



Evaluation of Yield Potential and Phenotypic and Genetic Relationships of Traits Affecting White Sugar Yield in New Foreign Genotypes of Sugar Beet

Hamze Hamze^{1✉} | Rahim Mohammadian² | Hamed Mansuri³

1. Corresponding Author, Sugar Beet Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran. E-mail: h.hamze@areeo.ac.ir
2. Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: r_mohammadian@areeo.ac.ir
3. Sugar Beet Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran. E-mail: h.mansouri@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: October 07, 2024
Received in revised form:
December 14, 2024
Accepted: December 23, 2024
Published online: June 22,
2025

Keywords:

Biplot,
correlation,
environment,
sodium,
sugar content.

ABSTRACT

To evaluate the phenotypic and genetic relationships of traits affecting white sugar yield, 13 foreign sugar beet genotypes were investigated. Genotypes were assessed using a randomized complete block design with four replications in Karaj and Hamadan stations in the 2022 and 2023 crop years. The results showed that three genotypes F-21374, F-21375, and F-21092 produced the maximum white sugar yield. In two locations, the phenotypic and genetic correlation of white sugar yield with sugar content, white sugar content, alpha amine content, and sugar extraction coefficient was positive and significant. At the same time, it was negative and significant with root sodium and alkalinity content, and molasses sugar percentage. In the Hamadan, root yield, sodium content, and sugar extraction coefficient ($R^2= 89.99$) were the most influential traits of white sugar yield. In the Karaj, sodium content, root yield, and alpha amine content ($R^2= 96.8$) were the most influential traits. In the Hamedan, root yield, sodium content, and sugar extraction coefficient had a positive and significant phenotypic and genetic effect on white sugar yield. Root yield and alpha amine showed a direct positive phenotypic and genetic effect in the Karaj. In contrast, sodium content showed a direct negative phenotypic and genetic effect on white sugar yield. Based on the biplot analysis results, the first two factors explained 78.5% and 88.80% of the total data variance in Hamedan and Karaj, respectively. Two genotypes F-21375 and F-21092 were identified as suitable genotypes, and root performance and sodium content were recognized as the most effective traits.

Cite this article: Hamze, H., Mohammadian, R., & Mansuri, H. (2025). Evaluation of yield potential and phenotypic and genetic relationships of traits affecting white sugar yield in new foreign genotypes of sugar beet. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(2), 105-120. Doi: 10.22059/ijfcs.2024.383180.655104.





انشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شماره الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

ارزیابی پتانسیل عملکرد و روابط فنوتیپی و ژنتیکی صفات مؤثر بر عملکرد شکر سفید در ژنوتیپ‌های خارجی جدید چغندر قند

حمزه حمزه^۱ | رحیم محمدیان^۲ | حامد منصوری^۳

- 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
- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: r_mohammadian@areeo.ac.ir
- بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: h.mansouri@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱ کلیدواژه‌ها: بای‌پلات، سدیم، عیار قند، محیط، همبستگی.	با هدف ارزیابی روابط فنوتیپی و ژنتیکی صفات مؤثر بر عملکرد شکر سفید، ۱۳ ژنوتیپ خارجی جدید چغندر قند مورد بررسی قرار گرفت. ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه‌های کرج و همدان در سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ ارزیابی شدند. نتایج نشان داد سه ژنوتیپ F-21374، F-21375 و F-21092 حداکثر عملکرد شکر سفید را تولید کردند. در دو مکان، همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی عملکرد شکر سفید با عیار قند، درصد شکر سفید، محتوی آلفا آمین و درصد استحصال قند مثبت و معنی‌دار و با محتوی سدیم ریشه، محتوی آلکالیت و درصد قند ملاس منفی و معنی‌دار بود. در همدان، صفات عملکرد ریشه، محتوی سدیم و ضریب استحصال قند ($R^2 = ۸۹/۹۹$) و در کرج محتوی سدیم، عملکرد ریشه و محتوی آلفا آمین ($R^2 = ۹۶/۸$) به عنوان تأثیرگذارترین صفات بر عملکرد شکر سفید شناخته شدند. در همدان، عملکرد ریشه، محتوی سدیم و ضریب استحصال قند به صورت مستقیم اثر فنوتیپی و ژنتیکی مثبت و معنی‌داری بر عملکرد شکر سفید داشتند؛ در حالی که در کرج عملکرد ریشه و آلفا آمین اثر مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی مثبت و محتوی سدیم اثر مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی منفی بر عملکرد شکر سفید نشان دادند. بر اساس نتایج آنالیز بای‌پلات دو عامل اول در همدان و کرج به ترتیب ۷۸/۵ و ۸۸/۸۰ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین کردند. دو ژنوتیپ F-21375 و F-21092 به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب و دو صفت عملکرد ریشه و محتوی سدیم به عنوان تأثیرگذارترین صفات شناخته شدند.

