



Preparation and Evaluation of Test Cross Hybrids Resistant to Rhizomania and Cyst Nematode Based on New Single Crosses in Sugar Beet

Mohsen Bazrafshan¹ | Hamze Hamze^{2✉} | Ali Jalilian³ | Jamshid Soltani Idliki⁴ | Heydar Azizi⁵ | Mohamad Reza Fathi⁶

1. Agricultural and Natural Resources Research Center of Fars, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.
2. Corresponding author, Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran. Email: h.hamze@areeo.ac.ir
3. Agricultural and Natural Resources Research Center of Kermanshah, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
4. Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.
5. Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azarbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran.
6. Sugar Beet Seed Institute, Karaj, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: April 24, 2023
Received in revised form:
May 30, 2023
Accepted: June 05, 2023
Published online: September
23, 2023

Keywords:

Cultivar,
environment,
root yield,
stability,
sugar content.

ABSTRACT

To prepare and evaluate test cross hybrids resistant to rhizomania and cyst nematode based on new single crosses, 48 test cross hybrids produced were evaluated in 2021 in the augmentation design along with Iranian and commercial hybrid varieties in six regions (Karaj, Mashhad, Shiraz, Kermanshah, Miandoab, and Hamadan). Genotypes mean comparison showed that BTS2015N had the highest root yield in Karaj, Mashhad, Shiraz, Kermanshah, and Hamadan and an average of six locations with an average of 133.97, 114.45, 77.14, 102.80, 97.08, and 104.91 t/ha, respectively. The Wawilow cultivar also had the highest sugar content in Karaj, Mashhad, Shiraz, and Kermanshah and an average of six locations with an average of 17.61, 18.31, 24.06, 19.57, and 18.62 percent, respectively. In addition, in a total of six locations, there was no significant difference among hybrids 39, 40, 31, and 35 in terms of root yield and hybrids 24 and 47 in terms of sugar content with the external control cultivar BTS2015N. In this study, new hybrids 40, 38, 23, Nika, and Bifort cultivars have the lowest ASV values with 0.062, 0.117, 0.154, 0.245, and 0.256, respectively, were considered stable genotypes in terms of root yield. Also, based on the results of the GGE biplot method, the new hybrids 13, 24, 32, 23 had the highest general stability. In this study, the BTS2015N cultivar for the environments of Karaj, Kermanshah, Shiraz, and Hamadan and the Annamira KWS cultivar for the Miandoab environment showed high specific adaptability.

Cite this article: Bazrafshan, M., Hamze, H., Jalilian, A., Soltani Idliki, J., Azizi, H., & Fathi, M.R. (2023). Preparation and evaluation of test cross hybrids resistant to rhizomania and cyst nematode based on new single crosses in sugar beet. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 207-222. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.358007.654998.





تهیه و ارزیابی هیبریدهای تست کراس مقاوم به ریزومانیا و نماتد مولد سیست بر پایه سینگل-کراس‌های جدید در چغندر قند

محسن بذرافشان^۱ حمزه حمزه^۲ علی جلیلیان^۳ جمشید سلطانی ایدلیکی^۴ حیدر عزیزی^۵ محمد رضا فتاحی^۶

۱. بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، فارس، ایران.
۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: h.hamze@areeo.ac.ir
۳. بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۴. بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۵. بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
۶. بخش تحقیقات به‌زراعی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱</p>	<p>با هدف تهیه و ارزیابی دورگ‌های تست کراس مقاوم به ریزومانیا و نماتد مولد سیست بر پایه سینگل کراس‌های جدید بذر تولیدی ۴۸ هیبرید تست کراس در سال ۱۴۰۰ در قالب طرح آگمنت به‌همراه ارقام شاهد مقاوم داخلی و خارجی در شش منطقه کرج، مشهد، شیراز، کرمانشاه، میاندوآب، و همدان ارزیابی شدند. نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد رقم BTS2015N به‌ترتیب با میانگین ۱۳۳/۹۷، ۱۱۴/۴۵، ۷۷/۱۴، ۱۰۲/۸۰، ۹۷/۰۸ و ۱۰۴/۹۱ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را در محیط‌های کرج، مشهد، شیراز، کرمانشاه، همدان، و مجموع شش مکان به‌خود اختصاص داد. رقم Wawilow نیز به‌ترتیب با میانگین ۱۷/۶۱، ۱۸/۳۱، ۲۴/۰۶، ۱۹/۵۷ و ۱۸/۶۲ درصد بالاترین عیار قند را در محیط‌های کرج، مشهد، شیراز و کرمانشاه و مجموع شش مکان به‌خود اختصاص داد. در مجموع شش مکان بین هیبریدهای ۳۹، ۴۰، ۳۱ و ۳۵ از نظر عملکرد ریشه و هیبریدهای ۲۴ و ۴۷ از لحاظ عیار قند با رقم شاهد خارجی BTS2015N اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در این مطالعه هیبریدهای جدید ۴۰، ۳۸، ۲۳، ارقام Nika و Bifort به‌ترتیب با ۰/۰۶۲، ۰/۱۱۷، ۰/۱۵۴، ۰/۲۴۵ و ۰/۲۵۶ کمترین مقادیر شاخص پایداری امی (ASV) را به‌خود اختصاص داده و ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد ریشه محسوب شدند. همچنین بر اساس نتایج روش GGE بای‌پلات هیبریدهای جدید شماره ۱۳، ۲۴، ۳۲، ۲۳ بالاترین پایداری عمومی را به‌خود اختصاص دادند. همچنین رقم BTS2015N برای محیط‌های کرج، کرمانشاه، شیراز و همدان و رقم Annamira KWS برای محیط میاندوآب سازگاری خصوصی بالایی نشان دادند.</p>
<p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>پایداری، رقم، عملکرد ریشه، عیار قند، محیط.</p>	

استناد: بذرافشان، م.، حمزه، ح.، جلیلیان، ع.، سلطانی ایدلیکی، ج.، عزیزی، ح.، و فتاحی، م.ر. (۱۴۰۲). تهیه و ارزیابی هیبریدهای تست کراس مقاوم به ریزومانیا و نماتد مولد سیست بر پایه سینگل کراس‌های جدید در چغندر قند. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۳)، ۲۰۷-۲۲۲. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.358007.654998



۱. مقدمه

چغندر قند یکی از سودآورترین گیاهان قندی است (Lubova *et al.*, 2018)، این محصول بومی مناطق معتدل است و حدود ۳۵ درصد از تقاضای شکر جهان را تامین می‌کند. چغندر قند را می‌توان در شرایط مختلف آب و هوایی کاشت کرد. کشت این محصول به‌طور گسترده در مناطق خشک صورت می‌گیرد (Tomaszewska *et al.*, 2018; Bayomi *et al.*, 2019).

تولید و ارزش اقتصادی محصول چغندر قند تا حد زیادی به مقاومت مناسب این محصول در برابر بیماری مخرب ویروسی ریزومانیا بستگی دارد که برای دهه‌ها تأثیر قابل توجهی روی صنعت چغندر قند داشته است (Safar *et al.*, 2020). ریزومانیا به‌صورت معنی‌داری عملکرد ریشه و درصد قند را کاهش می‌دهد. عامل این بیماری ویروس رگبرگ زرد نکروتیک چغندر (*Beet necrotic yellow vein virus*) می‌باشد. این ویروس در طبیعت توسط شبه قارچ *Polymyxa betae* Keskin انتقال می‌یابد (Rush *et al.*, 2006). در حال حاضر موثرترین روش کنترل این بیماری استفاده از ارقام مقاوم می‌باشد. مقاومت ترکیبی به ویروس و ناقل از طریق به‌نژادی کلاسیک اقتصادی‌ترین روش جهت مبارزه با این بیماری در صنعت چغندر قند معرفی شده است (McGrann *et al.*, 2009). ارقام مقاوم به ریزومانیا به دلیل اینکه دارای زمینه ژنوتیپی متفاوتی هستند از نظر تأثیرپذیری از بیماری و مقدار عملکرد با یکدیگر متفاوت هستند (Pavli *et al.*, 2011). علاوه بر آن میزان خسارت بیماری به پاتوتیپ ویروس، میزان زادما به بیماری، برهمکنش ویروس عامل بیماری با سایر بیماری‌گرها، زمان آلودگی و شرایط اقلیمی بستگی دارد (McGrann *et al.*, 2009). در ایران تحقیقات جامعی در زمینه‌های مختلف بیماری از جمله تعیین پراکنش آن در کشور، شناسایی تیپ‌های ویروس عامل بیماری و تهیه ارقام متحمل به ریزومانیا انجام شده است (Darabi *et al.*, 2017).

