Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 46, Summer 2023 p: 38-49

"Research Paper"

Studying the Effect of Genotype-Environment Interaction on the Quantitative and Qualitative production Potential of Different Sugar Beet Cultivars (*Beta vulgaris* L.)

Mohammad Reza Mirzaei[1], Dariush Taleghani[2], Saeed Sadeghzadeh Hemayati[2], Masoud Ahmadi[3], Jamshid Soltani[3], Babak Babaee[2], Heydar Azizi[4], Mohsen Bazrafshan[5] and Ali Saremirad[2]

1- Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: Mirzaie_1346@yahoo.com)
2- Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO) Mashhad, Iran.
4- Sugar Beet Research Department, West Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (ARREO). Urmia, Iran
5- Sugar Beet Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (ARREO). Shiraz, Iran
Received: 20 September, 2022 Accepted: 13 November, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: The yield and quality of sugar in this plant, like other plants, are strongly influenced by environmental factors, and high modifications occur in its quantitative and qualitative performance. Therefore, the present research was designated and implemented to study the effect of genotype-environment interaction on the quantitative and qualitative production potential of sugar beet cultivars and also determine their adaptability to a wide range of environments with different conditions.

Material and Methods: Seven cultivars of sugar beet, consisting of four domestic and three foreign cultivars formed the genetic material of the present study. The plant materials under investigation were cultivated in the randomized complete block design with four replications in four regions of Borujerd, Piranshahr, Jovein, and Shirvan in 2021. After harvesting and estimating root yield, sugar content, white sugar yield, and extraction coefficient of sugar for each of the experimental cultivars, analysis of the stability of root yield and white sugar yield were done by using the additive main effect and multiplicative interaction model and simultaneous analysis of the stability of four measured characteristics with a multi-trait stability index.

Results: The additive effects analysis results of AMMI's model showed that genotype, environment, and genotype-environment interaction were significant at the 1% probability level. Analyzing the multiplicative effect of AMMI's model into principal components showed that in both studied traits, only the first two components of the interaction were significant at the 1% probability level. According to the biplot of the mean yield against the weighted average of absolute scores of the principal components, the Dena in terms of root yield and Dena and Sina in terms of white sugar yield was known as stable cultivars with suitable yield. In the biplot of the first and second principal components of the genotype-environment interaction, the Dena in terms of root yield and Dena, Ekbatan, and Sina in terms of white sugar yield was recognized as cultivars with suitable general adaptability. The studied areas were divided into three mega-environments in terms of each root yield and white sugar yield, so Jovein and Shirvan were identified as the first mega-environment, Borujerd as the second mega-environment, and Piranshahr as the third mega-environment. Based on the results of the multi-trait stability index, the Perfekta was the most ideal cultivar at the same time in terms of all four traits of root yield, white sugar yield, sugar content, and extraction coefficient of sugar, and after that, Flores and Sina were the ideal cultivars.

Conclusion: According to the obtained results, it can be concluded that the environmental conditions and their interaction with the genotype play a significant role in influencing the phenotypic expression of traits in different sugar beet genotypes and cause yield fluctuations from one environment to another. Therefore, it is necessary to be more careful when releasing genotypes to introduce genotypes that are adaptable to the conditions of the target environment and produce suitable products.

Keywords: Adaptability, Biplot, Stability, Sugar beet and Genetic material

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

OPEN ACCESS
CC BY NC

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

مطالعه تأثیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر پتانسیل تولید کمی و کیفی ارقام مختلف چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)

محمدرضا میرزایی[۱]، داریوش طالقانی[۲]، سعید صادق‌زاده حمایتی[۲]، مسعود احمدی[۳]، جمشید سلطانی[۳]، بابک بابایی[۲]، حیدر عزیزی[۴]، محسن بذرافشان[۵] و علی صارمی‌راد[۲]

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: Mirzaie_1346@yahoo.com)
۲- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- بخش تحقیقات چغندرقند مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۴- بخش تحقیقات چغندرقند مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
۵- بخش تحقیقات چغندرقند مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲۲
صفحه: ۳۸ تا ۴۹

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: عملکرد و کیفیت قند در چغندرقند نیز همانند سایر گیاهان شدیداً تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد و تغییرات بالایی در عملکرد کمی و کیفی آن رخ می‌دهد. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف مطالعه تأثیر برهمکنش ژنوتیپ-محیط بر پتانسیل تولید کمی و کیفی ارقام چغندرقند و نیز تعیین سازگاری آن‌ها با طیف وسیعی از محیط‌های با شرایط متفاوت پایه‌ریزی و به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها: تعداد هفت رقم چغندرقند متشکل از چهار رقم داخلی و سه رقم خارجی، مواد ژنتیکی پژوهش حاضر را تشکیل دادند. مواد گیاهی تحت بررسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در چهار منطقه بروجرد، پیرانشهر، جوین و شیروان در سال ۱۴۰۰ کشت شدند. پس از برداشت محصول و برآورد عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، عملکرد شکر سفید و ضریب استحصال شکر مربوط به هر یک از ارقام آزمایشی، تجزیه پایداری دو ویژگی عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید با به‌کارگیری مدل امی و تجزیه پایداری هم‌زمان چهار ویژگی اندازه‌گیری‌شده با شاخص پایداری چندمتغیره انجام شد.

یافته‌ها: تجزیه اثرات افزایشی مدل امی نشان داد ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ- محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تجزیه اثر ضرب‌پذیر مدل امی به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که در هر دو صفت مورد مطالعه تنها دو مؤلفه اول برهمکنش، تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. طبق بای‌پلات میانگین عملکرد در برابر میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات مؤلفه‌های اصلی، رقم دنا از نظر عملکرد ریشه و دو رقم دنا و سینا از نظر عملکرد شکر سفید تحت عنوان ارقام پایدار با عملکرد مطلوب شناخته شدند. در بای‌پلات اولین و دومین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط رقم دنا از نظر عملکرد ریشه و ارقام دنا، اکباتان و سینا از نظر عملکرد شکر سفید به‌عنوان ارقام با سازگاری عمومی مطلوب شناخته شدند. مناطق مورد بررسی از نظر هر یک از صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید به سه محیط بزرگ تقسیم شدند، به‌طوری‌که جوین و شیروان به‌عنوان اولین محیط بزرگ، بروجرد به‌عنوان دومین محیط بزرگ و پیرانشهر به‌عنوان سومین محیط بزرگ شناخته شد. بر اساس نتایج شاخص پایداری چندمتغیره، رقم پرفکتا ایده‌آل‌ترین رقم به‌صورت هم‌زمان از نظر هر چهار صفت عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر بود و پس از آن ارقام فلورس و سینا تحت عنوان ایده‌آل‌ترین ارقام بودند.

نتیجه‌گیری: نظر به نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که شرایط محیطی و برهمکنش آن با ژنوتیپ نقش بسزایی در تأثیرگذاری بر بیان فنوتیپی صفات در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند دارد و سبب ایجاد نوسان عملکرد از محیطی به محیط دیگر می‌شود. لذا لازم است در هنگام آزادسازی ژنوتیپ‌ها دقت بیش‌تری نموده تا ژنوتیپ‌هایی را معرفی کرد که با شرایط محیط هدف سازگاری داشته باشند و سبب تولید محصول مطلوب شوند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، پایداری، چغندرقند و مواد ژنتیکی، سازگاری

مقدمه

شرایط اقلیمی همراه با خصوصیت‌های خاک از عوامل اصلی محیطی هستند که بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارند (۴۲). اتمسفر و آب موجود در خاک، دما و بافت خاک به همراه عوامل دیگری مانند pH خاک و وضعیت مواد مغذی آن، می‌تواند بر رشد گیاهان تأثیرگذار باشد (۲۶). خاک با تأکید بر کربن خاک، کیفیت آب و محتوای آن نقش عمده‌ای را در چرخه زندگی گیاه ایفا می‌نماید؛ به‌طوری که اغلب مشکلاتی مانند کمبود مواد مغذی، تنش آبی و سمیت که در گیاهان رخ می‌دهد، ناشی از آن است. ساختار خاک نه‌تنها بر رشد گیاهان بلکه بر توانایی آن‌ها در جذب مواد مغذی و آب نیز تأثیر می‌گذارد (۳۲). به‌طورکلی هر محیطی ویژگی‌های خاک و شرایط آب و هوایی خاص خود را دارد که می‌تواند بر بهره‌وری تولید محصولات کشاورزی سایه افکند؛ بنابراین، در نظر گرفتن تأثیر محیط در هنگام بررسی مناسب‌ترین کشت الزامی است؛ زیرا بسیاری از عوامل محیطی، پتانسیل ژنتیکی گیاه را تحت‌الشعاع قرار داده و سبب می‌شود تا عملکرد در مزارع تجاری محدود گردد (۴۴). این خلأ عملکرد بین عملکرد اندازه‌گیری‌شده در آزمایش‌های تکمیلی معرفی رقم و عملکرد واقعی در مزارع کشاورزان در برخی کشورها بیش از ۳۰ درصد برآورد شده است (۱۸) که علت اصلی آن عدم ثبات عملکرد (۹) درنتیجه برهمکنش ژنوتیپ و عوامل محیطی عنوان شده است. در این رابطه قابل ذکر است که با افزایش پتانسیل ژنتیکی عملکرد، بالطبع گیاه تقاضای بیشتری را برای منابع زراعی مورد نیاز خود خواهد داشت، درنتیجه خطر تنش‌های زیستی و یا غیر زیستی بیشتری گیاه را تهدید می‌کند؛ از این‌رو برای حل این چالش، باید پتانسیل عملکرد بالا با افزایش تحمل در برابر عوامل مختل‌کننده محیطی همراه باشد که درنتیجه آن، ثبات پایداری عملکرد با افزایش پتانسیل عملکرد کاهش نمی‌یابد (۱۰،۴۳).