استناد: حمزه، ح.، محمدیان، ر.، و منصوری، ح. (۱۴۰۴). ارزیابی پتانسیل عملکرد و روابط فنوتیپی و ژنتیکی صفات مؤثر بر عملکرد شکر سفید در ژنوتیپ‌های خارجی جدید چغندر قند. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۶(۲)، ۱۰۵-۱۲۰.

Doi: 10.22059/ijfcs.2024.383180.655104



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

چغندر قند یکی از منابع اصلی استحصال شکر بعد از نیشکر است (Monteiro *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2016). میزان تولید سالیانه این محصول ۲۸۷ میلیون تن برآورد شده است (FAO, 2021). محتویات ریشه چغندر قند شامل ۷۵ درصد آب حدود ۲۰-۱۸ درصد قند و پنج درصد تفاله است؛ ذکر این نکته ضروری است که مقدار دقیق قند ریشه این محصول با توجه به نوع رقم و شرایط محیطی رشد محصول از هشت تا ۲۱ درصد متغیر است. فعالیت‌های به‌نژادی در ۲۰۰ سال گذشته منجر به افزایش درصد قند ریشه از هشت درصد به ۱۸ درصد شده است (Dohm *et al.*, 2014).

اصلاح نباتات بر پایه تنوع ژنتیکی استوار شده است. تنوع ژنتیکی از تکامل طبیعی منشاء گرفته است و مهمترین جزء در پایداری نظام‌های بیولوژیکی می‌باشد و سازگاری درازمدت و بقای جمعیت را تضمین می‌کند. تعیین میزان تنوع ژنتیکی در ژرمپلاسِم گیاهی نخستین مرحله جهت شناسایی، حفظ و نگهداری ذخایر توارثی و طراحی برنامه‌های اصلاحی است (Keykhosravi *et al.*, 2017). در برنامه‌های به‌نژادی، گزینش بر اساس ویژگی‌های متعددی انجام می‌گردد که ممکن است در میان آن‌ها ارتباط مثبت یا منفی برقرار باشد؛ لذا روش‌های تجزیه و تحلیلی که بدون از بین بردن مقدار زیادی از اطلاعات مفید، صفات مؤثر بر عملکرد را نمایان کند، دارای اهمیت بسزایی است. آماره‌های چندمتغیره برای تعیین ارتباط میان صفات مختلف استفاده می‌شوند (Acquah *et al.*, 1992).

به‌طور کلی بین اجزای عملکرد روابط پیچیده و معکوسی وجود دارد؛ به‌طوری‌که افزایش یک جزء باعث کاهش جزء یا اجزای دیگر می‌شود. حالت مطلوب آن است که تمام اجزاء در حد بهینه باشند، در غیر این صورت افزایش یک عامل بدون توجه به عامل دیگر، کاهش دیگری را به همراه خواهد داشت. به هر حال، برای افزایش عملکرد بایستی اجزای عملکرد به صورت نسبی و همسو افزایش یابند. در این بین استفاده از همبستگی بین صفات متداول است، اما همبستگی‌ها رابطه علی و معلولی بین صفات را نشان نمی‌دهند، به دلیل اینکه ارتباط را تعدادی از عوامل ناشناخته پدید می‌آورند (Acquah *et al.*, 1992)؛ بنابراین زمانی که به‌نژادگر تعداد زیادی مواد ژنتیکی در اختیار دارد، تعیین روابط بر اساس تجزیه علیت می‌تواند کمک مؤثری برای گزینش سریع و زود هنگام مواد ژنتیکی باشد (Mohammadnia *et al.*, 2006).

تجزیه علیت، رگرسیون جزئی استاندارد شده‌ای است که اثر مستقیم و غیر مستقیم یک متغیر را روی متغیرهای دیگر نشان می‌دهد، همچنین می‌تواند ضریب همبستگی ساده را به اجزای آن که اثرات مستقیم و غیر مستقیم باشد مجزا نماید (Dewey *et al.*, 1959). به‌نژادگران، استفاده از تجزیه مسیر را برای بهبود صفات پیچیده‌ای که انتخاب و اصلاح آن‌ها به‌طور مستقیم مشکل اما از طریق انتخاب غیر مستقیم راحت‌تر است مناسب می‌دانند (Baradaran *et al.*, 2006). البته شرط اصلی استفاده از این روش آن است که انتخاب آن جزء از صفت آسان‌تر از انتخاب صفت اصلی باشد (Montgomery & Peck, 2007).