نماتدهای سیستی از جمله مهم‌ترین نماتدهای انگل گیاهی هستند که اهمیت اقتصادی زیادی در بسیاری از کشورهای جهان دارند. نماتد سیستی چغندر قند از سال ۱۸۵۹ با گزارش آلودگی چغندر قند در آلمان به‌عنوان یک بیماری‌گر گیاهی شناخته و در سال‌های بعد، این نماتد در نواحی کشت چغندر قند کشورهای اروپایی متعددی گزارش شد (Turner & Subbotin, 2013)، در حال حاضر *Heterodera schachtii* از مهم‌ترین عوامل خسارت‌زای این محصول به‌شمار می‌رود و در اغلب مناطق چغندرکاری دنیا از جمله اروپا، آمریکای شمالی و آسیا وجود دارد (Draycott, 2006). از آنجایی که مدیریت شیمیایی مبارزه با نماتد با استفاده از نماتدکش‌ها در تولید چغندر قند ترجیح داده نمی‌شود، تمرکز روی راه‌کارهای مدیریت جایگزین معطوف است (Reuther *et al.*, 2017; Ashmit *et al.*, 2021). مقاومت میزبان نسبت به نماتد عمدتاً به عناصر ژنتیکی و غیر ژنتیکی بستگی دارد (Ullah *et al.*, 2020; Badshah *et al.*, 2021; Al-Nemi *et al.*, 2022). عنصر غیر ژنتیکی شامل فعالیت‌های زراعی، فرآیندهای فیزیکی و فرآیندهای شیمیایی است (Wang *et al.*, 2013). عنصر ژنتیکی شامل شناسایی منابع مقاومت و استفاده از آن منابع در برنامه‌های اصلاحی برای ایجاد ژنوتیپ‌های مقاوم به نماتد است (Kim & Yang, 2019; Abdelsalam *et al.*, 2022b; Elkobrosy *et al.*, 2022). چغندر قند به نماتدها می‌تواند باعث کاهش مصرف نماتدکش و کاهش آلودگی محیط زیست و هزینه‌های تولید شود (Kim & Yang, 2019; El-Saadony *et al.*, 2021). استفاده از ارقام مقاوم در برابر نماتدها می‌تواند به مدیریت موثر و سازگار با محیط زیست محصولات کمک کند. به‌طور کلی، محصول تولید شده در ژنوتیپ‌های مقاوم بیشتر از ژنوتیپ‌های حساس است (Youssef *et al.*, 2020; Ghareeb *et al.*, 2022). بنابراین استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم همراه با سایر رویکردهای مدیریتی مانند بهبود ارگانیک خاک (Abdelsalam *et al.*, 2022b; Choudhary *et al.*, 2022)، کنترل بیولوژیک (Mukhtar *et al.*, 2013) و تناوب با گیاهان غیر میزبان (Xie *et al.*, 2016) می‌تواند راهکاری برای کاهش خسارت نماتد به محصول چغندر قند باشد.

در برنامه‌های معرفی ژنوتیپ‌های اصلاح شده، استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌تنهایی معیار مطلوبی جهت گزینش نیست، بلکه میزان سازگاری و پایداری نیز نقش مهمی را ایفا می‌کند. بدین منظور آزمایش‌های مقایسه عملکرد در مناطق و سال‌های مختلف صورت می‌پذیرد (Farshadfar & Sutka, 2006). روش‌های بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط به‌طور کلی به دو گروه اصلی شامل روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند. در میان روش‌های چندمتغیره، مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) روش کارآمدی برای حذف خطا (Noise) و آشکار کردن الگوی مناسب داده‌ها است (Yan *et al.*, 2002).

روش GGE بای پلات نیز از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به به‌نژادگر کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها 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 به‌سادگی میسر می‌سازد (Yan et al., 2002). در مطالعه Mostafavi et al. (2017) روی ژنوتیپ‌های چغندر قند 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 کردند، همچنین نمودار بای پلات 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 به‌عنوان رقم پایدار شناخته شد. Hassani et al. (2018) در ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندر قند به‌روش امی (AMMI) دو مؤلفه اصلی اول با اثر متقابل ژنوتیپ در محیط معنی‌دار برای عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص شناسایی کردند که بر اساس نتایج تجزیه GGE بای پلات دو مؤلفه اول به‌ترتیب ۶۰/۵۲ و ۶۲/۹ درصد از تغییرات ژنوتیپ در محیط را برای عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص را تبیین کردند. در مطالعه آنها ژنوتیپ‌های G21، G28 و G29 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار نسبت به شرایط محیطی شناسایی شدند. بر اساس نتایج نمودار دوبعدی مربوط به دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط Hasani et al. (2021) نشان دادند، ژنوتیپ ۲۴ از لحاظ عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص برای محیط‌های همدان، شیراز و مشهد دارای سازگاری خصوصی بالایی بود، درحالی‌که ژنوتیپ ۴۶ از لحاظ عملکرد ریشه و ژنوتیپ ۳۶ از لحاظ عملکرد قند خالص برای محیط کرمانشاه سازگاری خصوصی مناسبی نشان دادند. در تحقیقی دیگر Rajabi et al. (2022) در ارزیابی و تعیین پایداری چغندر قند تحت شرایط بیماری ریزومانیا در طول دو سال و چهار منطقه چهار عامل اصلی را شناسایی کردند که در مجموع ۹۸/۸۰ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ با محیط را تبیین کردند.

با توجه به گستردگی بیماری ریزومانیا و همچنین نماند در مناطق چغندرکاری کشور، شناسایی منابع ژنتیکی مقاومت به این دو عامل جهت پایداری تولید ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، این تحقیق با هدف تهیه و ارزیابی هیبریدهای تست کراس مقاوم به ریزومانیا و نماتد مولد سیست بر پایه سینگل کراس‌های جدید در چغندر قند انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. تهیه هیبریدها

در شهریور سال ۱۳۹۹ تعداد ۲۴ سینگل کراس نر عقیم منورژم مقاوم به ریزومانیا با دو لاین گرده‌افشان مقاوم به ریزومانیا و نماتد با کدهای SB53 و SB54 در کرج در قطعات ایزوله کشت شدند، اوا سبب تیرماه ۱۴۰۰ بذر هیبرید از روی بوته‌های والد مادری برداشت شدند. پس از بوجاری و استانداردسازی بذر تست کراس‌ها نسبت به تهیه نقشه آزمایش و آماده‌سازی بذر آزمایش‌ها برای سال آینده (۱۴۰۱) اقدام شد (جدول ۱).

۲-۲. اجرای طرح و عملیات زراعی

بذر تولیدی به‌صورت ۴۸ هیبرید تست کراس در سال ۱۴۰۱ در قالب طرح آگمنت به‌همراه ارقام شاهد مقاوم داخلی و خارجی در شش منطقه البرز (ایستگاه مطهری کرج)، همدان (ایستگاه اکباتان)، فارس (ایستگاه زرقان)، خراسان رضوی (ایستگاه طرق)، آذربایجان غربی (ایستگاه میان‌آب) و کرمانشاه (ایستگاه ماهیدشت) در مزرعه دارای آلودگی طبیعی به بیماری ریزومانیا کشت شدند. پنج تکرار برای تیمارهای شاهد داخلی و خارجی در هر مکان در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در زمینی که در پاییز سال قبل شخم خورده، کود فسفره توصیه‌شده به آن داده شده و جوی و پشته آن آماده شده بود، در اوایل بهار ۱۴۰۱ در کرت‌هایی به طول هشت متر (تک‌خطی) اجرا شدند. طرفین هر تکرار نیز شش خط به‌عنوان حاشیه (سه خط رقم حساس و سه خط رقم مقاوم) کشت شد که از صحت ماده آزمایشی انتخاب‌شده (دارای آلودگی طبیعی به بیماری ریزومانیا) برای تأمین هدف آزمایش اطمینان حاصل شود. عملیات کوددهی، آبیاری و تنک براساس روش مرسوم در هر ایستگاه انجام شد.

در هنگام برداشت پس از حذف حاشیه‌ها (نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر ردیف) تعداد ریشه‌های هر کرت برداشت، شمارش و توزین شد و پس از شستشو، توسط دستگاه اتوماتیک خمیر ریشه تهیه شد. برای تعیین عیار قند نمونه‌ها از دستگاه بتالایزر استفاده شد (ICUMSA, 2009). جهت کنترل علف‌های هرز از بتانال پروگرس استفاده شد و جهت کنترل آفات به‌خصوص کارادرینا و کک در اوایل فصل از آفت‌کش دیزاینون و آوانت استفاده شد. برای کنترل بیماری سفیدک در اواخر تیر و اوایل مرداد از سم کالکسین استفاده شد. آبیاری نیز به‌صورت قطره‌ای (نوار تیپ) در هر شش مکان انجام گرفت.

۲-۳. تجزیه و تحلیل آماری

باتوجه به نوع طرح که یک طرح آگمنت مرکب بود تحلیل واریانس براساس عملکرد و عیار قند ارقام شاهد صورت گرفت و خطای آزمایشی ناشی از این تحلیل به‌عنوان خطای معیار در مقایسه‌های مختلف به‌کار رفت. تعدیل ارقام براساس اختلاف بین میانگین ارقام شاهد در یک بلوک و میانگین آنها در کل آزمایش انجام گرفت. پس از برقراری مفروضات تجزیه واریانس، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 تجزیه و تحلیل شدند، جهت مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

برای تجزیه آمی براساس عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص در محیط‌های مختلف از نرم‌افزار Genstat استفاده شد. جهت تجزیه پایداری عملکرد هیبریدهای مورد بررسی از مدل آمی و از مولفه‌های اثر متقابل اول و دوم آمی (IPCA1, IPCA2) به‌عنوان پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استفاده شد. جهت انجام آنالیز داده‌های به‌دست‌آمده و تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین ابرمحیط‌ها (Mega-environment) از روش GGE بای‌پلات استفاده شد. مدل GGE بای‌پلات بر پایه مقادیر ویژه تفکیک-پذیر برای دو مولفه اول به‌صورت رابطه [۱] است:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij} \quad [1]$$

که در این مدل میانگین i امین محیط، μ میانگین کل j میانگین اثر محیط زام، λ_1 و λ_2 مقادیر ویژه برای اولین و دومین مولفه، ξ_1 و ξ_2 بردارهای ویژه ژنوتیپی، η_{j1} و η_{j2} بردارهای محیطی مولفه اول و دوم و ε_{ij} مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ ij هستند.