برهمکنش ژنوتیپ- محیط پدیده‌ای است که به پاسخ مختلف ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از محیط‌ها اشاره دارد (۱۹،۲۰) و در سطح جهانی توسط همه افرادی که در حوزه

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

اصلاح و نگهداری گیاهان زراعی فعالیت دارند، شناخته شده است، زیرا این پدیده بر پیشرفت اصلاحی تأثیر می‌گذارد و ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را دشوار می‌کند. لذا برای به‌نژادگران از نظر تولید و معرفی ارقام جدید و پر محصول اهمیت ویژه‌ای دارد. در این میان ویژگی‌های کمی نظیر عملکرد که از نظر اقتصادی و زراعی مهم هستند، می‌توانند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط قرار گیرند. شناخت این پدیده این امکان را برای به‌نژادگران فراهم می‌آورد تا بتوانند در ارزیابی و آزادسازی ژنوتیپ‌ها، دقت بیش‌تری کرده و ژنوتیپ‌هایی را انتخاب نمایند که از نظر تولید محصول مطلوب هستند و با شرایط محیط هدف سازگاری دارند. از سوی دیگر، برهمکنش ژنوتیپ- محیط ممکن است فرصت‌هایی را نیز در اختیار به‌نژادگران قرار دهد تا ژنوتیپ‌هایی که برهمکنش مثبت با یک مکان خاص (سازگاری خصوصی) دارند و یا ژنوتیپ‌هایی که عملکرد مناسب در اکثر محیط‌ها (پایداری عملکرد) نشان می‌دهند را انتخاب نمایند (۶،۴۱). در این ارتباط اگر برهمکنش ژنوتیپ و محیط تغییر در رتبه ژنوتیپ‌ها را سبب نگردد، قابل چشم‌پوشی است؛ اما اگر تغییر محیط، تغییر در رتبه ژنوتیپ‌ها را به همراه داشته باشد، غیرقابل چشم‌پوشی بوده و باید مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد (۳۳). به این منظور با کشت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، پاسخ‌های ژنوتیپی متفاوتی ثبت می‌شود که می‌توان یک ژنوتیپ برتر و پایدار را گزینش کرد (۴۰).

چغندرقند یک محصول بسیار مهم و تخصصی کشاورزی است که صرفاً در صنعت قند مورداستفاده قرار می‌گیرد (۲۷،۳۵). پتانسیل عملکرد بالا در چغندرقند برای بهره‌وری کارآمد از زمین‌های قابل کشت، امری حیاتی و اجتناب‌ناپذیر است؛ زیرا این گیاه یکی از قابل‌توجه‌ترین گیاهان قندی است که حدود ۳۰ درصد (نزدیک به ۴۲ میلیون تن) از نیاز جهانی قند را تأمین می‌کند (۱۲) و پس از نیشکر به‌عنوان دومین گیاه تأمین‌کننده قند جهان شناخته می‌شود (۲۷،۳۵). در سال ۱۴۰۰ سطح زیرکشت چغندرقند پاییزه و بهاره کشور ۱۳۵ هزار هکتار و میزان تولید محصول آن به مقدار ۶/۷ میلیون تن رسید. کل میزان شکر تولیدی در سال ۱۴۰۰ از محل چغندرقند و نیشکر به ترتیب حدود ۸۸۱۴۸۰ و ۵۸۰۴۶۵ تن بود. مصرف سرانه شکر در سال حدود ۲۷ کیلوگرم می‌باشد. ضریب خود اتکایی در سال‌های مختلف متفاوت بوده و حدود ۸۵ درصد می باشد. ژنوتیپ‌های چغندرقند به شکل متفاوتی با محیط‌های مختلف سازگار می‌شوند، لذا ارزیابی هر یک از آن‌ها با توجه به اهداف می‌تواند تفاوت‌هایی داشته باشد (۵). این ارزیابی‌ها برای معتبر بودن به یک سری آزمایش‌های محیطی چندگانه در مرحله گزینش پیشرفته نیاز دارند (۳). هر ژنوتیپ باید برای چندین سال در چندین مکان مختلف ارزیابی شود تا ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار را به‌توان در هنگام رشد و نمو در محیط‌های مختلف شناسایی کرد و برای کشت در مناطق هدف، توصیه نمود. در این خصوص آزمایش‌های ناحیه‌ای در بسیاری از کشورها در قالب ارزیابی ژنوتیپ‌ها برای نتایج قابل‌اعتمادتر انجام می‌شوند. با کشت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، پاسخ‌های ژنوتیپی متفاوتی ثبت می‌شود که می‌توان یک هیبرید برتر و پایدار را بر پایه تجزیه و تحلیل این اطلاعات به شکل صحیح شناسایی نمود (۴۰).

مطالعه جامع برهمکنش ژنوتیپ- محیط نیاز به روش‌های آماری قدرتمندی دارد. روش‌های متعددی برای تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از آزمایش‌های ناحیه‌ای و مطالعه ماهیت برهمکنش ژنوتیپ- محیط توسط محققان ارائه شده است که به‌طورکلی در دو گروه اصلی روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم‌بندی می‌شوند. در میان روش‌های چندمتغیره مدل اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر[1] (AMMI) از اهمیت بالایی برخوردار هستند. روش امی درواقع ترکیبی از مدل تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. بخش اول مدل امی یعنی بخش جمع‌پذیر از تجزیه واریانس استفاده می‌کند (۱۶) و بخش دوم که قسمت ضرب پذیر مدل امی را شامل می‌شود از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ- محیط به یک تا n مؤلفه اصلی استفاده می‌نماید (۱۷). در حقیقت دلیل استفاده گسترده از این مدل قدرت تفکیک بالای اثرات اصلی و برهمکنش ژنوتیپ- محیط و نیز توجیه بخش بزرگی از مجموع مربعات برهمکنش می‌باشد (۱۱). به‌تازگی شاخص جدیدی با عنوان میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات[2] (WAAS) (۲۹) به شاخص‌های مبتنی بر مدل امی اضافه شده است. در این رویکرد کلیه مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط (نه فقط مؤلفه اول و دوم) در نظر گرفته شده و برای ترسیم بای‌پلات میانگین عملکرد در برابر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط به کار می‌رود. درنتیجه واریانس برهمکنش ژنوتیپ- محیط به‌طور کامل در گزینش ژنوتیپ برتر لحاظ می‌گردد (۲۹).

مدل امی اغلب همراه با مدل گرافیکی GGE biplot برای شناسایی محیط‌های بزرگ و ژنوتیپ‌های موفق در هر محیط بزرگ استفاده می‌شود. این مدل گرافیکی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد گردیده است (۱۵،۱۷،۲۳،۴۶). این روش از طریق نمایش گرافیکی برهمکنش ژنوتیپ- محیط به اصلاح‌گر کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مختلف را بررسی نماید. ویژگی منحصر به فرد GGE biplot این است که به استناد نمودارهای حاصل می‌توان اظهار نمود که کدام ژنوتیپ در کدام محیط یا زیرگروه از پتانسیل بالاتری برخوردار می‌باشد (۱۳). برای برآورد همین اطلاعات، الیوتو و همکاران (۲۹) یک تفسیر گرافیکی جدیدی با رسم عملکرد اسمی صفت در برابر مقادیر اولین مؤلفه اصلی محیطی ارائه کردند. مقایسه دو روش گرافیکی GGE biplot و بای‌پلات محیط در مقابل عملکرد اسمی نتایج مشابهی را نشان داد (۲۴). در این روش ژنوتیپ موفق ژنوتیپی است که دارای ارزش عملکرد اسمی بالایی از نظر صفت موردنظر در یک محیط معین باشد.