استفاده از ضرایب همبستگی ژنتیکی نسبت به ضرایب فنوتیپی، در تجزیه علیت ارجح است، زیرا در همبستگی‌های ژنتیکی اثر عوامل خارجی که در ایجاد ارتباط غیر واقعی بین صفات دخالت داشته‌اند، حذف یا به حداقل مقدار خود می‌رسند (Montgomery & Peck, 2007). در مطالعه میرمحمودی و همکاران (Mir Mahmodi *et al.*, 2021) همبستگی عملکرد شکر سفید با عملکرد ریشه، درصد قند خالص و عملکرد قند ناخالص مثبت و معنی‌دار بود، آن‌ها همچنین اظهار داشتند صفات عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص و ضریب استحصال قند به‌صورت مستقیم اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد شکر سفید داشت. صارمی‌راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2022) عنوان کردند که عملکرد ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد قند داشت و به‌عنوان تأثیرگذارترین صفت بر عملکرد قند شناخته شد. در مطالعه حسنی و همکاران (Hasani *et al.*, 2021) عملکرد قند خالص با عملکرد ریشه، عیار قند، عملکرد قند ناخالص، ضریب استحصال قند و درصد قند خالص همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی مثبت و معنی‌دار و با محتوی پتاسیم ریشه و درصد قند ملاس همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. آن‌ها نشان دادند پتاسیم ریشه، عیار قند و نیتروژن مضر به‌عنوان مؤثرترین صفات در توجیه تغییرات عملکرد قند خالص نقش داشتند.

در گزینش ارقام، عملکرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ اما به دلیل تأثیر شرایط مختلف محیطی که همبستگی بین صفات مربوط به عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهند، انتخاب تنها بر مبنای عملکرد ممکن است همراه‌کننده باشد (Babaei *et al.*, 2013)، بنابراین به‌دست‌آوردن اطلاعات مربوط به عملکرد و اجزای آن تحت شرایط خاص محیطی برای افزایش عملکرد ضروری به نظر می‌رسد. همچنین شناخت و انتخاب صفاتی که اثر مثبت روی عملکرد کمی و کیفی دارند، می‌تواند در بهبود عملکرد مؤثر واقع شوند (Ahmadkhansari *et al.*, 2016).

هدف از این تحقیق مقایسه هیبریدهای خارجی جدید و ارزیابی روابط ژنتیکی و فنوتپی بین آنها است. در مطالعات محدودی همبستگی ژنتیکی بین صفات در چغندر قند برآورد شده است، اما روابط علیت ژنتیکی بین صفات مؤثر بر چغندر قند تاکنون برآورد نشده است. باتوجه به اینکه مطالعه حاضر در دو سال و دو مکان اجرا شده است، نتایج تحقیق حاضر می‌تواند ارتباط پیچیده ژنتیکی بین صفات را تا حد قابل اعتمادی نمایان سازد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. اجرای طرح و عملیات زراعی

در این تحقیق ۱۳ ژنوتیپ چغندر قند در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در دو مکان اجرا شد. در این آزمایش ۱۱ رقم خارجی به همراه دو شاهد بر اساس لیست ارائه‌شده از طرف مؤسسه ثبت و گواهی بذر در آزمایش‌های تعیین ارزش زراعی (VCU) استفاده شدند (جدول ۱).

مواد آزمایشی در مراکز تحقیقات استان‌های البرز (کرج) و همدان کشت شدند و شرایط هواشناسی دو منطقه در جدول ۲ ذکر شده است. نتایج خصوصیات خاک محل‌های آزمایشی در جدول ۳ ارائه شده است. کرت‌های آزمایشی به طول هشت متر و عرض ۱/۵ متر در سه خط کشت (فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر) بود. آزمایش در هر دو سال با دستگاه بذرکار سه‌ردیفه چغندر قند (مخصوص کاشت چغندر قند) و هر دو مکان اواسط فروردین کشت شدند، در طول فصل رشد جهت کنترل علف‌های هرز از بتانال پروگرس و جهت کنترل آفات به‌خصوص کارادیرنا و کک در اوایل فصل از آفت‌کش دیازینون و آوانت استفاده شد. برای کنترل بیماری سفیدک در اواخر تیر و اوایل مرداد از سم کالکسین استفاده شد. آبیاری نیز به صورت قطره‌ای (نوار تیپ) در هر دو مکان انجام شد.