جدول ۱. لیست و شجره ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Genotype	Origin	Genotype	Origin	Genotype	Origin
1	SC (970001 * 970006) * SB 53	19	SC (980073 * 980052) * SB 53	37	SC (980042 * 980066) * SB 54
2	SC (970002 * 970006) * SB 53	20	SC (980066 * 980053) * SB 53	38	SC (980043 * 980069) * SB 54
3	SC (970003 * 970006) * SB 53	21	SC (980069 * 980053) * SB 53	39	SC (980078 * 980043) * SB 54
4	SC (970004 * 970006) * SB 53	22	SC (980077 * 980053) * SB 53	40	SC (980078 * 980051) * SB 54
5	SC (970005 * 970006) * SB 53	23	SC (980069 * 980054) * SB 53	41	SC (980066 * 980052) * SB 54
6	SC (970001 * 970007) * SB 53	24	SC (980078 * 980056) * SB 53	42	SC (980069 * 980052) * SB 54
7	SC (970002 * 970007) * SB 53	25	SC (970001 * 970006) * SB 54	43	SC (980073 * 980052) * SB 54
8	SC (970003 * 970007) * SB 53	26	SC (970002 * 970006) * SB 54	44	SC (980066 * 980053) * SB 54
9	SC (970004 * 970007) * SB 53	27	SC (970003 * 970006) * SB 54	45	SC (980069 * 980053) * SB 54
10	SC (970005 * 970007) * SB 53	28	SC (970004 * 970006) * SB 54	46	SC (980077 * 980053) * SB 54
11	SC (980042 * 980063) * SB 53	29	SC (970005 * 970006) * SB 54	47	SC (980069 * 980054) * SB 54
12	SC (980043 * 980066) * SB 53	30	SC (970001 * 970007) * SB 54	48	SC (980078 * 980056) * SB 54
13	SC (980042 * 980066) * SB 53	31	SC (970002 * 970007) * SB 54	49	Nika
14	SC (980043 * 980069) * SB 53	32	SC (970003 * 970007) * SB 54	50	BTS2015N
15	SC (980078 * 980043) * SB 53	33	SC (970004 * 970007) * SB 54	51	Annamira KWS
16	SC (980078 * 980051) * SB 53	34	SC (970005 * 970007) * SB 54	52	Wawilow
17	SC (980066 * 980052) * SB 53	35	SC (980042 * 980063) * SB 54	53	Bifort
18	SC (980069 * 980052) * SB 53	36	SC (980043 * 980066) * SB 54		

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲ و ۳) اختلاف بین ارقام از نظر عملکرد ریشه و عیار قند در محیط‌های کرج، مشهد، شیراز، کرمانشاه و همدان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. وجود اختلاف معنی‌دار بین توده‌های ژنتیکی در چغندر قند

در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Rajabi et al., 2022; Hassani et al., 2022; Hamze et al., 2021)، وجود تنوع ژنتیکی در یک توده ژنتیکی امکان گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب را برای به‌نژادگر مهیا می‌سازد.

جدول ۲. تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های شاهد مورد بررسی از لحاظ عملکرد ریشه در شش محیط جداگانه

SOV	Df	Karaj	Mashhad	Shiraz	Kermanshah	Miandoab	Hamadan
Replication	4	352.49	242.03	34.16	1346.54	470.20	346.99
treatment	4	625.11**	1631.55**	1091.71**	5104.41**	884.89 ^{ns}	1960.08**
Error	16	126.95	89.00	157.58	286.48	787.75	136.41
Coefficient of variation %		9.42	11.34	16.11	17.69	27.91	18.10

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳. تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های شاهد مورد بررسی از لحاظ عیار قند در شش محیط جداگانه

SOV	Df	Karaj	Mashhad	Shiraz	Kermanshah	Miandoab	Hamadan
Replication	4	1.89	3.73	4.83	1.92	3.51	0.25
treatment	4	6.80**	8.42**	12.43**	5.68**	0.57 ^{ns}	6.33**
Error	16	0.53	0.65	1.45	1.12	1.10	1.95
Coefficient of variation %		4.42	4.70	5.41	5.85	5.87	10.29

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

۳-۱. عملکرد ریشه

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط کرج نشان داد اگرچه رقم شاهد خارجی BTS2015N با متوسط ۱۳۳/۹۷ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص داد؛ اما اختلاف بین ژنوتیپ یادشده مذکور و ژنوتیپ‌های Nika، Bifort از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، در این محیط هیبریدهای ۱۲، ۲۸، ۲۲، ۱۰ و ۵ به ترتیب با میانگین ۶۴/۵۵، ۷۲/۸، ۷۳/۰۵، ۷۴/۲۴ و ۷۴/۳۷ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در محیط مشهد بالاترین عملکرد ریشه با میانگین ۱۱۴/۴۵ به رقم BTS2015N اختصاص داشت، در این مکان هیبریدهای ۵، ۳ و ۴ به ترتیب با میانگین ۱۷/۴۵، ۱۸/۰۹ و ۲۰/۳۶ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص دادند (جدول ۴). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط شیراز نشان داد ژنوتیپ Bifort با متوسط ۹۷/۷۱ بالاترین عملکرد ریشه را تولید کرد، اختلاف بین ژنوتیپ مذکور و ژنوتیپ‌های Nika و هیبریدهای ۳۱، ۳۴، ۳۵ و ۸ اختلاف معنی‌دار وجود نداشت، در این محیط هیبریدهای شماره ۱۹ و ۱۶ به ترتیب با متوسط ۲۷/۳۷ و ۳۱/۳۶ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را تولید کردند.

در مکان کرمانشاه بالاترین عملکرد ریشه با میانگین ۱۱۴/۲۹، ۱۱۰/۵۳ و ۱۰۶/۵ تن در هکتار به هیبریدهای ۳۹، ۴۲ و ۲۰ اختصاص داشت، اختلاف بین این هیبریدها با رقم Nika و هیبریدهای ۴۷، ۱، ۳۰، رقم BTS2015N، هیبریدهای ۲۳، ۳۳، رقم Annamira KWS، هیبریدهای ۲، ۳۱، ۱۴، رقم Bifort، و هیبرید ۱۰ از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در محیط کرمانشاه هیبریدهای ۱۹، ۴۱ و ۵ به ترتیب با میانگین ۴۱/۴۸، ۴۳/۳۰ و ۴۷/۹۶ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را تولید کردند (جدول ۴). در محیط همدان نیز رقم BTS2015N با میانگین ۹۷/۰۸ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را تولید کرد، اختلاف بین این رقم و هیبریدهای ۳۵ و ۲۴ از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در این محیط سه هیبرید ۱۰، ۲۸ و ۱۲ به ترتیب با میانگین ۲۸/۸۸، ۲۹/۸۸ و ۲۹/۹۴ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را تولید کردند (جدول ۴).

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در مجموع شش مکان حاکی از آن بود که دو ژنوتیپ BTS2015N و Nika به ترتیب با میانگین ۱۰۴/۹۱ و ۹۲/۰۵ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را کسب کردند، اختلاف بین ژنوتیپ‌های مذکور با دو رقم ارقام Annamira KWS و Bifort و هیبریدهای ۳۹، ۴۰، ۳۱ و ۳۵ از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در این شرایط هیبریدهای ۱۲، ۵، ۱۹ و ۲۲ به ترتیب با میانگین ۴۸/۸۴، ۵۲/۰۷، ۵۲/۴۰ و ۵۴/۴۳ کمترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). در مطالعه Hasani et al. (2022) بین ژنوتیپ‌ها در محیط کرج و شیراز از نظر عملکرد قند خالص اختلاف معنی‌دار دیده نشد؛ اما در مکان‌های مشهد و همدان هیبرید پلی‌ژرم شماره ۳ (920760 * SB36 * I13)، به ترتیب با متوسط ۱۱/۲۴ و ۱۳/۵۱ تن در هکتار و در مکان میاندوآب رقم شاهد خارجی ارس با متوسط ۱۵/۰۶ تن در هکتار بالاترین عملکرد قند خالص را به خود اختصاص دادند.

Moshari *et al.* (2019) دریافتند که ارقام 233، BTS، فلورس، دلتا و موریل علاوه بر عملکرد قابل ملاحظه دارای مقاومت نسبی در برابر دو بیمارگر پوسیدگی‌های ریشه ناشی از *R. solani* و *F. oxysporum* بودند.

جدول ۴. مقایسه میانگین تصحیح‌شده عملکرد ریشه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شش مکان.