اخیراً اولیوتو و همکاران (۳۰) مبانی نظری شاخص پایداری چندمتغیره[3] (MTSI) را برای انتخاب ژنوتیپ‌های با کارایی بالا و پایدار در آزمایش‌های چندمحیطی بر اساس صفات متعدد با در نظر گرفتن هر دو مدل اثر ثابت و اثر تصادفی معرفی نمودند. شاخص پایداری MTSI بر اساس فاصله از ژنوتیپ ایده‌آلی که از طریق تجزیه به عامل‌ها برآورد می‌شود، محاسبه می‌گردد

1- Additive main effect and multiplicative interaction
2- Weighted average of absolute scores
3- Multi-trait stability index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

(۳۰). این شاخص امکان گزینش ژنوتیپ‌های پایدار را با دیفرانسیل گزینش مثبت برای صفاتی که افزایش آن‌ها مدنظر است و دیفرانسیل گزینش منفی برای صفاتی که کاهش آن‌ها مدنظر است، فراهم می‌کند. از طرفی این شاخص پایداری می‌تواند برای اصلاح‌کنندگان و کشاورزانی که هدف آن‌ها انتخاب هم‌زمان برای میانگین عملکرد و پایداری با در نظر گرفتن چندین صفت است، مفید باشد؛ به دلیل اینکه فرآیند گزینش منحصر به فردی را فراهم می‌کند که تفسیر آن آسان است و ساختار همبستگی را در بین صفات در نظر می‌گیرد (۳۰).

رنجی و همکاران (۳۴) با ارزیابی ارقام مختلف چغندرقند، ژنوتیپ‌های پایدار در محیط‌های مختلف را شناسایی کردند. صارمی‌راد و طالقانی (۳۷) تعداد ۱۵۵ هیبرید چغندرقند را در هفت منطقه از نظر پایداری ارزیابی نمودند. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه آن‌ها، حاکی از این بود که برهمکنش ژنوتیپ- محیط، ویژگی‌های کمی و کیفی عملکرد قند هیبریدهای چغندرقند را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد، لذا هنگام اصلاح هیبریدهای جدید باید این موضوع مد نظر قرار گیرد؛ زیرا برآورد برهمکنش ژنوتیپ- محیط این امکان را فراهم می‌نماید تا در خصوص اصلاح برای سازگاری عمومی یا خصوصی که بستگی به ثبات و پایداری عملکرد در یک دامنه محدود یا گسترده‌ای از شرایط محیطی دارد، تصمیم‌گیری شود و گام مؤثری در جهت توسعه ارقام حائز پایداری و سازگاری با محیط/های هدف طی گردد.

در مطالعه حاضر مجموعه‌ای از ارقام چغندرقند با هدف بررسی تأثیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر پتانسیل تولید کمی محتوای قند و نیز تعیین سازگاری آن‌ها، در طیف وسیعی از محیط‌های با شرایط متفاوت کشت گردیدند تا ارقام موفق شناسایی شوند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط آزمایشی

تعداد هفت رقم چغندرقند شامل چهار رقم داخلی اکباتان، دنا، سینا و شریف و سه رقم خارجی آناکندا (Anaconda)، فلورس (Flores) و پرفکتا (Perfekta) مواد ژنتیکی پژوهش حاضر را تشکیل دادند که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه گردید. آزمایش در چهار منطقه بروجرد، پیرانشهر، جوین و شیروان با طیف وسیعی از شرایط محیطی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰ انجام شد. جزئیات جغرافیایی و آب و هوایی مناطق آزمایشی نامبرده در جدول ۲ نمایش داده شد.

در این آزمایش، هر واحد آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول ۱۰ متر با فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر بود. در هنگام کشت، بر روی ردیف‌ها تعداد بذر بیشتری قرار داده شد که پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی تنک گردیدند و به تراکم حدود ۱۱۰۰۰۰ بوته در هکتار رسانده شدند. کلیه عملیات داشت مطابق روش‌های متداول هر منطقه انجام گرفت. آبیاری آزمایش‌ها مطابق نیاز گیاهان در هر یک از چهار منطقه تحت بررسی انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و نازک برگ مزارع با وجین دستی و نیز طی چند مرحله با سموم علف‌کش انجام گرفت. به‌منظور ردیابی و پیشگیری از حمله آفات چغندرقند، مزارع به‌صورت مرتب تحت بازدید قرار گرفت. عملیات برداشت آزمایش‌ها در هر چهار منطقه در دهه اول آبان ماه سال ۱۴۰۰ همراه با شمارش و توزین ریشه‌های چهار ردیف میانی با حذف یک متر از ابتدا و انتهای خطوط انجام شد.

جدول ۱- اسامی و مشخصات ارقام چغندرقند مورد مطالعه

Table 1. Names and characterization of studied sugar beet cultivars

ردیف Row	رقم Cultivar	مشخصات Characteristics
1	آناکندا Anaconda	مقاوم به بیماری ریزومانیا Resistant to rhizomania disease
2	دنا Dena	مقاوم به بیماری ریزومانیا و پوسیدگی ریزوکتونیایی Resistant to rhizomania and rhizoctonia rot
3	اکباتان Ekbatan	مقاوم به بیماری پوسیدگی ریزوکتونیایی و متحمل در برابر بیماری ریزومانیا Resistant to rhizoctonia rot and tolerant to rhizomania
4	فلورس Flores	مقاوم به بیماری ریزومانیا و پوسیدگی ریزوکتونیایی Resistant to rhizomania and rhizoctonia rot
5	پرفکتا Perfekta	مقاوم به بیماری ریزومانیا Resistant to rhizomania
6	سینا Sina	مقاوم به بیماری ریزومانیا و پوسیدگی ریزوکتونیایی Resistant to rhizomania and rhizoctonia rot
7	شریف Sharif	-

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographical characteristics of the experimental implementation aeras

ردیف Row	مناطق آزمایشی Experiment areas	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude Sea level (meter)	عرض جغرافیائی(درجه: دقیقه) Latitude (Degree: minute)	طول جغرافیائی(درجه: دقیقه) Latitude (Degree: minute)
1	لرستان، بروجرد Borujerd, Lorestan	1573	33:9	48:8
2	آذربایجان غربی، پیرانشهر Piranshahr, West Azerbaijan	1502	36:42	45:8
3	خراسان رضوی، جوین Joveyn, Razavi Khorasan	1100	36:40	57:30
4	خراسان شمالی، شیروان Shirvan, North Khorasan	1097	37:40	57:93

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

برداشت محصول و یادداشت‌برداری صفات

پس از شستشوی ریشه‌ها، به‌طور تصادفی با استفاده از دستگاه خودکار ونما (Venema CZECH SUGAR ENGINEERING Netherlands) از ریشه‌های هر کرت نمونه خمیر تهیه گردید و در آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. به این منظور نمونه‌های خمیر تهیه‌شده پس از خارج شدن از حالت انجماد، از هر یک ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات سرب (lead (II) hydroxide acetate) به مدت سه دقیقه در داخل همزن مخلوط گردید. پس از گذراندن محلول از صافی، مایع شفافی حاصل شد که از آن در دستگاه بتالایزر (Betalyser، سیستم خودکار تجزیه کیفیت چغندرقند) برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی شامل درصد قند ناخالص، نیتروژن مضر و عنصرهای سدیم و پتاسیم استفاده شد (۲۵). اندازه‌گیری قند ناخالص به روش پلاریمتری و اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم به روش طیف‌سنجی نشر شعله و طیف‌سنجی نوری (اسپکتروفتومتری) پس از استخراج و شفاف‌سازی عصاره آن به روش عدد آبی[1] انجام شد (۲۵). درنهایت از مقادیر به‌دست‌آمده برای این ویژگی‌ها، جهت تخمین عملکرد شکر سفید و ضریب استحصال شکر به ترتیب بر اساس روابط ۱ و ۲ استفاده شد:

رابطه ۱ (۸): $$\mathrm{WSY} = \mathrm{WSC} \times \mathrm{RY}$$

رابطه ۲ $$\mathrm{ECS} = \left(\frac{\mathrm{WSC}}{\mathrm{SC}}\right) \times 100$$

در این روابط WSY عملکرد شکر سفید برحسب تن در هکتار، WSC قند قابل استحصال برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم چغندرقند، RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار، ECS ضریب استحصال شکر برحسب درصد شکر و SC درصد قند برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم چغندرقند می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت، تجزیه پایداری ارقام آزمایشی بر اساس مدل امی برای صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید با استفاده از رابطه ۳ صورت پذیرفت.

رابطه ۳

$$\mathrm{Y_{ger}} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ge}$$

در این رابطه، $\mathrm{Y_{ger}}$ عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام است، μ میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی nام، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، ρ_{ge} مقدار باقی‌مانده و ε_{ge} مربوط به خطا می‌باشد (۱۶). با انجام تجزیه واریانس امی با استفاده از فراخوانی پکیج metan در نرم‌افزار R، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط به دست آمد. شاخص WAAS با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده برای مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (۲۹) و در ترسیم بای‌پلات میانگین عملکرد در برابر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ-محیط، جایگزین اولین مؤلفه اصلی گردید.