جدول ۱. فهرست ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این آزمایش.

Row	Genotype code	Company	Row	Genotype code	Company
1	F-21370	Maribo	8	F-21377	SVH
2	F-21371	Maribo	9	F-21410	Hilleshog
3	F-21372	WHBC	10	F-21411	Hilleshog
4	F-21373	Kuhn & Co	11	F-21412	Hilleshog
5	F-21374	BTS	12	F-20940 (Denzel)	Strube
6	F-21375	KWS	13	F-21092 (Melinda)	
7	F-21376	KWS			

۲-۲. اندازه‌گیری صفات کمی و کیفی ریشه

ریشه‌ها اواخر مهر یا اوایل آبان برداشت شدند. در هنگام برداشت پس از حذف حاشیه‌ها، تعداد ریشه‌های هر کرت برداشت، شمارش و توزین شد. پس از شستشو، توسط دستگاه خودکار خمیر ریشه (پالپ) تهیه و پس از انجماد، در آزمایشگاه تکنولوژی قند مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند کرج از حالت انجماد خارج و تجزیه کیفی نمونه‌ها انجام شد. در این بررسی صفات عملکرد ریشه و عیار قند اندازه‌گیری و درصد قند خالص برآورد و عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص محاسبه شد.

جهت اندازه‌گیری درصد قند برای هر نمونه مقدار ۲۰ گرم خمیر ریشه‌های برداشت‌شده با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات‌سرب (مخلوطی از سه قسمت استات سرب و یک قسمت اکسید سرب) در همزن ریخته و به مدت سه دقیقه مخلوط شدند که پس از منتقل کردن مخلوط حاصله به قیف صافی، شربت زلالی حاصل شد. شربت به‌دست‌آمده جهت تجزیه در دستگاه بتالیزر مورد استفاده قرار گرفت. پلاریمتر بر مبنای میزان انحراف نور پلاریزه، میزان قند موجود در هر نمونه را نشان داد که به‌عنوان درصد قند کل یا ناخالص برای هر کرت ثبت شد. با کسر میزان قند ملاس از قند کل، میزان قند خالص یا قند قابل استحصال برای هر نمونه به‌دست آمد (Cooke & Scott, 1993)

جدول ۲. مشخصات جغرافیایی، دما و بارندگی ایستگاه‌های تحقیقاتی در دو سال مورد بررسی.

Month	Average temperature (°C)				Rainfall (mm)			
	Karaj 2022	Karaj 2023	Hamadan 2022	Hamadan 2023	Karaj 2022	Karaj 2023	Hamadan 2022	Hamadan 2023
January	4.20	5.10	10.00	6.00	57.20	28.10	42.80	26.12
February	7.50	9.90	8.20	7.20	1.40	84.60	20.60	32.01
March	12.90	13.30	14.50	10.50	101.60	25.40	25.9	31.52
April	15.20	22.00	15.50	13.50	32.00	85.40	6.61	10.12
May	24.30	25.20	20.10	24.10	11.70	20.90	7.30	3.00
June	29.50	31.90	24.52	25.50	0.00	0.00	1.6	12.18
July	31.10	32.20	32.00	33.00	0.00	0.30	0.00	0.00
August	28.70	30.90	31.70	30.50	0.00	0.00	1.81	0.00
September	25.70	28.20	23.20	25.60	30.00	20.30	22.40	10.62
October	18.30	18.40	16.25	18.50	75.20	8.40	46.00	32.18
November	11.40	11.00	10.55	9.50	11.00	64.40	15.70	13.20
December	5.00	7.80	8.20	7.18	28.40	54.80	25.00	24.15

جدول ۳. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مکان‌های آزمایشی در عمق ۰-۳۰.