Genotype	Origin	Karaj	Mashhad	Shiraz	Kermanshah	Miandoab	Hamadan	Average of six locations
1	SC (970001 * 970006) * SB 53	113.90	29.65	67.36	103.79	98.21	44.34	73.92
2	SC (970002 * 970006) * SB 53	95.44	29.51	59.09	96.98	63.93	39.80	67.55
3	SC (970003 * 970006) * SB 53	82.81	19.08	70.51	71.49	75.36	43.17	58.12
4	SC (970004 * 970006) * SB 53	100.44	20.36	53.09	62.11	61.07	41.34	62.59
5	SC (970005 * 970006) * SB 53	74.37	17.45	51.94	47.96	69.64	45.34	52.07
6	SC (970001 * 970007) * SB 53	101.03	40.98	52.79	68.59	109.64	33.91	59.73
7	SC (970002 * 970007) * SB 53	114.56	31.42	74.51	61.53	75.36	56.05	67.00
8	SC (970003 * 970007) * SB 53	102.21	30.56	81.65	67.95	75.35	55.77	70.44
9	SC (970004 * 970007) * SB 53	84.96	56.95	51.36	56.01	63.92	49.77	58.21
10	SC (970005 * 970007) * SB 53	74.24	42.38	61.94	92.37	103.92	28.88	60.62
11	SC (980042 * 980063) * SB 53	91.31	41.73	51.66	81.86	49.64	72.19	73.78
12	SC (980043 * 980066) * SB 53	64.5	38.44	49.09	64.25	78.21	29.94	48.84
13	SC (980042 * 980066) * SB 53	92.24	73.78	58.79	57.21	72.49	60.05	68.62
14	SC (980043 * 980069) * SB 53	84.15	27.39	68.50	94.53	98.21	46.76	66.12
15	SC (980078 * 980043) * SB 53	109.8	33.76	57.37	81.43	78.21	41.20	64.49
16	SC (980078 * 980051) * SB 53	103.3	66.6	31.36	64.79	58.21	59.08	70.57
17	SC (980066 * 980052) * SB 53	79.3	74.83	59.93	77.01	72.49	70.19	73.15
18	SC (980069 * 980052) * SB 53	103.19	63.21	64.80	89.85	63.92	52.91	74.03
19	SC (980073 * 980052) * SB 53	96.62	49.92	27.37	41.48	49.64	49.34	52.40
20	SC (980066 * 980053) * SB 53	109.87	33.53	54.80	106.50	72.49	62.62	75.11
21	SC (980069 * 980053) * SB 53	111.24	43.85	47.36	50.11	58.21	51.51	63.71
22	SC (980077 * 980053) * SB 53	73.05	45.70	40.22	82.06	61.08	50.19	54.43
23	SC (980069 * 980054) * SB 53	112.03	59.12	59.09	101.31	46.79	58.19	77.04
24	SC (980078 * 980056) * SB 53	118.465	51.62	55.94	66.18	69.65	84.62	73.36
25	SC (970001 * 970006) * SB 54	100.55	73.84	70.23	68.30	98.22	70.74	78.79
26	SC (970002 * 970006) * SB 54	81.17	36.65	68.80	78.72	35.36	35.76	63.32
27	SC (970003 * 970006) * SB 54	102.21	70.53	77.37	90.85	61.08	49.45	75.25
28	SC (970004 * 970006) * SB 54	72.8	46.02	45.65	56.05	49.65	29.88	58.10
29	SC (970005 * 970006) * SB 54	80.55	73.97	55.94	64.63	61.08	46.62	65.23
30	SC (970001 * 970007) * SB 54	88.90	63.06	70.52	103.52	58.22	61.19	74.71
31	SC (970002 * 970007) * SB 54	109.62	50.19	86.23	94.61	58.22	60.76	84.13
32	SC (970003 * 970007) * SB 54	103.74	34.56	60.22	77.17	63.36	51.37	67.55
33	SC (970004 * 970007) * SB 54	103.21	46.96	55.93	98.21	77.64	45.33	67.98
34	SC (970005 * 970007) * SB 54	106.49	39.48	85.65	71.75	83.36	42.94	65.99
35	SC (980042 * 980063) * SB 54	96.59	70.65	84.51	88.17	63.36	88.48	83.39
36	SC (980043 * 980066) * SB 54	79.28	76.69	67.66	83.43	89.07	69.76	72.98
37	SC (980042 * 980066) * SB 54	94.715	63.62	74.80	85.76	103.36	79.19	78.43
38	SC (980043 * 980069) * SB 54	85.44	53.22	67.37	60.29	71.93	79.48	68.67
39	SC (980078 * 980043) * SB 54	107.19	67.86	73.37	114.29	66.22	78.90	85.31
40	SC (980078 * 980051) * SB 54	99.59	81.04	63.37	79.98	84.50	73.05	84.45

41	SC (980066 * 980052) * SB 54	109.495	89.56	60.52	43.30	84.50	59.02	72.88
42	SC (980069 * 980052) * SB 54	103.155	59.79	80.23	110.53	61.65	60.51	79.69
43	SC (980073 * 980052) * SB 54	88.19	54.66	47.36	76.83	84.50	57.62	62.38
44	SC (980066 * 980053) * SB 54	83.8	66.08	76.23	87.40	50.22	61.60	72.22
45	SC (980069 * 980053) * SB 54	100.44	46.99	77.66	84.54	70.22	68.23	75.06
46	SC (980077 * 980053) * SB 54	110.28	76.36	61.65	86.82	78.79	50.45	73.96
47	SC (980069 * 980054) * SB 54	82.05	72.76	66.23	104.19	70.22	52.20	78.89
48	SC (980078 * 980056) * SB 54	104.3	51.85	58.80	76.63	95.93	56.48	67.71
49	Nika	121.58	78.77	87.14	105.62	101.14	58.05	92.05
50	BTS2015N	133.97	114.45	77.14	102.8	104	97.08	104.91
51	Annamira KWS	111.6	80.3	63.42	97.01	119.43	63.62	89.23
52	Wawilow	105.63	68.86	64.28	80.01	95.43	43.34	76.26
53	Bifort	125.1	73.45	97.71	93.08	82.86	60.45	88.78
	LSD 0.05	15.10	12.69	16.83	22.69	37.63	15.65	17.89

۲-۳. عیار قند

مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط کرج نشان داد هیبریدهای ۲۴، ۲۳ و ۴۷ به ترتیب با متوسط ۱۸/۶۴، ۱۷/۷۷ و ۱۷/۶۷ درصد بالاترین عیار قند را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به خود اختصاص دادند. هیبریدهای ۱۵، ۳۹، ۴۰، ۸، ۲۰ و رقم Nika به ترتیب با میانگین ۱۴/۰۴، ۱۴/۰۴، ۱۴/۴۴، ۱۴/۵۴، ۱۴/۵۵ و ۱۴/۶۸ درصد کمترین عیار قند ریشه را تولید کردند (جدول ۵). در محیط مشهد بالاترین عیار قند با متوسط ۱۹/۰۰، ۱۸/۳۱، ۱۸/۱۰، ۱۸/۰۶ و ۱۷/۸۶ درصد به ترتیب به هیبرید ۳۸، ارقام Wawilow، Annamira KWS، هیبرید ۱۹ و رقم Bifort اختصاص یافت. لازم به ذکر است که در این محیط هیبریدهای ۱۸، ۸، ۲۶ و رقم Nika به ترتیب با متوسط ۱۴/۳۳، ۱۴/۶، ۱۵/۰۷ و ۱۵/۱۵ درصد کمترین عیار قند را تولید کردند (جدول ۵). در محیط شیراز اگرچه هیبریدهای ۱۱، ۲۰، ۲۸، ۵ و رقم BTS2015N، Annamira KWS و هیبریدهای ۱۹، ۴۷، ۱۲ و ۹ از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. در این مکان سه هیبرید ۱۳، ۷ و ۳۲ به ترتیب با میانگین ۱۷/۵۸، ۱۸/۰۷ و ۱۸/۳۸ تن در هکتار کمترین عیار قند را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

مقایسه میانگین ارقام و هیبریدها در محیط کرمانشاه نشان داد اگرچه رقم Wawilow با متوسط ۱۹/۵۷ درصد بالاترین عیار قند را به خود اختصاص داد؛ اما اختلاف بین این رقم و هیبریدهای شماره ۴۱، ۴۷، ۴۱، ۲۴، ۳۷، ۱۸، ۳۸، ۳۳، ۱۲۰، ۵، ۲۵، ۴۰ و ۲۹ معنی‌دار نبود. هیبرید شماره ۱ نیز با متوسط ۱۵/۶۸ درصد کمترین عیار قند را تولید کرد. در محیط همدان هیبریدهای ۱۵، ۳۶، ۴۱، ۳۰، ۴۸، ۴۶ و ۲۸ به ترتیب با میانگین ۱۶/۸۳، ۱۵/۷۶، ۱۵/۴۶، ۱۵/۳۳، ۱۵/۲۸، ۱۵/۱۱ و ۱۵/۰۶ درصد بالاترین عیار قند را تولید کردند، در حالی که کمترین عیار قند با میانگین ۹/۸۶ درصد در این محیط برای هیبرید ۲۶ ثبت شد (جدول ۵). در بررسی حاضر اگرچه رقم Wawilow با میانگین ۱۸/۶۲ درصد بالاترین عیار قند را در مجموع شش مکان به خود اختصاص داد؛ اما اختلاف بین این رقم و هیبریدهای ۲۴، ۴۷، رقم Annamira KWS، هیبریدهای ۳۸، ۱۲، ۴۴، ۳، ۴۱، رقم BTS2015N، هیبریدهای ۵، ۳۰، ۳۶، ۲۸، ۹، رقم Bifort و هیبریدهای ۱۹، ۲۳، ۱۵ و ۲۹ از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، کمترین عیار قند نیز با متوسط ۱۶/۰۱، ۱۶/۰۵ و ۱۶/۰۷ درصد به هیبریدهای ۱ و ۷ و رقم Nika اختصاص داشت (جدول ۵).

۳-۳. تجزیه پایداری

بر اساس نتایج میانگین مربعات اثرات اصلی و ضرب پذیر برای عملکرد ریشه ژنوتیپ‌های چغندر قند در شش محیط مورد بررسی دو عامل IPCA 1 و IPCA 2 شناسایی شدند که در مجموع ۶۲/۰۵ درصد از کل تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را تبیین کردند. Rajabi *et al.* (2022) در ارزیابی و تعیین پایداری چغندر قند تحت شرایط بیماری ریزومانیا در طول دو سال و چهار منطقه چهار عامل اصلی را شناسایی کردند که در مجموع ۹۸/۸۰ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ با محیط را تبیین کردند (جدول ۶).