رابطه ۴ $$\mathrm{WAAS_i} = \frac{\sum_{k=1}^{P} \left|\mathrm{IPCA_{ik}} \times \mathrm{EP_k}\right|}{\sum_{k=1}^{P} \mathrm{EP_k}}$$

در این رابطه، $\mathrm{WAAS_i}$ میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات ژنوتیپ/ محیط iام، $\mathrm{IPCA_{ik}}$ قدر مطلق امتیاز ژنوتیپ/ محیط iام در مؤلفه برهمکنش kام و $\mathrm{EP_k}$ مقادیر واریانس توجیه‌شده توسط مؤلفه برهمکنش kام می‌باشد.

نمایش گرافیکی الگوی کدام برای کجا (which-won-where) و شناسایی محیط‌های بزرگ با محاسبه مقادیر عملکرد اسمی صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید در برابر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر اساس رابطه ۵ با فراخوانی پکیج metan در نرم‌افزار R ترسیم شد.

رابطه ۵: $$\hat{\mathrm{Y}}_{ij} = \mu_i + \mathrm{IPCA_i} \times \mathrm{IPCA_j}$$

در این رابطه $\hat{\mathrm{Y}}_{ij}$ عملکرد اسمی ژنوتیپ iام در محیط jام، μ_i میانگین کل ژنوتیپ iام، $\mathrm{IPCA_i}$ امتیاز مقدار اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ iام و $\mathrm{IPCA_j}$ امتیاز مقدار اولین مؤلفه اصلی برهمکنش محیط jام می‌باشد.

شاخص پایداری MTSI برای محاسبه میانگین عملکرد و پایداری هم‌زمان صفات عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، عملکرد شکر سفید و ضریب استحصال شکر بر اساس رابطه ۶ با فراخوانی پکیج metan در نرم‌افزار R برآورد شد (۳۰).

رابطه ۶ $$\mathrm{MTSI}_i = \left[\sum_{j=1}^{f} \left(\gamma_{ij} - \gamma_j\right)^2\right]^{0.5}$$

در این رابطه، MTSi شاخص پایداری چندمتغیره ژنوتیپ iام، γ_{ij} امتیاز ژنوتیپ iام در عامل jام، γj نمره ژنوتیپ ایده‌آل در عامل jام می‌باشد. امتیازها بر اساس تجزیه به عامل‌ها برای ژنوتیپ‌ها و صفات محاسبه شد.

نتایج و بحث

نظر به اینکه واریانس خطای آزمایش‌های مختلف همگن بود، تجزیه واریانس مرکب بر مبنای مدل امی برای دو صفت عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید انجام شد و نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردید. اثر معنی‌دار محیط در سطح احتمال یک درصد برای هر دو صفت نامبرده، حاکی از وجود تفاوت میان شرایط محیطی مناطق اجرای آزمایش بود. اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید؛ بنابراین ارقام مورد مطالعه عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید متفاوتی را نشان دادند. برهمکنش ژنوتیپ- محیط نیز برای هر دو صفت عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این موضوع نشان می‌دهد که تغییر محیط، تغییر در رتبه ژنوتیپ‌ها را به همراه داشته است و سبب شده است که عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید ارقام آزمایشی از محیطی به محیط دیگر متفاوت باشد که تأییدکننده غیر قابل اجتناب بودن برهمکنش‌های مختلف در تحقیقات کشاورزی است (۳۶،۴۵)، بنابراین باید توسط محققین این حوزه موردتوجه قرار گیرد تا نتایج مطلوبی در پیشرفت تحقیقات کشاورزی حاصل شود.

1- Blue number method

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

بر اساس نتایج، بیشترین درصد مجموع مربعات کل برای صفات مورد بررسی عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید به‌وسیله برهمکنش ژنوتیپ- محیط (به ترتیب ۴۴/۳۹ و ۳۰/۵۹ درصد) تبیین شد و پس‌ازآن بالاترین واریانس توجیه‌شده در صفت عملکرد ریشه توسط ژنوتیپ (۱۵/۲۰ درصد) و در صفت عملکرد شکر سفید توسط محیط (۲۸/۵۴ درصد) تبیین گردید. واریانس توجیه‌شده بالا برای برهمکنش ژنوتیپ-محیط مبین تأثیرگذاری زیاد این اثر بر بیان فنوتیپی صفات در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند است که سبب ایجاد نوسان عملکرد از محیطی به محیط دیگر می‌شود. پس از آن، تنوع ژنتیکی میان ارقام مورد بررسی برای عملکرد ریشه و شرایط محیطی حاکم بر مزرعه برای عملکرد شکر سفید تأثیر بسزایی را در تغییرات داده‌ها داشته است. با توجه به اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ- محیط، تجزیه اثرات ضرب‌پذیر انجام شد تا ارقام پایدار بر اساس مدل امی شناسایی گردند. بر اساس این نتایج (جدول ۳)، در هر دو صفت مورد مطالعه تنها دو مؤلفه اول، برهمکنش معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشتند. مدل امی با دو مؤلفه اصلی برهمکنش معنی‌دار بهترین مدل پیش‌بینی شده است (۴،۴۷). مؤلفه اول به ترتیب برای صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید ۷۶/۳۰ و ۶۷/۸۰ درصد از تغییرات برهمکنش را تبیین نمود. مؤلفه دوم ۲۱/۵۰ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ- محیط عملکرد ریشه و ۲۹/۱۰ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ- محیط عملکرد شکر سفید را تبیین کرد. مجموع مربعات باقی‌مانده از مدل امی با پایین‌ترین میانگین مربعات برای هر دو صفت مورد مطالعه غیر معنی‌دار بود که نشان‌دهنده دقت قابل ملاحظه این مدل است (۲). در مطالعه‌ای که با استفاده از مدل امی انجام شد، مؤلفه اصلی اول برهمکنش معنی‌دار گردید و حدود ۶۳ درصد از تنوع داده‌ها را تبیین کرد (۲۸). در مطالعه کریمی‌زاده و همکاران (۲۲) پنج مؤلفه اصلی برهمکنش درمجموع ۹۰/۳۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ- محیط را توجیه کردند. فتحی و همکاران (۱۴) سهم مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ- محیط را به ترتیب ۴۹/۱۰ درصد و ۲۲/۵۰ درصد برآورد نمودند که این دو مؤلفه توانستند در مجموع ۷۱/۶۰ درصد تغییرات برهمکنش ژنوتیپ- محیط را به خود اختصاص دهند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید ارقام مورد مطالعه بر اساس مدل امی

Table 3. Combined analysis of variance of root yield and white sugar yield of studied cultivars based on AMMI model

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد ریشه Root yield			عملکرد شکر سفید White sugar yield		
		مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	درصد واریانس توجیه‌شده Percentage of justified variance	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	درصد واریانس توجیه‌شده Percentage of justified variance
محیط Environment	3	3530.20	1176.74**	11.69	222.70	74.23**	28.54
اشتباه یک Error one	12	1227.70	102.31	–	27.13	2.62	–
ژنوتیپ Genotype	6	4590.90	765.16**	15.20	158.41	26.40**	20.30
ژنوتیپ×محیط Genotype × Environment	18	13402.80	744.60**	44.39	238.68	13.26**	30.59
مؤلفه اول First component	8	10222.90	1277.87**	76.30	161.75	20.21**	67.80
مؤلفه دوم Second component	6	2876.06	479.34**	21.50	69.40	11.56**	29.10
باقیمانده Residual	4	303.70	75.92 ns	2.30	7.52	1.88 ns	3.20
اشتباه دو Error second	72	7437.0	103.29	–	133.18	1.85	–
ضریب تغییرات (%) Coefficient variation (%)			20.87			22.0	

** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌دار.

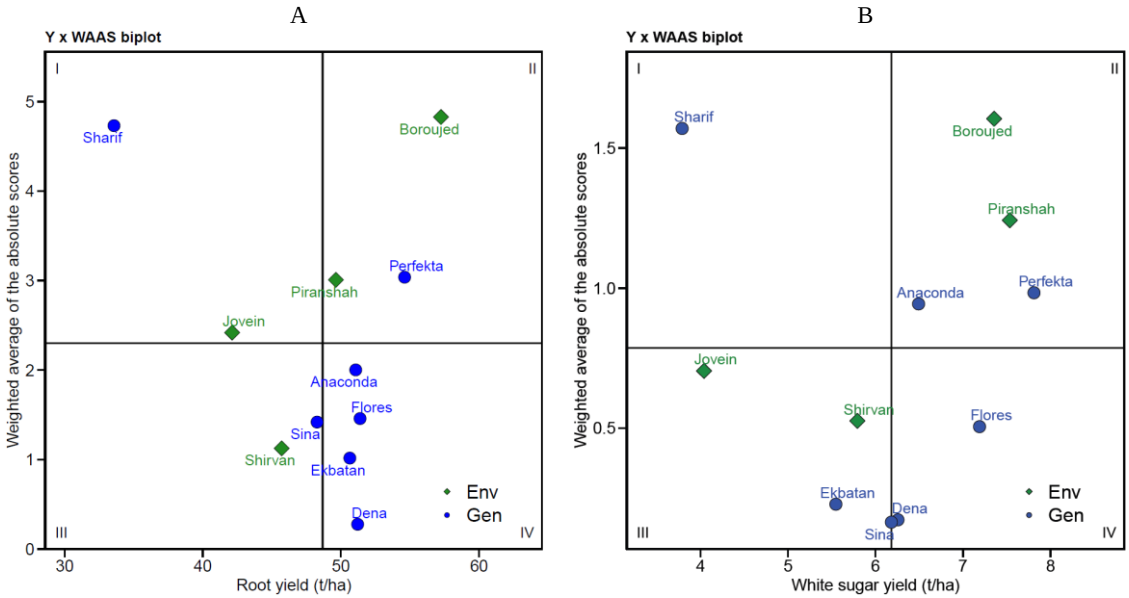
**, ns: Significant at one percent probability level and non- significant, respectively.