Stations	Year	pH	EC ds.m ⁻¹	(%) C.O	NH ₄ ppm	NO ₃ ppm	P ppm	K ppm	Clay %	Silt%	Sand%	Texture
Karaj	1401	7.15	0.95	1.35	4.62	5.54	2.66	503	29.4	56	12.61	Silty Clay loam
	1402	6.76	1.31	0.77	-	-	8.19	3.28	34.3	39.1	26.7	Silty loam
Hamadan	1401	7.93	6.14	0.45	-	-	47.6	499	15.5	27.5	53	Silty loam
	1402	8.20	1.60	0.43	-	-	14.2	3.52	26	21	53	Silty loam

برای تعیین عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید، عملکرد ریشه در هر کرت به درصد شکر ناخالص و درصد شکر خالص مربوط به همان کرت ضرب و سپس مقادیر به‌دست‌آمده به‌صورت عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید در هکتار ثبت شد. دیگر صفات مورد بررسی بر اساس روابط ۱ تا ۳ برآورد شدند.

(رابطه ۱) قند ملاس - درصد قند = درصد قند قابل استحصال

(رابطه ۲) درصد قند قابل استحصال × عملکرد ریشه (تن در هکتار) = عملکرد قند خالص

(رابطه ۳) $100 \times \frac{\text{درصد قند خالص یا قابل استحصال}}{\text{درصد قند ناخالص یا کل}} = \text{ضریب استحصال قند}$

۲-۳. تجزیه و تحلیل آماری

پس از برقراری مفروضات تجزیه واریانس، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 تجزیه و تحلیل شدند. جهت برآورد ضرایب همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی از روش سینگ و چاودوری (Singh & Chaudhury, 1985) (روابط ۴ و ۵) و بسته Variability نرم‌افزار R استفاده شد.

$$r_{pxy} = \frac{pcov_{xy}}{\sqrt{\sigma_{px}^2 \times \sigma_{py}^2}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$r_{gxy} = \frac{g\ cov_{xy}}{\sqrt{\sigma_{gx}^2 \times \sigma_{gy}^2}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

همبستگی فنوتیپی بین دو صفت X و Y r_{pxy}

همبستگی ژنتیکی بین دو صفت X و Y r_{gxy}

کوواریانس فنوتیپی و ژنتیکی بین دو صفت X و Y $Pcov(x,y)$ و $Gcov(x,y)$

کوواریانس فنوتیپی و ژنتیکی بین دو صفت X و Y $Pcov(x,y)$ و $Gcov(x,y)$

واریانس فنوتیپی دو صفت X و Y σ_{px}^2 و σ_{py}^2

واریانس ژنتیکی دو صفت X و Y σ_{gx}^2 و σ_{gy}^2

تجزیه علیت بر اساس روش دی‌وی و لیو (Dewey & Lu's 1959) انجام شد، در این آزمایش عملکرد شکر سفید به‌عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. برای انجام تجزیه علیت از بسته Lavaan همچنین جهت انجام تحلیل عاملی و بای‌پلات از بسته Factoextra در نرم‌افزار R بهره برده شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج آنالیز واریانس مرکب داده‌ها نشان داد در همدان اختلاف بین سال‌ها از نظر عملکرد ریشه، عیار قند، عملکرد شکر، درصد قند سفید و عملکرد شکر سفید ($p < 0.01$) معنی‌دار بود، بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات اختلاف معنی‌دار ($p < 0.01$) مشاهده شد. در این مکان عملکرد ریشه، عیار قند و درصد قند سفید تحت تأثیر برهم‌کنش سال در ژنوتیپ ($p < 0.01$) قرار گرفتند. در کرج اثر سال بر عیار قند، عملکرد شکر ($p < 0.01$) و درصد قند سفید ($p < 0.05$) معنی‌دار بود. اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در این مکان نیز از نظر هر پنج صفت مورد بررسی، معنی‌دار بود. عملکرد ریشه ($p < 0.05$)، عیار قند و درصد قند سفید ($p < 0.01$) تحت تأثیر اثر متقابل سال در ژنوتیپ بودند (جدول ۴).

