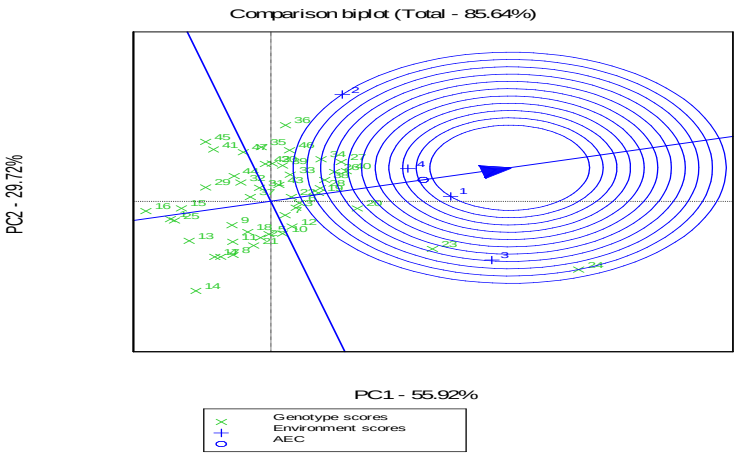


شکل ۹- خط متوسط عملکرد محیطی در مقایسه ۴۷ ژنوتیپ مورد بررسی بر اساس عملکرد قند خالص و پایداری در چهار محیط آزمایشی

Figure 9. Mean line of environmental yield in comparison of 47 studied genotypes based on white sugar beet genotypes and stability in four experimental environments

بر اساس شکل مقایسه ژنوتیپ‌های چغندرقند با ژنوتیپ ایده‌آل بر اساس پایداری و عملکرد دانه در روش GGE بای‌پلات مشاهده شد ژنوتیپ‌های شماره ۲۷، ۲۸ و ۴۰ نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بوده و مطلوب‌تر از کلیه ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر عملکرد و پایداری تشخیص داده شد. در مقابل، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۴۵ به واسطه بیشترین فاصله از رقم ایده‌آل به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب شناسایی شدند (شکل ۱۰). مصطفوی و همکاران (۱۵) در ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندرقند بر اساس درصد قند گزارش کردند اثر ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل آنها معنی‌دار بود، در مطالعه آنها مؤلفه اول معنی‌دار به تنهایی ۸۷/۶۷ درصد از کل تغییرات را تبین نمود، آنها اظهار داشتند بر اساس نموداری AMMI اول ژنوتیپ‌های ARAS 101 و JAAM از پایداری بالایی برخوردارند و نمودار AMMI2 نشان داد که ژنوتیپ JAAM پایدارترین ژنوتیپ است.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]



شکل ۱۰- ارزیابی ۴۷ ژنوتیپ موردبررسی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل در چهار محیط مورد آزمایش بر اساس عملکرد قند خالص
Figure 10. Evaluation of 47 studied genotypes compared to the ideal genotype in the four tested environments based on white sugar yield

بر اساس نتایج بای‌پلات حاصل از اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل و میانگین عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مختلف مشاهده شد ژنوتیپ‌های ۲۸، ۲۶ و ۴۳ با عملکردهای بیشتر از میانگین کل و کمترین مقدار برای اولین مؤلفه، کمترین مشارکت را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ در محیط داشتند به عنوان هیبریدهای با عملکرد ریشه و قند مناسب قابل انتخاب هستند، رقم شاهد (۲۴) هر چند از عملکرد بالایی برخوردار بود اما به واسطه بالا بودن مقدار ASV از لحاظ عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص به عنوان رقم پایداری شناخته نشد، ژنوتیپ مذکور هم از لحاظ عملکرد ریشه و هم عملکرد قند خالص برای محیط‌های همدان، شیراز و مشهد سازگاری خصوصی بالا نشان داد، در حالی‌که ژنوتیپ ۴۶ از لحاظ عملکرد ریشه و ژنوتیپ ۳۶ از لحاظ عملکرد قند خالص برای محیط کرمانشاه سازگاری خصوصی مناسبی داشت، همچنین ژنوتیپ شماره ۳۷ از لحاظ عملکرد ریشه و ژنوتیپ ۴۴ از نظر عملکرد قند خالص نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از سازگاری عمومی بالاتری برخوردار بودند. بر اساس نتایج تجزیه GGE بای‌پلات مشاهده ژنوتیپ ۲۸ در هر سه گراف بای‌پلات در موقعیت مناسبی از لحاظ عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص قرار گرفت، این ژنوتیپ از لحاظ عملکرد ریشه پایدار و از لحاظ عملکرد قند خالص نیز از پایداری مناسبی برخوردار بود. بنابراین می‌توان از والدین آن برای ایجاد جمعیت‌های با پتانسیل عملکرد بالا در برنامه‌های آینده به نژادی استفاده کرد.