جدول ۵. مقایسه میانگین تصحیح‌شده عیار قند در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شش مکان.

Genotype	Origin	Karaj	Mashhad	Shiraz	Kermanshah	Miandoab	Hamadan	Average of six locations
1	SC (970001 * 970006) * SB 53	16.72	15.80	19.13	15.68	16.24	12.48	16.01
2	SC (970002 * 970006) * SB 53	16.09	16.86	21.15	17.48	15.54	12.63	16.63
3	SC (970003 * 970006) * SB 53	15.69	16.57	22.44	18.23	18.99	14.91	17.81
4	SC (970004 * 970006) * SB 53	16.04	17.86	20.92	16.74	13.71	11.53	16.13
5	SC (970005 * 970006) * SB 53	17.55	16.87	23.04	18.61	16.87	13.13	17.68
6	SC (970001 * 970007) * SB 53	16.77	15.88	19.97	16.93	17.60	12.23	16.56
7	SC (970002 * 970007) * SB 53	14.69	16.27	18.07	16.56	16.42	14.28	16.05
8	SC (970003 * 970007) * SB 53	14.54	14.60	19.68	17.24	17.74	13.88	16.28
9	SC (970004 * 970007) * SB 53	16.44	17.08	22.62	18.11	17.59	13.68	17.59
10	SC (970005 * 970007) * SB 53	16.35	16.83	20.90	17.64	16.51	13.71	16.99
11	SC (980042 * 980063) * SB 53	14.74	16.85	23.92	18.26	16.97	13.83	17.43
12	SC (980043 * 980066) * SB 53	16.52	17.63	22.65	18.26	19.45	13.63	18.02
13	SC (980042 * 980066) * SB 53	17.30	16.73	17.58	17.56	17.05	14.26	16.75
14	SC (980043 * 980069) * SB 53	17.12	15.32	24.22	17.51	17.56	11.31	17.17
15	SC (980078 * 980043) * SB 53	14.04	16.45	21.22	17.46	18.75	16.83	17.46
16	SC (980078 * 980051) * SB 53	16.82	16.58	22.02	16.96	16.80	13.68	17.14
17	SC (980066 * 980052) * SB 53	16.02	16.21	22.37	16.93	18.35	14.43	17.39
18	SC (980069 * 980052) * SB 53	16.09	14.33	21.30	19.01	17.94	11.68	16.73
19	SC (980073 * 980052) * SB 53	16.85	18.06	22.82	18.14	16.22	13.18	17.55
20	SC (980066 * 980053) * SB 53	14.55	16.26	23.84	17.28	19.65	12.46	17.34
21	SC (980069 * 980053) * SB 53	15.00	15.80	19.73	17.63	15.82	13.08	16.18
22	SC (980077 * 980053) * SB 53	15.92	16.62	22.53	17.14	18.20	13.23	17.27
23	SC (980069 * 980054) * SB 53	17.77	16.33	20.55	17.83	17.72	14.66	17.48
24	SC (980078 * 980056) * SB 53	18.64	16.87	21.97	19.31	19.75	13.63	18.36
25	SC (970001 * 970006) * SB 54	16.12	17.63	20.02	18.48	17.55	14.16	17.33
26	SC (970002 * 970006) * SB 54	16.62	15.07	21.32	18.13	19.69	9.86	16.78
27	SC (970003 * 970006) * SB 54	15.54	17.10	21.37	18.26	16.61	10.41	16.55
28	SC (970004 * 970006) * SB 54	16.97	16.65	23.17	17.16	16.57	15.06	17.60
29	SC (970005 * 970006) * SB 54	16.42	16.06	21.32	18.46	18.01	14.28	17.43
30	SC (970001 * 970007) * SB 54	16.92	16.56	22.00	16.98	18.05	15.33	17.64
31	SC (970002 * 970007) * SB 54	15.90	17.10	20.65	17.54	15.85	11.73	16.46
32	SC (970003 * 970007) * SB 54	16.75	16.31	18.38	18.14	15.52	12.58	16.28
33	SC (970004 * 970007) * SB 54	16.59	16.50	20.93	18.73	16.22	10.56	16.59
34	SC (970005 * 970007) * SB 54	16.45	15.57	21.32	16.69	20.20	11.63	16.98
35	SC (980042 * 980063) * SB 54	15.74	15.37	19.67	17.44	17.75	13.58	16.59
36	SC (980043 * 980066) * SB 54	16.57	16.01	22.10	18.03	17.25	15.76	17.62
37	SC (980042 * 980066) * SB 54	15.84	15.81	22.19	19.11	16.97	14.48	17.40
38	SC (980043 * 980069) * SB 54	16.79	19.00	21.72	18.83	18.75	13.23	18.05
39	SC (980078 * 980043) * SB 54	14.04	16.36	21.99	17.81	17.44	12.21	16.64
40	SC (980078 * 980051) * SB 54	14.44	15.63	22.40	18.48	16.41	13.06	16.74
41	SC (980066 * 980052) * SB 54	17.10	16.97	21.45	19.36	16.41	15.46	17.79
42	SC (980069 * 980052) * SB 54	17.32	16.90	19.12	17.13	17.57	14.83	17.15
43	SC (980073 * 980052) * SB 54	15.34	17.01	20.73	18.24	17.57	13.78	17.11
44	SC (980066 * 980053) * SB 54	16.47	16.71	22.54	18.24	18.90	14.71	17.93
45	SC (980069 * 980053) * SB 54	16.34	17.45	21.55	17.86	17.32	12.33	17.14

46	SC (980077 * 980053) * SB 54	16.47	16.12	21.08	17.83	17.20	15.11	17.30
47	SC (980069 * 980054) * SB 54	17.67	17.22	22.79	19.33	18.94	12.83	18.13
48	SC (980078 * 980056) * SB 54	16.87	16.51	21.87	16.49	17.12	15.28	17.36
116	Nika	14.68	15.15	19.99	16.78	17.83	12.01	16.07
117	BTS2015N	16.28	16.91	23.03	17.51	17.92	14.75	17.73
118	Annamira KWS	17.42	18.1	22.9	18.3	17.49	14.48	18.12
119	Wawilow	17.61	18.31	24.06	19.57	18.44	13.75	18.62
120	Bifort	16.59	17.86	21.51	18.62	17.9	12.95	17.57
	LSD 0.05	0.97	1.08	1.61	1.41	1.40	1.87	1.17

در این مطالعه متوسط عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها در شش محیط آزمایشی، مقادیر مؤلفه‌های IPCA1، IPCA2 و آماره ASV در جدول ۳ ذکر شده است. بر اساس نتایج جدول مذکور در مجموع شش مکان مورد مطالعه اگرچه رقم BTS2015N با میانگین ۱۰۰/۰۳ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص داد. اختلاف بین این رقم و ارقام Nika (با میانگین ۹۳/۴۰ تن در هکتار)، Annamira KWS (با میانگین ۹۰/۳۳ تن در هکتار)، Bifort (با میانگین ۸۹/۸۷ تن در هکتار) و هیبرید ۳۹ (با میانگین ۸۴/۲۳ تن در هکتار) اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. در بین ارقام مورد بررسی هیبرید ۵ با میانگین ۴۸/۵۰ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص داد. Hasani *et al.* (2021) نشان دادند 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.

در این مطالعه ارقام ۴۰، ۳۸، ۲۳، Nika و Bifort به ترتیب با ۰/۰۶۲، ۰/۱۱۷، ۰/۱۵۴، ۰/۲۴۵ و ۰/۲۵۶ کمترین مقادیر شاخص پایداری امی (ASV) را به خود اختصاص دادند و ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد ریشه محسوب شدند. ارقام ۱۶، ۴۱، ۲۵، ۳۳ و ۱۴ به ترتیب با مقادیر ۱/۲۴۸، ۱/۲۳۱، ۱/۱۳۲، ۱/۰۶۸ و ۱/۰۶۷ بالاترین مقادیر شاخص پایداری امی (ASV) را به خود اختصاص دادند و به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند. در بین ارقام مورد بررسی دو رقم Nika و Bifort هم از عملکرد بالا و هم از شاخص پایداری بالاتری برخوردار بودند و به عنوان ارقام پایدار شناخته شدند (جدول ۷).

۳-۴. بای پلات

بر اساس شکل ۱، بای پلات متوسط عملکرد ارقام در مقابل مقادیر IPCA1، هیبرید ۴۰، Bifort و هیبرید ۲۱ دارای مقادیر IPCA1 نزدیک به صفر بوده و از پایداری عملکرد و سازگاری عمومی مناسبی برخوردار بودند. رقم BTS2015N و هیبرید ۴۱ بیشترین مقادیر IPCA1 را به خود اختصاص داده و به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناسایی شدند. بای پلات متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در مقابل مقادیر IPCA2 (شکل ۲)، نشان داد ژنوتیپ‌های ۱۷، Nika و ۴۰ کمترین مقادیر IPCA2 را به خود اختصاص دادند؛ در حالی که هیبریدهای ۳۳، ۱۰، ۲۵ و ۱۶ بالاترین مقادیر مثبت و منفی IPCA2 را به خود اختصاص دادند. ژنوتیپ‌هایی که عملکرد کمتری دارند، اما دارای مقادیر مثبت برای مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل باشند برای مناطق و محیط‌های ضعیف و فقیر مناسب می‌باشد، به عبارتی با مناطق فقیر اثر متقابل مثبت دارند. مقادیر متوسط عملکرد ریشه و چهار ژنوتیپ مناسب برای هر مکان در جدول ۸ درج شده است. در این بررسی مکان‌های آزمایشی کرج و مشهد به ترتیب با میانگین ۹۸/۵۴ و ۵۴/۳۶ تن در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص دادند. نتایج مربوط به ژنوتیپ‌های برتر در هر محیط نشان داد ارقام BTS2015N و رقم Nika برای چهار مکان از شش مکان مورد بررسی جزء ژنوتیپ‌های مناسب بودند. همچنین ارقام Annamira KWS و Bifort برای سه مکان جزء چهار رقم برتر شناسایی شدند، در بین هیبریدهای جدید نیز هیبرید ۳۹ برای دو مکان شیراز و کرمانشاه به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل از لحاظ عملکرد ریشه شناسایی شدند.