۳-۱. مکان همدان

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو سال نشان داد ژنوتیپ‌های F-21375، F-21411 و F-21092 به‌ترتیب با متوسط ۸۵/۳۳، ۸۴/۴۵ و ۸۴/۲۳ تن در هکتار بالاترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص دادند، هر چند اختلاف بین ژنوتیپ‌های مذکور با ژنوتیپ‌های شماره F-21410، F-21374 و F-21372 معنی‌دار نبود. در این مطالعه ژنوتیپ F-21377 با متوسط ۶۵/۱۳ حداقل عملکرد ریشه را داشت، اختلاف بین این ژنوتیپ با ژنوتیپ‌های F-21371 و F-21370 از نظر عملکرد ریشه معنی‌دار نبود (جدول ۵). نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های F-21376، F-21092 و F-21374 به‌ترتیب با متوسط ۱۹/۱۳، ۱۹/۱۲ و ۱۹/۰۱ درصد حداکثر عیار قند را به خود اختصاص دادند، اختلاف بین ژنوتیپ‌های مذکور با دو ژنوتیپ شماره F-21375 و F-21370 معنی‌دار نبود، حداقل عیار قند نیز با متوسط ۱۴/۴۸ درصد برای ژنوتیپ شماره F-21371 ثبت شد (جدول ۵). در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی اگرچه ژنوتیپ شماره F-21092 با متوسط ۱۶/۱۷ تن در هکتار حداکثر عملکرد شکر ناخالص را داشت؛ اما اختلاف بین این ژنوتیپ با ژنوتیپ‌های شماره F-21375، F-21374 و F-21411 معنی‌دار نبود. در این تحقیق دو ژنوتیپ F-21371 و F-21377 به‌ترتیب با متوسط ۱۰/۰۷ و ۱۰/۴۸ تن در هکتار کمترین عملکرد شکر ناخالص را تولید کردند (جدول ۵). نتایج نشان داد ژنوتیپ‌های F-21376، F-21092 و F-21374 به‌ترتیب با متوسط ۱۶/۷۱، ۱۶/۵۰ و ۱۶/۴۸ درصد بالاترین درصد شکر سفید را به خود اختصاص دادند، اختلاف بین ژنوتیپ‌های مذکور با دو ژنوتیپ شماره F-21375 و F-21370 معنی‌دار نبود، حداقل عیار قند نیز با متوسط ۱۰/۹۸ درصد برای ژنوتیپ شماره F-21371 ثبت شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد ژنوتیپ F-21092 با متوسط ۱۳/۹۶ تن در هکتار بالاترین عملکرد شکر سفید را تولید کرد، اختلاف

بین ژنوتیپ مذکور با دو ژنوتیپ شماره F-21374 و F-21375 قابل توجه نبود. در این تحقیق دو ژنوتیپ F-21371 و F-21377 به ترتیب با متوسط ۷/۷۴ و ۸/۵۴ تن در هکتار حداقل عملکرد شکر سفید را تولید کردند (جدول ۵).

۳-۲. مکان البرز (کرج)

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی ژنوتیپ F-21371 با متوسط ۱۹/۰۴ تن در هکتار حداکثر عملکرد ریشه را به خود اختصاص داد و اختلاف بین این ژنوتیپ با ژنوتیپ‌های F-21410 و F-21372 معنی دار نبود. کمترین عملکرد ریشه نیز با متوسط ۸۴/۲۷ و ۹۰/۶۹ تن در هکتار به دو ژنوتیپ F-21373 و F-21370 اختصاص یافت (جدول ۱). مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد دو ژنوتیپ F-21376 و F-21370 به ترتیب با متوسط ۱۶/۸۷ و ۱۶/۵۵ درصد حداکثر و ژنوتیپ F-21373 با متوسط ۱۳/۲۹ درصد حداقل عیار قند را به خود اختصاص داد.

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی F-21375، F-21376، F-21371 و F-21092 به ترتیب با متوسط ۱۷/۱۰، ۱۶/۸۸، ۱۶/۶۸ و ۱۶/۶۷ تن در هکتار بالاترین عملکرد قند ناخالص را به خود اختصاص دادند؛ درحالی که کمترین عملکرد شکر سفید با متوسط ۱۱/۱۷ درصد برای ژنوتیپ F-21373 ثبت شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد شکر سفید نشان داد دو ژنوتیپ F-21376 و F-21370 به ترتیب با متوسط ۱۴/۴۲ و ۱۴/۱۲ درصد حداکثر و ژنوتیپ‌های F-21373 و F-21371 به ترتیب با متوسط ۹/۸۴ و ۱۰/۶۱ درصد حداقل درصد شکر سفید را به خود اختصاص دادند. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان داد اگرچه ژنوتیپ F-21376 با متوسط ۱۴/۴۲ تن در هکتار حداکثر درصد شکر سفید را به خود اختصاص داد؛ اما اختلاف بین این ژنوتیپ با ژنوتیپ‌های F-21375، F-21092، F-21374 و F-20940 معنی دار نبود. کمترین درصد شکر سفید در این تحقیق برای ژنوتیپ F-21373 با متوسط ۸/۲۴ درصد ثبت شد (جدول ۵).