بای‌پلات میانگین عملکرد در مقابل میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات به‌منظور سادگی بای‌پلات WAAS (شکل A۱ و B) نامیده می‌شود. بای‌پلات WAAS برخلاف مدل امی که تنها اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط را در نظر می‌گیرد، پایداری را بر اساس تمام امتیازات مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط بیان می‌کند (۲۹)؛ بنابراین، WAAS کل واریانس برهمکنش ژنوتیپ- محیط را در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار لحاظ می‌نماید (۲۹). در این بای‌پلات خط عمود در میانه بای‌پلات نشان‌دهنده میانگین کل عملکرد ریشه (شکل A۱) و عملکرد شکر سفید (شکل B۱) چهار منطقه آزمایشی می‌باشد. ارقام و مناطق سمت راست این خط دارای عملکرد بالاتر از میانگین کل می‌باشند. با توجه به این توضیح ارقام پرفکتا، فلورس، آناکندا، دنا و اکباتان برای عملکرد ریشه و ارقام پرفکتا، فلورس، آناکندا، دنا و سینا برای عملکرد شکر سفید به ترتیب با قرار گرفتن در سمت راست خط عمود میانه بای‌پلات، بیشترین تا کمترین عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین کل را به خود اختصاص دادند. با توجه به بای‌پلات مذکور از نظر عملکرد ریشه ارقام شریف و سینا و از نظر عملکرد شکر سفید ارقام شریف و اکباتان کمترین میزان عملکرد را داشتند. همچنین در بین مناطق آزمایشی بروجرد و پیرانشهر عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید بالایی را نشان دادند. جوین و شیروان کمترین عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید را داشتند. محور افقی در میانه بای‌پلات نشان‌دهنده ناحیه میانگین شاخص WAAS می‌باشد. از تقاطع

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

این محور با محور عمودی (میانگین عملکرد) بای‌پلات به چهار ربع تقسیم می‌شود. ارقام موجود در ربع‌های مختلف بای‌پلات را می‌توان بر اساس تناسب آن‌ها با محیط‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. رقم شریف موجود در ربع اول بای‌پلات مربوط به هر دو صفت عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید دارای مقدار WAAS بالا و عملکرد پایین‌تر از میانگین کل است که نشان‌دهنده ماهیت بسیار پر نوسان و ناپایدار آن در محیط‌های مختلف و عملکرد کمتر از حد متوسط است. به‌طورکلی این رقم برای کشت توصیه نمی‌شود. رقم پرفکتا موجود در ربع دوم بای‌پلات عملکرد ریشه و ارقام پرفکتا و آناکندا حضوریافته در ربع دوم بای‌پلات عملکرد شکر سفید دارای WAAS بالا و مقادیر عملکرد بالاتر از میانگین کل هستند. این ارقام اگرچه به شرایط محیطی واکنش نشان می‌دهند اما توانایی تشخیص خوبی دارند و در صورت مساعد بودن شرایط محیطی، عملکرد آن‌ها بسیار زیاد خواهد بود. این ارقام را می‌توان برای کشت در مناطق با شرایط ایده‌آل برای رشد و نمو چغندرقند توصیه نمود. رقم سینا در ربع سوم بای‌پلات‌های عملکرد ریشه و رقم اکباتان در ربع سوم بای‌پلات عملکرد شکر سفید، دارای WAAS کمتری بودند که نشان‌دهنده پایداری یا عدم تأثیرپذیری آن‌ها از شرایط محیطی است. این ارقام در عین حال عملکرد پایینی نشان دادند. ارقام دنا، اکباتان، فلورس و آناکندا قرارگرفته در ربع چهارم بای‌پلات مربوط به عملکرد ریشه و نیز ارقام سینا، دنا و فلورس واقع در ربع چهارم بای‌پلات مربوط به عملکرد شکر سفید دارای WAAS پایین و عملکرد بالاتر از میانگین کل بودند. ارقام قرارگرفته در این ربع بای‌پلات به دلیل تأثیرپذیری پایین از شرایط محیطی و عملکرد مناسب، تحت عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد مطلوب شناخته می‌شوند. به‌طورکلی می‌توان بای‌پلات WAAS را به این شکل ساده‌تر نیز تفسیر نمود که ژنوتیپ‌های با مقادیر WAAS صفر یا نزدیک به صفر به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند (۲۹)؛ بنابراین از نظر عملکرد ریشه رقم دنا و از نظر عملکرد شکر سفید ارقام سینا، دنا و اکباتان دارای برهمکنش ژنوتیپ- محیط پایین و پایداری بالایی می‌باشند؛ اما ژنوتیپ‌های ایده‌آل، ژنوتیپ‌هایی هستند که مقدار WAAS صفر یا نزدیک به صفر و مقدار عملکرد بالاتر از میانگین کل دارند. رقم دنا علاوه بر پایداری عملکرد ریشه بیشتر از میانگین کل داشت، لذا به‌عنوان رقم پایدار با عملکرد ریشه مطلوب انتخاب شد. در میان سه رقم پایدار از نظر عملکرد شکر سفید، به ترتیب دو رقم دنا و سینا از عملکرد شکر سفید مناسبی برخوردار بودند و تحت عنوان ارقام پایدار با عملکرد مطلوب شناخته شدند. در مطالعه آهک‌پز و همکاران (۱) از بای‌پلات WAAS برای تعیین پایداری ارقام در محیط‌های مختلف استفاده شد و نتایج سودمندی ارائه گردید. نتایج پژوهش حاضر نیز مؤید سودمندی این بای‌پلات در گزینش ارقام پایدار می‌باشد.



شکل ۱- نمودار بای‌پلات میانگین عملکرد ریشه (A) و عملکرد شکر سفید (B) ارقام و محیط‌های آزمایشی در برابر میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات (WAAS) مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط

Figure 1. Biplot of root yield (A) and white sugar yield (B) means of cultivars and experimental environments against the weighted average absolute scores (WAAS) of the genotype-environment interaction principal components

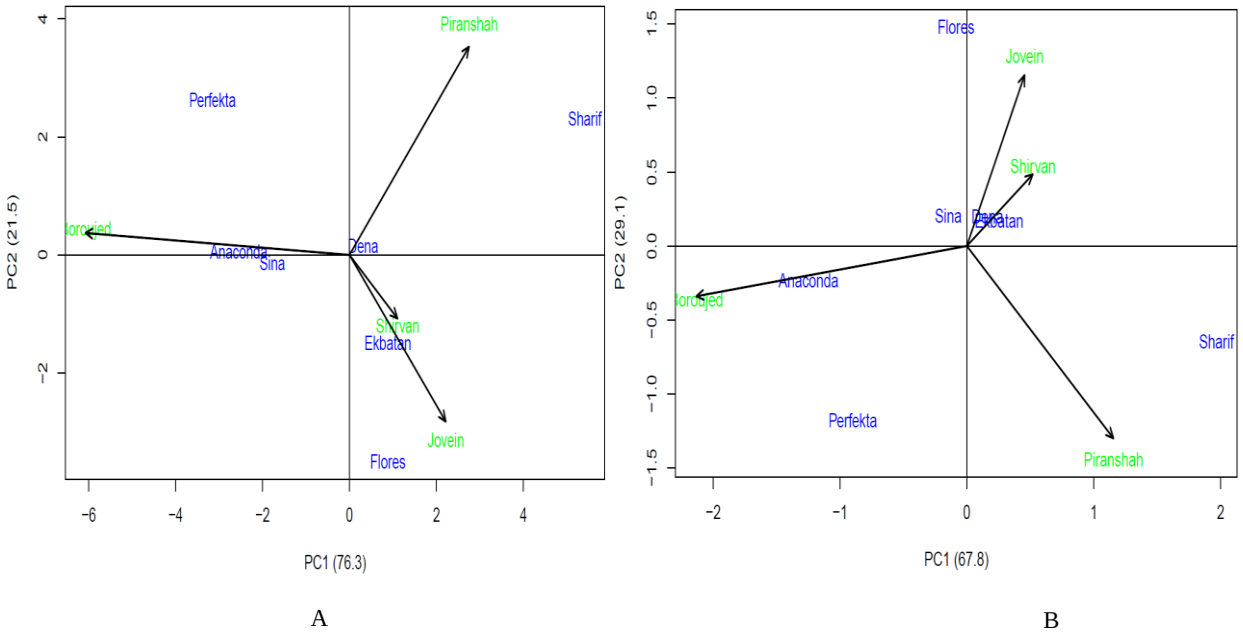
شکل ۲ بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ- محیط صفات عملکرد ریشه (A) و عملکرد شکر سفید (B) را برای ارقام و محیط‌های آزمایشی نشان می‌دهد. بای‌پلات عملکرد ریشه مجموعاً ۹۷/۸۰ درصد و بای‌پلات عملکرد شکر سفید مجموعاً ۹۶/۹۰ درصد تغییرات برهمکنش ژنوتیپ- محیط مربوط به هر صفت نامبرده را توجیه می‌کند.