۳-۵. GGE بای پلات

نمایش چندضلعی (Convex hull) حاصل از تجزیه GGE ارقام و هیبریدهای مختلف چغندر قند در شش مکان مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده است. این نمودار (مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل) در مجموع ۶۰/۶۰ درصد از واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. در این شکل، ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم مشخص شده‌اند، آنهایی که

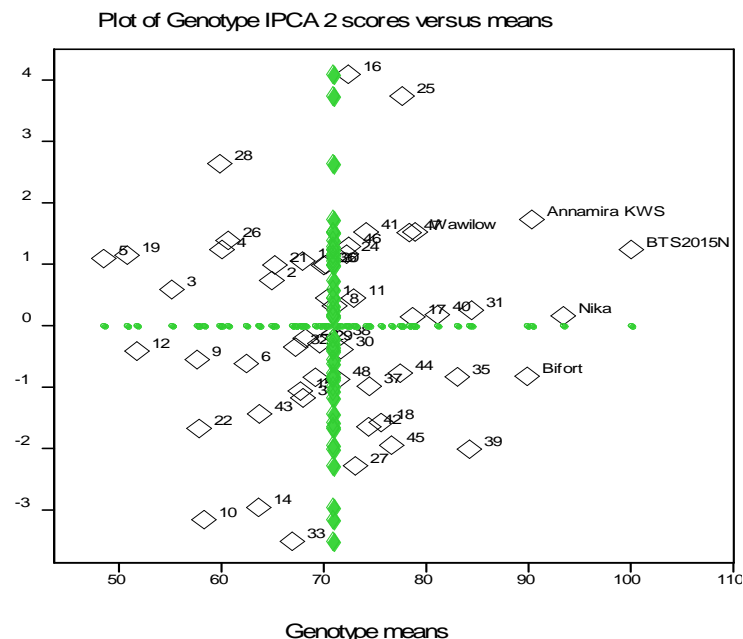
از لحاظ مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر متقابل فاصله کمتری از مبدأ مختصات (نزدیک به صفر) دارند کمترین مشارکت را در اثر متقابل ژنوتیپ با محیط دارند. در این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک مکان واقع شوند با آن محیط سازگاری خصوصی دارند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک مبدأ مختصات قرار دارند دارای سازگاری عمومی (با کلیه مکان‌های مورد آزمایش) هستند.

جدول ۶. تجزیه واریانس اثرات اصلی و ضرب‌پذیر برای عملکرد ریشه ژنوتیپ‌های چغندر قند در چهار مکان

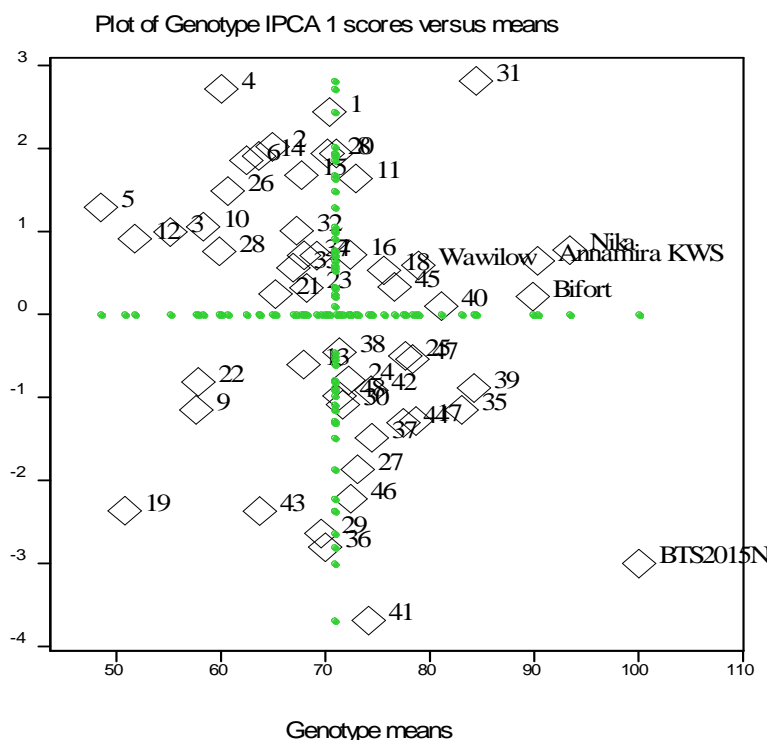
SOV	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد واریانس
ژنوتیپ	52	34608	
محیط	5	72970	
ژنوتیپ در محیط	260	52474	
IPCA 1	56	16652	31.73
IPCA 2	54	15908	30.32
باقی مانده (Noise)	150	19914	

جدول ۷. میانگین عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها، ضرایب مؤلفه‌های اثر متقابل آماره AMMI و آماره ASV برای ژنوتیپ‌های چغندر قند

Genotype	Root yield	IPC1	IPC2	SOV	Genotype	Root yield	IPC 1	IPC 2	SOV
1	70.39e-o	2.44	0.45	0.768	28	59.831-r	0.76	2.64	0.825
2	64.92i-q	2.02	0.73	0.663	29	69.60e-o	-2.64	-0.29	0.822
3	55.15o-r	0.99	0.59	0.355	30	71.66e-n	-1.09	-0.39	0.357
4	60.05l-r	2.72	1.24	0.921	31	84.43a-e	2.81	0.25	0.875
5	48.50r	1.29	1.09	0.517	32	67.25g-p	1.01	-0.35	0.329
6	62.43j-r	1.86	-0.62	0.605	33	66.93g-q	0.56	-3.51	1.068
7	69.17e-o	0.71	-0.84	0.334	34	67.96g-o	0.71	-1.18	0.416
8	71.05e-o	1.94	0.32	0.609	35	83.05b-g	-1.15	-0.83	0.436
9	57.63n-r	-1.15	-0.55	0.393	36	69.98e-o	-2.80	0.98	0.918
10	58.29m-r	1.06	-3.16	1.002	37	74.44c-l	-1.49	-0.99	0.548
11	72.90e-n	1.64	0.45	0.525	38	71.35e-n	-0.46	-0.20	0.154
12	51.75pqr	0.91	-0.41	0.309	39	84.23a-f	-0.89	-2.01	0.663
13	67.92g-o	-0.60	1.05	0.367	40	81.11b-h	0.10	0.18	0.062
14	63.64i-r	1.91	-2.96	1.067	41	74.14d-m	-3.69	1.52	1.231
15	67.71g-p	1.68	-1.07	0.610	42	74.39c-m	-0.91	-1.65	0.569
16	72.38e-n	0.72	4.09	1.248	43	63.71i-r	-2.37	-1.44	0.851
17	78.68b-i	-1.28	0.14	0.400	44	77.47b-j	-1.31	-0.77	0.467
18	75.60c-l	0.53	-1.58	0.501	45	76.63c-k	0.33	-1.95	0.593
19	50.78qr	-2.37	1.15	0.810	46	72.41e-n	-2.22	1.29	0.789
20	70.22e-o	1.94	0.99	0.671	47	78.34b-j	-0.54	1.51	0.484
21	65.21h-q	0.24	0.99	0.306	48	71.34e-n	-0.98	-0.88	0.402
22	57.82n-r	-0.81	-1.67	0.562	Annamira	90.33abc	0.65	1.73	0.556
23	68.19f-o	0.32	-0.21	0.117	KWS				
24	72.21e-n	-0.79	1.16	0.427	Bifort	89.87a-d	0.21	-0.82	0.256
25	77.64b-j	-0.50	3.74	1.132	BTS2015N	100.03a	-3.00	1.24	1.002
26	60.65k-r	1.49	1.39	0.621	Nika	93.40ab	0.77	0.16	0.245
27	73.10e-n	-1.87	-2.28	0.897	Wawilow	78.92b-i	0.59	1.53	0.493



شکل ۱. بای پلات متوسط عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها در مقابل مقادیر IPCA1.



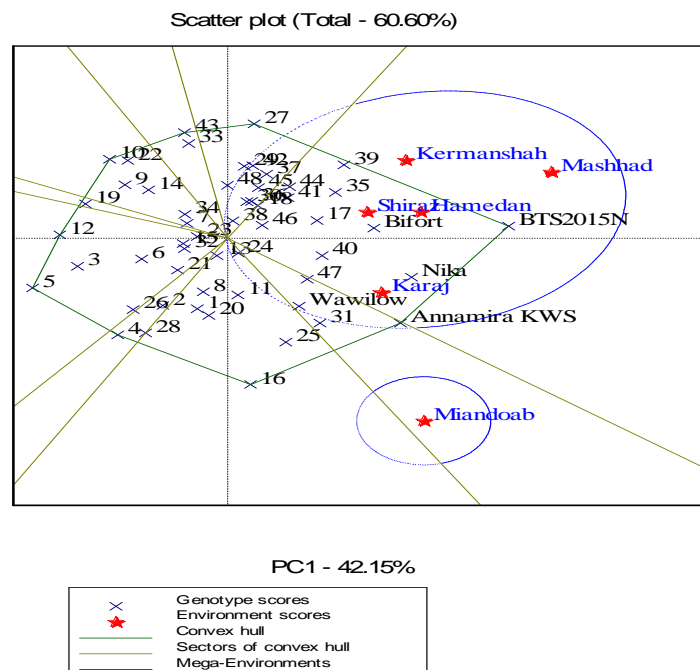
شکل ۲. بای پلات متوسط عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها در مقابل مقادیر IPCA2.