در هر دو مکان آزمایش دو ژنوتیپ F-21375 و F-21092 از خصوصیات کمی و کیفی قابل قبولی برخوردار بودند، به نظر می‌رسد این دو ژنوتیپ از پتانسیل عملکرد بالایی برای کشت در این مناطق برخوردار باشند، تنوع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی برای توسعه واریته‌های جدید با پتانسیل عملکرد بالا و سازگاری در شرایط مختلف آب و هوایی حیاتی است (Rashad & Sarker, 2020; Faysal et al., 2022). مطالعات مختلف وجود تنوع ژنتیکی را در بین ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند ثبت کرده‌اند (Mohammadian et al., 2024; Ebmeier et al., 2021; Sadeghzadeh Hemayati et al., 2024).

۳-۳. روابط بین صفات

در همدان در مجموع دو سال همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی عملکرد شکر سفید با عملکرد ریشه، عیار قند، عملکرد شکر، درصد شکر سفید، محتوی آلفا آمین و ضریب استحصال قند مثبت و معنی دار ($p < 0.01$) بود، درحالی که همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی این صفت با محتوی سدیم ریشه، آلکالیت ریشه و درصد قند ملاس منفی و معنی دار ($p < 0.01$) بود. در این بررسی بالاترین ضرایب مثبت فنوتیپی و ژنتیکی بین صفات عملکرد شکر سفید با عملکرد شکر ثبت شد، درحالی که بالاترین ضرایب منفی فنوتیپی و ژنتیکی بین صفات ضریب استحصال قند و درصد قند ملاس مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۴. آنالیز واریانس مرکب عملکرد و خصوصیات کیفی ژنوتیپ‌های چغندر قند در همدان و کرج.

SOV	Df	Root yield (t.ha ⁻¹)		Sugar content (%)		Sugar yield (t.ha ⁻¹)		White sugar content (%)		White sugar yield (t.ha ⁻¹)	
		Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj
Year (Y)	1	7696.43**	43.95 ^{ns}	182.71**	10.12**	615.46**	18.22**	195.85**	14.17*	508.64**	21.46 ^{ns}
Y × Replication	6	177.61	271.18	1.309	0.01	9.50	5.97	2.15	0.58	8.32	7.60
Genotype(G)	12	399.45**	681.38**	18.93**	7.91**	30.15**	18.81**	27.96**	14.19**	30.04**	18.55**
Y × G	12	254.02**	150.02*	3.00**	1.52**	5.32 ^{ns}	2.95 ^{ns}	4.24**	3.12**	4.17 ^{ns}	3.07 ^{ns}
Error	72	111.15	76.92	1.180	0.48	3.65	2.41	1.699	0.73	2.88	2.05
CV%	%	14.08	8.42	6.37	4.59	14.80	9.86	9.22	7.07	15.81	11.41

^{ns}, * and **: non-significant, significant at 1% and 5% of probability levels.

جدول ۵. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های چغندر قند مورد بررسی از نظر عملکرد و خصوصیات کیفی در دو مکان همدان و کرج.

Genotype	Root yield (t.ha ⁻¹)		Sugar content (%)		Sugar yield (t.ha ⁻¹)		White sugar content (%)		White sugar yield (t.ha ⁻¹)	
	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj	Hamadan	Karaj
F-21370	68.38de	90.69e	18.16ab	16.55a	12.53def	15.02bc	15.71ab	14.12a	10.84cd	12.81bc
F-21371	67.64de	119.04a	14.48e	14.05e	10.07h	16.68a	10.98e	10.61fg	7.74g	12.58bcd
F-21372	75.64abcd	111.33ab	15.90d	14.36de	12.17defg	15.95abc	12.63d	10.85f	9.69def	12.05cd
F-21373	72.15bcde	84.27e	15.91d	13.29f	11.51efgh	11.17d	12.84d	9.84g	9.29defg	8.24e
F-21374	79.40abc	101.63cd	19.01a	15.81b	15.11ab	16.23ab	16.48a	12.94b	13.10ab	13.36abc
F-21375	84.45a	109.69bc	18.21ab	16.87a	15.38ab	17.10a	15.44ab	12.53bcd	13.03ab	13.75ab
F-21376	71.25bcde	100.09d	19.13a	15.58bc	13.66bcd	16.88a	16.71a	14.42a	11.93bc	14.42a
F-21377	65.13e	106.75bcd	15.80d	14.92cd	10.48gh	15.94abc	12.83d	11.99cde	8.54fg	12.82bc
F-21410	79.94ab	112.78ab	16.01d	14.46de	13.03cde	16.26ab	12.72d	11.32ef	10.43cde	12.72bc
F-21411	85.3a	99.86d	16.8cd	14.6de	14.5abc	14.6c	13.7cd	11.3ef	11.8bc	11.2d
F-21412	69.1cde	107.45bcd	15.8d	14.9cd	11.0fgh	16.0abc	12.6d	11.7de	8.7efg	12.5bcd
F-20940	70.3bcde	104.09bcd	17.3bc	15.4bc	12.2defg	16.0abc	14.5bc	12.6bc	10.3cde	13.2abc
F-21092	84.2a	107.06bcd	19.1a	15.5bc	16.1a	16.6a	16.5a	12.7bc	13.9a	13.6ab