بر اساس بای‌پلات مربوط به عملکرد ریشه (شکل A۲) ارقام پرفکتا، شریف و فلورس به علت اینکه فاصله زیادی از

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

مبدأ مختصات داشتند درنتیجه دارای ناپایداری بالایی بودند. رقم دنا در مبدأ مختصات بای‌پلات قرار داشت و از کمترین برهمکنش ژنوتیپ- محیط برخوردار بود، لذا به‌عنوان رقم با سازگاری عمومی خوب شناخته شد. در بررسی سازگاری خصوصی و تعیین مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها برای مکان‌های مورد آزمایش، ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک مکان قرار داشته باشند، سازگاری خصوصی با آن محیط دارند. ارقام پرفکتا، آناکندا و سینا در محیط بروجرد، ارقام فلورس و اکباتان در محیط‌های جوین و شیروان و رقم شریف در محیط پیرانشهر از پایداری خصوصی خوبی برخوردار بودند.

بر اساس بای‌پلات مربوط به عملکرد شکر سفید (شکل B۲) ارقام دنا، اکباتان و سینا تا حدودی در نزدیکی مبدأ مختصات قرار دارند، بنابراین از سازگاری عمومی برخوردار هستند. در محیط بروجرد دو رقم پرفکتا و آناکندا، در دو محیط جوین و شیروان رقم فلورس و در محیط پیرانشهر به ترتیب دو رقم شریف و پرفکتا بیشترین پایداری خصوصی را نشان دادند. از این‌رو مدل امی با قابلیت تفسیر گرافیکی، یک روش کارآمد محسوب می‌شود. از آنجایی که در بای‌پلات میانگین عملکرد در برابر WAAS رقم دنا از نظر عملکرد ریشه و دو رقم دنا و سینا از نظر عملکرد شکر سفید تحت عنوان ارقام پایدار با عملکرد مطلوب شناخته شدند و در بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط در مقابل دومین مؤلفه اصلی رقم دنا از نظر عملکرد ریشه و ارقام دنا، اکباتان و سینا از نظر عملکرد شکر سفید به‌عنوان ارقام با سازگاری عمومی خوب شناخته شدند، بنابراین می‌توان رقم دنا را با ۵۱/۲۱ تن در هکتار عملکرد ریشه و ارقام دنا و سینا را به ترتیب با ۶/۲۶ و ۶/۱۸ تن در هکتار عملکرد شکر سفید به‌عنوان بهترین ارقام از نظر عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید معرفی کرد. نتایج به‌دست‌آمده مطالعه حاضر تا حدودی مشابه نتایج و یافته‌های شریفی و همکاران (۳۹)، کریمی‌زاده و همکاران (۲۱) و چلوئی و همکاران (۷) بود. آن‌ها اذعان داشتند که دقیق‌ترین مدل در تجزیه پایداری به روش امی، با استفاده از دو مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ- محیط قابل پیش‌بینی است. با وجود روش‌های مختلف پایداری، مدل امی اطلاعات مفیدی را برای دستیابی به نتایج دقیق ارائه می‌کند (۲۸،۳۹).



A B

شکل ۲- بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ- محیط در مقابل دومین مؤلفه اصلی آن برای عملکرد ریشه (A) و عملکرد شکر سفید (B)

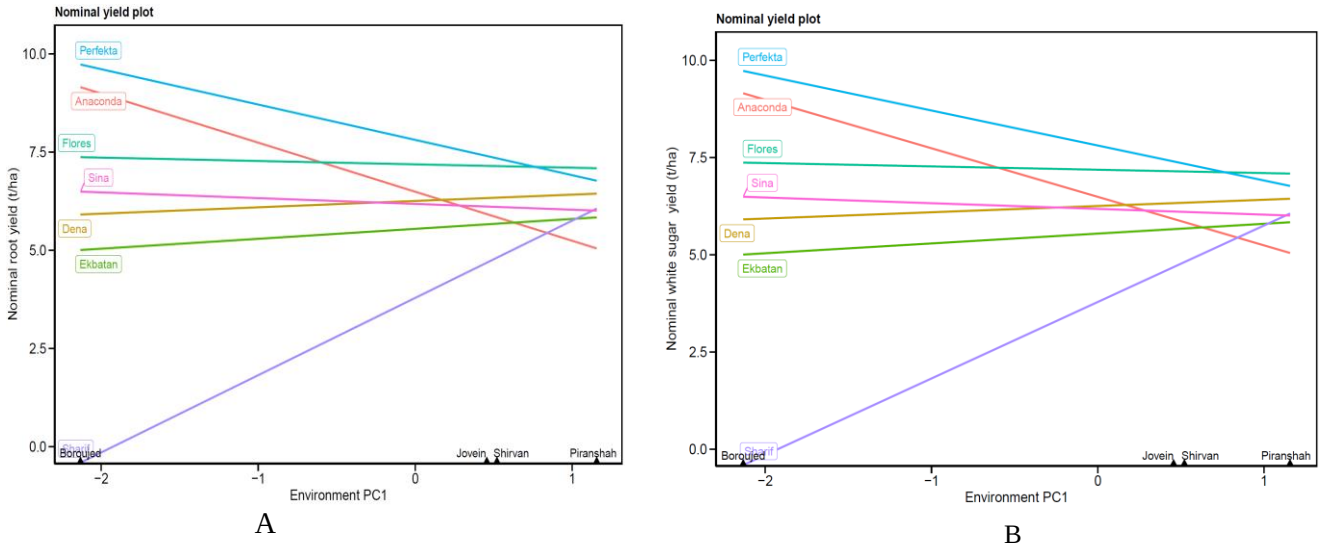
Figure 2. Biplot of the first principal component of genotype-environment interaction against its second principal component for root yield (A) and white sugar yield (B)

الگوی کدام برای کجا برای ارقام مورد مطالعه بر اساس عملکرد اسمی در هر محیط و نیز توصیف محیط‌های بزرگ به ترتیب برای عملکرد ریشه و عملکرد شکر در شکل A۳ و B۳ آورده شده است. خطوط داخلی نمودار نشان می‌دهند که چگونه میانگین عملکرد اسمی ارقام در محیط‌های مختلف تغییر می‌کند (۲۹). ارقام پرفکتا، آناکندا و سینا در محیط بروجرد عملکرد ریشه خوبی داشتند درحالی که ارقام فلورس، اکباتان و دنا در محیط‌های پیرانشهر، جوین و شیروان از عملکرد ریشه مناسبی برخوردار بودند. رقم شریف در محیط‌های بروجرد و شیروان و ارقام سینا و آناکندا در محیط‌های جوین و پیرانشهر به‌عنوان ضعیف‌ترین ارقام از نظر عملکرد ریشه بودند. نتایج به‌دست‌آمده برای عملکرد شکر سفید با نتایج به‌دست‌آمده برای عملکرد ریشه کمی متفاوت بود. از نظر صفت مذکور در محیط بروجرد دو رقم پرفکتا و آناکندا بیشترین عملکرد را داشتند. در دو محیط جوین و شیروان به ترتیب دو رقم پرفکتا و فلورس و در محیط پیرانشهر به ترتیب دو رقم فلورس و پرفکتا بیشترین

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

مقادیر عملکرد شکر سفید پیش‌بینی‌شده را نشان دادند. کمترین میزان عملکرد شکر سفید در سه محیط بروجرد، جوین و شیروان به رقم شریف و در محیط پیرانشهر به رقم آناکندا تعلق داشت. کوندینیا و همکاران (۲۴) روش‌های مختلف تجزیه پایداری را به‌منظور شناسایی ارقام پایدار و سازگار به کار گرفتند. طی مطالعه آن‌ها با استفاده از الگوی کدام برای کجا به شناسایی ارقام پایدار بر اساس عملکرد اسمی در هر محیط پرداخته شد.