در تحقیق حاضر هیبریدهای ۱۳، ۲۴، ۳۲، ۳۳ نزدیک‌ترین ارقام به مبدأ مختصات بوده و به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناسایی شدند. در این بای پلات یک چندضلعی مشاهده می‌شود که ارقام برتر برای هر محیط را مشخص می‌کند بر این اساس برای محیط‌های کرج، کرمانشاه، شیراز و همدان رقم خارجی BTS2015N و برای محیط میان‌دوآب رقم خارجی Annamira KWS در رأس چندضلعی قرار گرفته و به‌واسطه سازگاری خصوصی بالا به‌عنوان ارقام مناسب برای این محیط‌ها تشخیص داده شدند. هیبرید شماره ۵ که در رأس چندضلعی قرار داشتند برای هیچ محیطی مناسب تشخیص داده نشده‌اند، با مراجعه به جدول ۴ مشاهده شد که این ژنوتیپ

از کمترین مقدار عملکرد ریشه در مجموع شش مکان برخوردار بود. در مطالعه Mostafavi *et al.* (2017) ژنوتیپ‌های 1571، HSF.20-302*(113*KWS)، S1.88239*(I13*A37).1، BR1 و ARAS 101 در محیط مغان و کرمانشاه، ژنوتیپ‌های SH-1-HSF.5*(I13*A37.1) و JAAM در مشهد و اصفهان و ژنوتیپ‌های 7233 و IC در محیط کرج دارای سازگاری خصوصی بوده و از عملکرد نسبتاً خوبی برخوردار بودند.

جدول ۸. متوسط عملکرد ریشه، مقادیر مولفه‌های اصلی AMMI و مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها برای محیط‌های مورد بررسی.

Environment	Mean	Score	1	2	3	4
Miandoab	74.45	5.521	Annamira KWS	16	31	25
Kermanshah	78.08	2.641	39	Bifort	33	Nika
Shiraz	64.11	1.833	Nika	Bifort	BTS2015N	39
Karaj	98.54	1.811	BTS2015N	Nika	Annamira KWS	31
Hamedan	55.76	-3.141	BTS2015N	Nika	Annamira KWS	Bifort
Mashhad	54.36	-8.665	BTS2015N	41	36	46



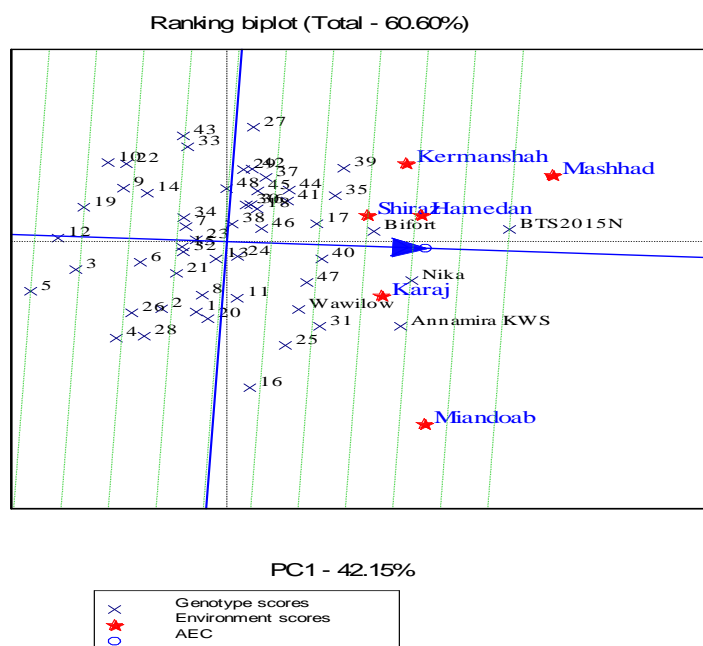
شکل ۳. نمایش گرافیکی GGE بای پلات جهت تعیین برتری کدام ژنوتیپ (ها) در کدام محیط (ها) برای ژنوتیپ‌های چغندر قند.

۳-۶. میانگین عملکرد و پایداری

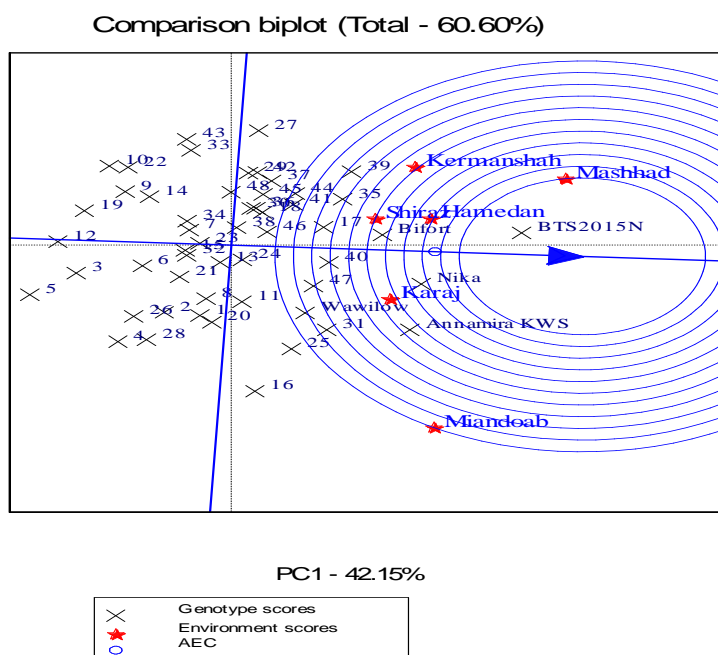
خط مورب که از مرکز بای پلات و از نقطه ایده‌آل (که نماینده متوسط ضرایب دو مؤلفه اول اثر متقابل در مدل GGE بای پلات است) می‌گذرد، خط متوسط عملکرد محیطی (Average Environment Coordination) نامیده می‌شود. ژنوتیپ‌هایی که به مرکز دایره که روی این خط قرار دارند نزدیک‌تر باشند دارای عملکرد بیشتری هستند. خطی که بر خط متوسط عملکرد محیطی عمود و از مرکز بای پلات می‌گذرد معیار سنجش پایداری ژنوتیپ‌ها است. هر چه ژنوتیپ‌ها از این خط فاصله بیشتری داشته باشند، در اثر متقابل نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت. دایره کوچک در شکل ۲ که روی محور افقی ACE واقع است و با یک پیکان به آن اشاره شده است، نشان‌دهنده 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.

در این مطالعه ارقام BTS2015N، Nika و Bifort به واسطه نزدیکی به خط ACE هم از پایداری مناسب و هم از عملکرد بالاتری در مقایسه با دیگر ارقام برخوردار بودند. هیبریدهای ۴۰، ۳۸، ۱۷، ۲۴، ۱۳، ۲۳ و ۳۲ اگرچه از پایداری بالایی در مجموع

شش مکان برخوردار بودند، اما مقدار عملکرد ریشه در آنها بالا نبود. بر اساس نتایج این شکل دو هیبرید ۲۷ و ۱۶ بیشترین فاصله را از خط AEC داشته و به عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار شناخته شدند (شکل ۴).



شکل ۴. خط متوسط عملکرد محیطی در مقایسه ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس عملکرد ریشه و پایداری در شش محیط آزمایشی.



شکل ۵. ارزیابی ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل در شش محیط مورد آزمایش بر اساس عملکرد ریشه.

برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرجع ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکزی در بای‌پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است. دایره هم‌مرکز، با برخورداری از ژنوتیپ ایده‌آل در مرکز، به تجسم فاصله بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و رقم ایده‌آل کمک می‌کند. بر این اساس ارقام BTS2015N، Nika و Bifort نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل بوده و مطلوب‌تر از کلیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند. در مقابل، هیبرید جدید ۵ به واسطه فاصله زیاد از رقم ایده‌آل

به‌عنوان نامطلوب‌ترین رقم شناسایی شد (شکل ۵). Moradi *et al.* (2012) در ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ارقام منوژرم چغندر قند بر اساس عملکرد ریشه با استفاده از روش امی نشان دادند که دو مؤلفه اثر متقابل اول بیش از ۹۹ درصد از واریانس داده‌ها را تبیین کردند. در مطالعه آنها رقم زرقان بیشترین سازگاری عمومی و رقم لاتیتیا کمترین سازگاری عمومی را نشان داد. بر اساس نتایج نمودار دوبعدی مربوط به دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (Hasani *et al.* (2021) روی چغندر قند نشان دادند ژنوتیپ ۲۴ از لحاظ عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص برای محیط‌های همدان، شیراز و مشهد دارای سازگاری خصوصی بالایی بود؛ در حالی که ژنوتیپ ۴۶ از لحاظ عملکرد ریشه و ژنوتیپ ۳۶ از لحاظ عملکرد قند خالص برای محیط کرمانشاه سازگاری خصوصی مناسبی نشان دادند. 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. در بررسی حاضر ارقام Nika، Bifort و هیبریدهای ۲۳ و ۳۸ در هر دو روش AMMI و GGE-biplot به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناسایی شدند.