منابع

1. Abdemishani, S. and A.A. Shahnejatboshehri. 2008. Advance in Plant Breeding. Tehran university press. 248 pp (In Persian).
2. Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. Euphytica, 94: 53-62.
3. Anonymous, A. 2015. Agricultural statistics: Agricultural Ministry of Iran. From http://dpe.agri-jahad.ir (In Persian).
4. FAO. 2017. Extent and causes of salt–affected soils in participating countries. Available on URL:http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spuch/topic4.htm
5. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2006. Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. Acta Agronomica Hungarica, 54(4): 459- 467.
6. Gauch, H.G. 1992. Statistical Analysis of Regional Trials, AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Pub. Amsterdam, Netherlands.
7. Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science, 46: 1488-1500.
8. Ghareeb, Z.E., E.A. Hoda, S.R.E. Ibrahim and S.M.I. Bachoash. 2014. Genotype × Environment Interaction for Characteristics of Some Sugar Beet Genotypes. Journal of Plant Production, Mansoura Univ, 5 (5): 853-867.
9. Hassani, M., B. Heidari, A. Dadkhodaie and P. Stevanato. 2018. Genotype by environment interaction components underlying variations in root, sugar and white sugar yield in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Euphytica , 214(79): 4-21.
10. Hoffmann, C., M.T. Huijbregts, N. Van Swaaij and R. Jansen. 2009. Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. European Journal of Agronomy, 30: 17-26.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

11. Mandel, J. 1971. A new analysis of variance model for non-additive data. Technometrics, 13: 1- 18.
12. Miller, P.A., C.J. Williams, H.F. Robinson and R. Comstock. 1958. Estimates of genotypic and environmental variances and covariance in upland cotton and their implication in selection. Agricultural Journal, 50: 126- 137.
13. Moradi, F., H. Safari and A. Jalilian 2014. Study of genotype × environment interaction for sugar beet monogerm cultivars using AMMI method. Journal of Sugar beet, 28(1): 55-66 (In Persian).
14. Mostafavi, K., M. R. Orazizadeh and A. Rajabi. 2017. Genotype - environment interaction pattern analysis for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars yield using AMMI multivariate method. Journal of sugar beet, 33(2): 135-147 (In Persian).
15. Mostafavi, K., R. Orazizadeh, A. Rajabi and M.N. Ilkaei. 2018. Stability and adaptability analysis in sugar beet varieties for sugar content using gge-biplot and ammi methods. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 24(1): 40-45.
16. Nikkhah, H.R., A. Yousefi, S.M. Mortazavian and M. Arazmjoo. 2007. Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. Iranian Journal of Crop Sciences. 9, 1(33): 1-12 (In Persian).
17. Raiger, H.L. and V.T. Prabhakaran. 2001. A study on the performance of a few non-parametric stability measures using pearl-millet data. Indian Journal of Genetic, 61: 7- 11.
18. Suadric, A., D. Simic and M. Vratric. 2006. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programs of South-East Europe. Plant Breeding, 125: 125-191.
19. Xie, M. 1996. Selection of stable cultivars using phenotypic variances. Crop Science, 36: 572-576.
20. Yan, W. and L.A. Hunt. 2002. Biplot analysis of diallel data. Crop Science, 42: 21-30.
21. Yan, W. and N.A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Science, 86: 623-645.
22. Yan, W., P.L. Cornelius, J. Crossa and L.A. Hunt. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. Crop Science, 41: 656-663.
23. Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnics 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. Crop Science, 40: 597-605.

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]

Evaluation of Adaptability and Stability of Root Yield and White Sugar Yield (*Beta vulgaris* L.) in Sugar Beet Genotypes using Multivariate AMMI and GGE Biplot Method

Mehdi Hassani[1], Hamzeh Hamzeh[2] and Hamed Mansouri[3]

1- Assistant Professor of Sugar Beet Research Department, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Hamadan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamadan, Iran, (Corresponding author: m.hasani@areeo.ac.ir)
2- Assistant Professor of Sugar Beet Research Department, Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Hamadan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamadan, Iran
3- Assistant Professor of Sugar Beet Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Training Center of Hamadan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamadan, Iran
Received: November 9, 2020 Accepted: April 16, 2021

Abstract

To evaluate the adaptability and stability of root yield and white sugar yield in sugar beet genotypes, 47 sugar beet genotypes were evaluated in a randomized complete block design with six replications in four regions of Hamedan, Kermanshah, Shiraz, and Mashhad at 2019 crop year. In order to analyze the pattern of genotype by environment interaction, additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) model and GGE biplot graphical method was used. The results of additive main effects (analysis of variance) and multiplicative interactions (principal component analysis) showed that the effect of genotype, environment, and genotype in environment interaction on root yield and white sugar yield were significant (p-value < 1%). The results showed that the first two components explained 89.10 and 95.48% of the variance of the interaction for root yield and white sugar yield, respectively. The biplot diagram of the first main interaction component and mean of root yield and white sugar yield for genotypes and environments showed that genotypes 28, 26, and 43 with higher than average total yields and lowest values for the first interaction component Known as stable genotypes, Based on the results of the two-dimensional diagram related to the first two main components of the interaction of genotype in the environment, Genotype No. 24 had the highest specific adaptability for Hamedan, Shiraz and Mashhad locations in term of root yield and white sugar yield. While genotype 46 in terms of root yield and genotype 36 in terms of white sugar yield showed good specific adaptability to the Kermanshah environment. Also, genotype No. 37 in terms of root yield and genotype 44 in terms of white sugar yield had higher general compatibility than other genotypes. Compared to foreign control cultivars, hybrids 28, 26, and 43 had suitable root yield, white sugar yield, and stability, and their selection is recommended for future breeding programs.

Keyword: Component, Environment, Main effect, Selection, Sugar Beet

[DOI: 10.52547/jcb.13.37.222]