از این نمودارها (شکل ۳) می‌توان برای شناسایی ابر محیط‌ها نیز استفاده کرد. به این صورت که از پاسخ ژنوتیپ‌ها و فاصله بین محیط‌ها بر روی محور اولین مؤلفه اصلی محیطی (Environment PC1) برای شناسایی محیط‌های بزرگ استفاده می‌شود. هر یک از محیط‌های آزمایشی بر روی محور نامبرده مشخص شدند. بر این اساس ارقام آزمایشی پاسخ تقریباً مشابهی از نظر عملکرد ریشه در دو محیط شیروان و جوین داشتند؛ اگرچه بر روی محور مؤلفه محیطی جوین و پیرانشهر از نظر فاصله‌ای به یکدیگر نزدیک بودند، اما پاسخ ژنوتیپی متفاوتی در آن‌ها مشاهده می‌شود، لذا دو محیط جوین و شیروان که پاسخ مشابهی داشتند در یک محیط بزرگ قرار گرفتند و محیط‌های پیرانشهر و بروجرد هر یک به‌تنهایی در یک محیط بزرگ دیگر حضور یافتند. محیط‌های آزمایشی بر اساس پاسخ ارقام از نظر عملکرد شکر سفید به سه محیط بزرگ تقسیم شدند. در اولین محیط بزرگ بروجرد، در دومین محیط بزرگ جوین و شیروان و در سومین محیط بزرگ پیرانشهر جای گرفت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شناسایی محیط‌های بزرگ می‌توان بیان کرد، به دلیل این‌که دو محیط تحت بررسی جوین و شیروان از نظر عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید اثرات مشابهی را بر روی ارقام آزمایشی داشتند، در تحقیقات آتی درزمینه پایداری و سازگاری چغندرقند از نظر هر دو صفت یادشده، بهتر است یکی از محیط‌های تحت بررسی استفاده شود و بجای محیط دیگر، دامنه مطالعات را به مناطق با شرایط محیطی متفاوت دیگری گسترش داد تا اطلاعات بیشتری در اختیار قرار گیرد. در مطالعه‌ای (۲۴) که انجام شد، الگوی کدام برای کجا محیط‌های مورد بررسی را بر اساس صفات مختلف در ابر محیط‌های متفاوت دسته‌بندی نمود.



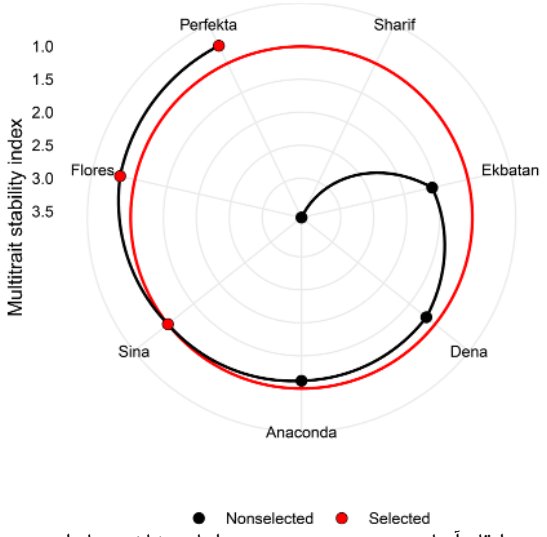
شکل ۳- نمودار الگوی کدام برای کجا برای عملکرد ریشه (A) و عملکرد شکر سفید (B) پیش‌بینی‌شده ارقام آزمایشی در هر یک از محیط‌های مورد بررسی

Figure 3. Which-won-where plots based on predicted root yield (A) and white sugar yield (B) in each studied environment

شاخص MTSI بر اساس تمامی صفات عملکرد و کیفیت یعنی عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر محاسبه شد. برای محاسبه عامل‌های نهایی از معیار چرخش وریمکس[1] استفاده شد. عامل اول با مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک، ۸۳/۶۰ درصد از تغییرات را تبیین کرد و به‌عنوان تنها عامل، هر چهار صفت مورد مطالعه را در بر گرفت. پس از چرخش وریمکس مقادیر اشتراکی در بازه ۰/۷۵۰ برای درصد قند ناخالص تا ۰/۸۹۴ برای ضریب استحصال شکر با میانگین ارزش ۰/۸۳۶ قرار گرفت. شاخص پایدار MTSI ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر پایه نمرات عاملی عامل مذکور برآورد شد. طبق این شاخص هر چه ژنوتیپی مقدار کمتری از این شاخص را دارا باشد، فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل داشته و قرابت بیشتری با ژنوتیپ ایده‌آل پایدار دارد. از سوی دیگر هرچه مقدار شاخص پایداری MTSI برای ژنوتیپی بیشتر باشد، به این معنی است که فاصله آن از ژنوتیپ ایده‌آل پایدار بیشتر است و نباید انتخاب شود (۳۱). در شکل ۴ ارقام آزمایشی از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار شاخص پایداری MTSI رتبه‌بندی شده‌اند؛ به‌طوری که رقم دارای بیشترین مقدار

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

شاخص مذکور در مرکز و رقم دارای کمترین مقدار شاخص مذکور در خارجی‌ترین مدار قرار گرفته است. بر این اساس با اعمال فشار گزینشی ۳۵ درصد، رقم پرفکتا در رتبه نخست و ارقام فلورس و سینا در رتبه‌های بعدی ایده‌آل‌ترین ارقام پایدار از نظر تمامی صفات مورد مطالعه قرار گرفتند. مقایسه ارزش صفات در ژنوتیپ‌های منتخب بر اساس شاخص پایداری MTSI با ارزش صفات در همه ژنوتیپ‌های آزمایشی نشان داد که میانگین ارزش صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر در ارقام منتخب افزایش یافته است (جدول ۴). این افزایش ارزش صفات در جهت اهداف مدنظر قرار داشت. به این صورت که با انتخاب سه رقم پرفکتا، فلورس و سینا، در هر یک از صفات مورد مطالعه عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر به ترتیب دیفرانسیل گزینش ۵/۶۳، ۱۴/۲۳، ۶/۷۱ و ۴/۲۵ درصد مشاهده شد (جدول ۴). به‌طورکلی ارقام انتخابی سبب ایجاد دیفرانسیل گزینش مناسبی در تمامی صفات شدند (جدول ۴). زوفو و همکاران (۴۸) ژنوتیپ‌های پایدار سویا را در شرایط تنش خشکی و شوری از طریق MTSI شناسایی کردند. شریفی و همکاران (۳۸) در ارزیابی عملکرد و سایر صفات زراعی در مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های برنج از شاخص پایداری MTSI استفاده کردند و نشان دادند این شاخص به‌خوبی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد، پایداری عملکرد و سایر صفات زراعی بود. این نتایج با یافته‌های حاصل از این مطالعه در رابطه با کارایی شاخص پایداری MTSI در شناسایی ارقام برتر تا حدودی منطبق بود.



شکل ۴- رتبه‌بندی ارقام آزمایشی به‌صورت صعودی بر اساس شاخص پایداری چندمتغیره (MTSI)
Figure 4. Ranking of experimental cultivars in ascending order based on multi-trait stability index (MTSI)

جدول ۴- پیش‌بینی دیفرانسیل گزینش برای صفات مؤثر بر اساس شاخص پایداری MSTI
Table 4. Prediction of selection differential for effective traits based on MSTI index

صفات Traits	واحد Unit	هدف Target	میانگین کل Total mean	میانگین انتخابی Selective mean	دیفرانسیل گزینش Selection differential	درصد دیفرانسیل گزینش Selection differential percentage
عملکرد ریشه Root yield	تن در هکتار Tons per hectare	افزایش Increases	48.68	51.42	2.74	5.63
عملکرد شکر سفید White sugar yield	تن در هکتار Tons per hectare	افزایش Increases	6.18	7.06	0.87	14.23
درصد قند ناخالص sugar content	درصد Percentage	افزایش Increases	15.87	16.94	1.06	6.71
راندمان استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	درصد Percentage	افزایش Increases	77.36	80.65	3.29	4.25

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که محیط، نقش بسزایی در تأثیرگذاری بر بیان فنوتیپی صفات کمی و کیفی چغندرقند داشته است. بر اساس نتایج رقم دنا علاوه بر پایداری، عملکرد ریشه بالایی را نشان داد. از نظر عملکرد شکر سفید، به ترتیب دو رقم دنا و سینا تحت عنوان ارقام پایدار با عملکرد مطلوب شناخته شدند. طبق نتایج رقم پرفکتا ایده‌آل‌ترین رقم به‌صورت هم‌زمان از نظر هر چهار صفت عملکرد ریشه، عملکرد شکر سفید، درصد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر بود و پس از آن ارقام فلورس و سینا تحت عنوان ایده‌آل‌ترین ارقام قرار داشتند. مناطق اجرای آزمایش بر اساس شرایط محیطی حاکم بر آن‌ها و تأثیری که بر رشد و نمو

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]
[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

چغندرقند دارند، جز مناطق مهم و عمده کشت چغندرقند به‌شمار می‌روند. از نظر هر دو صفت عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید مناطق آزمایشی به سه محیط بزرگ تقسیم شدند. در این تقسیم‌بندی مناطق جوین و شیروان هم‌گروه شدند و دو محیط دیگر یعنی بروجرد و پیرانشهر هرکدام در یک محیط بزرگ قرار گرفتند.