۴. نتیجه‌گیری

باتوجه به هدف تحقیق حاضر، هیبریدهای ۳۹، ۴۰، ۳۱ و ۳۵ از نظر عملکرد ریشه و هیبریدهای ۲۴، ۴۷، ۳۸، ۱۲، ۴۴، ۳، ۴۱، ۱۹، ۲۳، ۱۵ و ۲۹ از لحاظ عیار قند با رقم شاهد خارجی BTS2015N در یک گروه قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری بین آنها یافت نشد. بالاترین پایداری عملکرد ریشه نیز برای هیبریدهای ۴۰، ۲۳، ۳۸، ۲۱، ۱۲، ۳۲، ۷، ۳، ۳۰، ۱۳، ۹ و ۱۷ ثبت شد؛ بنابراین گزینش هیبرید ۴۰ به‌واسطه عملکرد ریشه بالا و پایداری مناسب و هیبرید ۱۲ به‌واسطه عیار قند بالا برای آزمون تعیین ارزش زراعی در نسل آینده قابل توصیه هستند.

۵. منابع

- Abdelsalam, N.R., Balbaa, M.G., Osman, H.T., Ghareeb, R.Y., Desoky, E.S.M., & Elshehawi, A.M. (2022b). Inheritance of resistance against northern leaf blight of maize using conventional breeding methods. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 1747–1759.
- Al-Nemi, R., Makki, A.A., Sawalha, K., Hajjar, D., & Jaremko, M. (2022). Untargeted metabolomic profiling and antioxidant capacities of different solvent crude extracts of *Ephedra foeminea*. *Metabolites*, 12, 451. Doi: 10.3390/metabo12050451.
- Ashmit, K.C., Yan, G., Acharya, K., Plaisance, A., & Khan, M.F. (2021). Occurrence of plant-parasitic nematodes in sugarbeet fields of North Dakota and Minnesota. *Crop Protection*, 142, 105503.
- Badshah, S.L., Faisal, S., Muhammad, A., Poulson, B.G., Emwas, A.H., & Jaremko, M. (2021). Antiviral activities of flavonoids. *Biomed. Pharmacother*, 140, 111596. Doi: 10.1016/j.biopha.2021.111596.
- Bayomi, K.E.M., El-Hashash, E.F., & Moustafa, E.S.A. (2019). Comparison of genetic parameters in non-segregating and segregating populations of sugar beet in Egypt. *Asian Journal of Crop Science*, 3, 1–12.
- Choudhary, R.C., Bairwa, H.L., Kumar, U., Javed, T., Asad, M., & Lal, K. (2022). Influence of organic manures on soil nutrient content, microbial population, yield and quality parameters of pomegranate (*Punica granatum* L.) cv. bhagwa. *PloS One*, 17, e0266675.
- Darabi, S., Bazrafshan, M., Babae, B., & Mahmoodi, S.B. (2017). Impact of rhizomania virus (beet necrotic yellow vein virus) on sugar beet yield and qualitative characters. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 6(3), 67–82.
- Draycott, A.P. (2006). Sugar Beet. Blackwell Publishing Co Ltd. UK. 514 p.
- Elkobrosy, D.H., Aseel, D.G., Hafez, E.E., El-Saedy, M.A., Al-Huqail, A.A., & Ali, H.M. (2022). Quantitative detection of induced systemic resistance genes of potato roots upon ethylene treatment and cyst nematode, *Globodera rostochiensis*, infection during plant–nematode interactions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 3617–3625.
- El-Saadony, M.T., Abuljadayel, D.A., Shafi, M.E., Albaqami, N.M., Desoky, E.S.M., & El-Tahan, A.M. (2021). Control of foliar phytoparasitic nematodes through sustainable natural materials: Current progress and challenges. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 7314–7326.
- Farshadfar, E., & Sutka, J. (2006). Biplot analysis of genotype-environment interaction in durum wheat using the AMMI model. *Acta Agronomica Hungarica*, 54(4), 459–467.
- Ghareeb, R.Y., Alfay, H., Fahmy, A.A., Ali, H.M., & Abdelsalam, N.R. (2020). Utilization of *Cladophora glomerata* extract nanoparticles as eco-nematicide and enhancing the defense responses of tomato plants infected by *Meloidogyne javanica*. *Scientific Reports*, 10, 19968.

- Hamze, H., Mahdi, H., & Mansouri, H. (2021). Screening O-type lines of sugar beet in terms of resistance to rhizoctonia root rot. *Journal of Sugar Beet*, 37(2), 153-162. (In Persian).
- Hasani, M., Hamze, H., & Mansori, H. (2021). 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. *Journal of Crop Breeding*, 13(37), 222-235. (In Persian).
- Hasani, M., Hamze, H., & Mansori, H. (2022). Compatibility and stability of new rhizomania resistant multigerm hybrids in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 0.22034/SAPS.2022.49322.2787.
- Hassani, M., Heidari, B., Dadkhodaie, A., & Stevanato, P. (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.
- ICUMSA (2009). *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis, Methods Book*. Berlin, Bartens.
- Kim, Y.H., & Yang, J.W. (2019). Recent research on enhanced resistance to parasitic nematodes in sweet potato. *Plant Biotechnology Reports*, 13, 559-566.
- Lubova, T.N., Islamgulov, D.R., Ismagilov, K.R., Ismagilov, R.R., Mukhametshin, A.M., & Alimgafarov, R.R. (2018). Economic efficiency of sugar beet production. *Journal of Engineering and Applied Science*, 13, 6565-6569.
- McGrann, G.R., Grimmer, M.K., Mutasa-Göttgens, E.S., & Stevens, M. (2009). Progress towards the understanding and control of sugar beet rhizomania disease. *Molecular Plant Pathology*, 10, 129-141.
- Moradi, F., Safari, H., & Jalilian, A. (2012). Study of genotype×environment interaction for sugar beet monogerm cultivars using AMMI method. *Journal of Sugar Beet*, 1(1), 66-55. (In Persian).
- Moshari, S., Hemati, R., Mahmoudi, S.B., & Pedram, A. (2019). Evaluation of sugar beet commercial cultivars resistance against root rot caused by *R. solani* and *F. oxysporum*. *Journal of Sugar Beet*, 35(2), 121-139. (In Persian).
- Mostafavi, K., Orazizadeh, M.R., & Rajabi, A. (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).
- Mukhtar, T., Arshad Hussain, M., & Zameer Kayani, M. (2013). Biocontrol potential of *Pasteuria penetrans*, *Pochonia chlamydosporia*, *Paecilomyces lilacinus* and *Trichoderma harzianum* against *Meloidogyne incognita* in okra. *Phytopathol Mediterr*, 52, 66-76. Doi: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-11305
- Pavli, O.I., Stevanato, P., Biancardi, E., & Skaracis, G.N. (2011). Achievements and prospects in breeding for rhizomania resistance in sugar beet. *Field Crop Research*, 122, 165-172.
- Rajabi, A., Ahmadi, M., Bazrafshan, M., Hassani, M., & Saremirad, A. (2022). Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes in rhizomania-infected conditions. *Food Science & Nutrition*, 11, 1403-1414.
- Reuther, M., Lang, C., & Grundler, F.M. (2017). Nematode-tolerant sugar beet varieties—resistant or susceptible to the beet cyst nematode *Heterodera schachtii*. *Sugar Industry*, 142, 277-284.
- Rush, C.M., Liu, H.Y., Lewellen, R.T., & Acosta-Leal, R. (2006). The continuing saga of rhizomania of sugar beets in the United State. *Plant Disease*, 90, 4-15.
- Safar, S., Bazrafshan, M., Khoshnami, M., Behrooz, A.A., Hedayati, F., Maleki, M., Mahmoudi, S.B., & Ali Malboobi, M. (2020). Field evaluation for rhizomania resistance of transgenic sugar beet events based on gene silencing. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2, 1-10.
- Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berłowska, J., Dziugan, P., & Piotrowski, J. (2018). Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances*, 8, 3161-3177.
- Turner, S.J., & Subbotin, S.A. (2013). *Cyst nematodes*. In: Plant nematology. 2nd Eds. Perry RN and Moens M. CABI Publishing. Wallingford, Oxfordshire, England. Pp. 109-143.
- Ullah, A., Munir, S., Badshah, S.L., Khan, N., Ghani, L., & Poulson, B.G. (2020). Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. *Molecules*, 25, 5243.
- Wang, Q.X., Yan, D.D., Mao, L.G., Ma, T.T., Liu, P.F., & Wu, Z.F. (2013). Efficacy of 1, 3-dichloropropene plus chloropicrin gelatin capsule formulation for the control of soilborne pests. *Crop Protection*, 48, 24-28.
- Xie, G.H., Cui, H.D., Dong, Y., Wang, X.Q., Li, X.F., & Deng, R.K. (2016). Crop rotation and intercropping with marigold are effective for root-knot nematode (*Meloidogyne* sp.) control in angelica (*Angelica sinensis*) cultivation. *Canadian Journal of Plant Science*, 97, 26-31.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2002). Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605.
- Youssef, N.H., Al-Huqail, A.A., Ali, H.M., Abdelsalam, N.R., & Sabra, M.A. (2020). The role of *Serendipita indica* and *Lactobacilli* mixtures on mitigating mycotoxins and heavy metals' risks of contaminated sewage sludge and its composts. *Scientific Reports*, 10, 15159.