منابع

1. Ahakpaz, F., H. Abdi, E. Neyestani, A. Hesami, B. Mohammadi, K.N. Mahmoudi, G. Abedi-Asl, M. R. J. Noshabadi, F. Ahakpaz and H. Alipour. 2021. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. Agricultural Water Management, 245: 106665.
2. Anandan, A. and R. Eswaran. 2009. Genotype by environment interactions of rice (*Oryza sativa* L.) hybrids in the east coast saline region of Tamil Nadu.
3. Annicchiarico, P. 2002. Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. Food & Agriculture Org.
4. Annicchiarico, P., L. Russi, E. Piano and F. Veronesi. 2006. Cultivar adaptation across Italian locations in four turfgrass species. Crop Science, 46(1): 264-272.
5. Baker, R. 1988. Tests for crossover genotype-environmental interactions. Canadian Journal of plant science, 68(2): 405-410.
6. Ceccarelli, S. 1996. Positive interpretation of genotype by environment interactions in relation to sustainability and biodiversity. Plant adaptation and crop improvement. 467-486.
7. Cheloei, G., G.A. Ranjbar, N. Babaeian Jelodar, N. Bagheri and M.Z. Noori. 2020. Using AMMI model and its parameters for yield stability analysis of rice (*Oryza sativa* L.) advanced mutant genotypes of Tarrom-Mahalli. Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding, 9(1): 70-83.
8. Cook, D. and R. Scott. 1993. The sugar beet crop: science into practice. New York, USA, Champan and Hall Press, 154 pp.
9. De Vita, P., A. Mastrangelo, L. Matteu, E. Mazzucotelli, N. Virzi, M. Palumbo, M.L. Storto, F. Rizza and L. Cattivelli. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. Field crops research, 119(1): 68-77.
10. Duvick, D.N., J. Smith and M. Cooper. 2004. Changes in performance, parentage, and genetic diversity of successful corn hybrids, 1930-2000. edn. C. W. Smith, J. Betrˇıan and E. C. A. Runge, editors, JHoboken, NJ, ohn Wiley & Sons, 65-97 pp.
11. Ebdon, J. and H. Gauch. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype× environment interaction. Crop Science, 42(2): 489-496.
12. FAO. 2018. Food and agriculture organization. World Food and Agriculture- Statistical Pocketbook,. https://doi.org/10.4060/cb1521en
13. Farshadfar, E., R. Mohammadi, M. Aghaee and Z. Vaisi. 2012. GGE biplot analysis of genotype x environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. Australian Journal of Crop Science, 6(6): 1074-1079.
14. Fathi, M., G. Ranjbar, M. Zangi, S. Tabar and H.N. Zarini. 2018. Analysis of stability and adaptation of cotton genotypes using GGE Biplot method. Trakia Journal of Sciences, 16(1): 51.
15. Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. Biometrika, 58(3): 453-467.
16. Gauch, H. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science Publishers.
17. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. Crop Science, 37(2): 311-326.
18. Jaggard, K., H. Koch, J.A. Sanz, A. Cattanach, R. Duval, H. Eigner, G. Legrand, R. Olsson, A. Qi and J. Thomsen. 2012. The yield gap in some sugar beet producing countries. International sugar journal, 114(1363): 496-499.
19. Kang, M. 2004. Breeding: genotype by environment interaction. In 'Encyclopedia of plant and crop science'.(Ed. RM Goodman). Marcel Dekker: New York, 218-221 pp.
20. Kang, M.S. 1997. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. Advances in agronomy, 62(1): 199-252.
21. Karimizadeh, R., A. Asghari, R. Chinipardaz, O. Sofalian and A. Ghaffari. 2016. Determining yield stability and model selection by AMMI method in rain-fed durum wheat genotypes. Turkish Journal of Field Crops, 21(2): 174-183.
22. Karimizadeh, R., H. Dehghani and Z. Dehghanpour. 2008. Use of AMMI method for estimating genotype-environment interaction in early maturing corn hybrids. Seed and Plant Journal, 23(4): 531-546.
23. Kempton, R. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. The Journal of Agricultural Science, 103(1): 123-135.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]

24. Koundinya, A., B. Ajeesh, V. Hegde, M. Sheela, C. Mohan and K. Asha. 2021. Genetic parameters, stability and selection of cassava genotypes between rainy and water stress conditions using AMMI, WAAS, BLUP and MTSI. Scientia Horticulturae, 281: 109949.
25. Kunz, M., D. Martin and H. Puke. 2002. Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. Zuckerindustrie, 127(1): 13-21.
26. McMichael, B. and J. Quisenberry. 1993. The impact of the soil environment on the growth of root systems. Environmental and experimental botany, 33(1): 53-61.
27. Monteiro, F., L. Frese, S. Castro, M. C. Duarte, O.S. Paulo, J. Loureiro and M.M. Romeiras. 2018. Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. Frontiers in plant science, 9: 74-85.
28. Mostafavi, K. and A. Saremirad. 2021. Genotype - Environment Interaction Study in Corn Genotypes Using additive main effects and multiplicative interaction method and GGE- biplot Method. Journal of Crop Production, 14(3): 1-12.
29. Olivoto, T., A.D. Lúcio, J.A. da Silva, V.S. Marchioro, V.Q. de Souza and E. Jost. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. Agronomy Journal, 111(6): 2949-2960.
30. Olivoto, T., A.D.C. Lúcio, J.A.G. da Silva, B.G. Sari and M.I. Diel. 2019. Mean Performance and Stability in Multi-Environment Trials II: Selection Based on Multiple Traits. Agronomy Journal, 111(6): 2961-2969.
31. Olivoto, T., M. Nardino, D. Meira, C. Meier, D.N. Follmann, V.Q. de Souza, V.A. Konflanz and D. Baretta. 2021. Multi-trait selection for mean performance and stability in maize. Agronomy Journal, 113(5): 3968-3974.
32. Pardo, A., M. Amato and F.Q. Chiarandà. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. European Journal of Agronomy, 13(1): 39-45.
33. Raiger, H. and V. Prabhakaran. 2001. A study on the performance of a few non-parametric stability measures using pearl-millet data. Indian J. Genet, 61(1): 7-11.
34. Ranji, Z., M. Mesbah, R. Amiri and S. Vahedi. 2005. Study on the efficiency of AMMI method and pattern analysis for determination of stability in sugar beet varieties. Iranian Journal of Crop Science, 7(1): 1-20.
35. Ribeiro, I.C., C. Pinheiro, C.M. Ribeiro, M.M. Veloso, M.C. Simoes-Costa, I. Evaristo, O. S. Paulo and C. P. Ricardo. 2016. Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. Frontiers in Plant Science, 7(1): 1293.
36. Sabaghnia, N., H. Dehghani, B. Alizadeh and M. Mohghaddam. 2010. Genetic analysis of oil yield, seed yield, and yield components in rapeseed using additive main effects and multiplicative interaction biplots. Agronomy Journal, 102(5): 1361-1368.
37. Saremirad, A. and D. Taleghani. 2022. Utilization of Univariate Parametric and non-Parametric Methods in the Stability Analysis of Sugar Yield in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Hybrids. Journal of Crop Breeding, 14(43): 49-63 (In Persian).
38. Sharifi, P., A. Abbasian and A. Mohaddesi. 2021. Evaluation the Mean Performance and Stability of Rice Genotypes by Combining Features of AMMI and BLUP Techniques and Selection Based on Multiple Traits. Plant Genetic Researches, 7(2): 163-180.
39. Sharifi, P., H. Aminpanah, R. Erfani, A. Mohaddesi and A. Abbasian. 2017. Evaluation of genotype× environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. Rice Science, 24(3): 173-180.
40. Signor, C. E. L., S. Dousse, J. Lorgeou, J. B. Denis, R. Bonhomme, P. Carolo and A. Charcosset. 2001. Interpretation of genotype× environment interactions for early maize hybrids over 12 years. Crop Science, 41(3): 663-669.
41. Simmonds, N. 1991. Selection for local adaptation in a plant breeding programme. Theoretical and Applied Genetics, 82(3): 363-367.
42. Tardieu, F. 2013. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water deficit. Frontiers in Physiology, 4(17): 1-11.
43. Tollenaar, M. and E. Lee. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. Field crops research, 75(2-3): 161-169.
44. Trimpler, K., N. Stockfisch and B. Märländer. 2017. Efficiency in sugar beet cultivation related to field history. European Journal of Agronomy, 91: 1-9.
45. Yan, W. and M.S. Kang. 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press.
46. Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science, 47(2): 643-653.
47. Zobel, R.W., M.J. Wright and H.G. Gauch Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal, 80(3): 388-393.
48. Zuffo, A.M., F. Steiner, J.G. Aguilera, P.E. Teodoro, L.P.R. Teodoro and A. Busch. 2020. Multi-trait stability index: A tool for simultaneous selection of soya bean genotypes in drought and saline stress. Journal of Agronomy and Crop Science, 206(6): 815-822.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-01-29]

[DOI: 10.61186/jcb.15.46.38]