Means in each column, followed by a similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level.

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی اعداد بالا مربوط به همبستگی فنوتیپی (p) و اعداد پایین مربوط به همبستگی ژنتیکی (g) در دو سال در مکان همدان.

Traits		RY	SC	SY	WSC	WSY	Na	K	N	Alc	Pur	Ms
Root yield (RY)	p	1										
	g	1										
Sugar content (SC)	p	0.31*										
	g	0.04 ^{ns}										
Sugar yield (SY)	p	0.84**	0.75**									
	g	0.87**	0.85**									
White sugar content (WSC)	p	0.26 ^{ns}	0.99**	0.72**								
	g	0.04 ^{ns}	0.99**	0.81**								
White sugar yield (WSY)	p	0.75**	0.85**	0.98**	0.82**							
	g	0.79**	0.92**	0.98**	0.89**							
Sodium (Na)	p	-0.16 ^{ns}	-0.88**	-0.58**	-0.90**	-0.69**						
	g	-0.22 ^{ns}	-0.88**	-0.61**	-0.90**	-0.71**						
Potassium (K)	p	0.14 ^{ns}	-0.30*	-0.09 ^{ns}	-0.31*	-0.16 ^{ns}	0.02 ^{ns}					
	g	0.05 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.27 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.08 ^{ns}					
Alpha amine (N)	p	0.48**	0.82**	0.77**	0.79**	0.81**	-0.62**	-0.32*				
	g	0.67**	0.90**	0.90**	0.88**	0.93**	-0.64**	-0.05 ^{ns}				
Alkalinity (Alc)	p	-0.35*	-0.92**	-0.74**	-0.93**	-0.82**	0.84**	0.34*	-0.89**			
	g	-0.04 ^{ns}	-0.99**	-0.83**	-0.98**	-0.90**	0.84**	0.24 ^{ns}	-0.94**			
Sugar extraction coefficient (Pur)	p	0.16 ^{ns}	0.95**	0.63**	0.97**	0.74**	-0.95**	-0.28*	0.71**	-0.91**		
	g	0.27 ^{ns}	0.96**	0.69**	0.98**	0.79**	-0.96**	-0.17 ^{ns}	0.79**	-0.94**		
Molasses (Ms)	p	-0.06 ^{ns}	-0.90**	-0.53**	-0.93**	-0.66**	0.94**	0.34*	-0.64**	0.87**	-0.98**	1
	g	-0.14 ^{ns}	-0.93**	-0.60**	-0.95**	-0.71**	0.96**	0.17 ^{ns}	-0.73**	0.90**	-0.99**	1

^{ns}, * and **: non-significant, significant at 1% and 5% of probability levels

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی اعداد بالا مربوط به همبستگی فنوتیپی (p) و اعداد پایین مربوط به همبستگی ژنتیکی (g) در دو سال در مکان کرج.

Traits		RY	SC	SY	WSC	WSY	Na	K	N	Alc	Pur	Ms
Root yield (RY)	p	1										
	g	1										
Sugar content (SC)	p	-0.08 ^{ns}										
	g	-0.15 ^{ns}										
Sugar yield (SY)	p	0.81 **	0.51 **									
	g	0.74 **	0.24 ^{ns}									
White sugar content (WSC)	p	-0.11 ^{ns}	0.98 **	0.47 **								
	g	-0.20 ^{ns}	0.99 **	0.93 **								
White sugar yield (WSY)	p	0.59 **	0.72 **	0.94 **	0.72 **							
	g	0.16 ^{ns}	0.79 **	0.19 ^{ns}	0.76 **							
Sodium (Na)	p	0.15 ^{ns}	-0.85 **	-0.36 **	-0.92 **	-0.64 **						
	g	0.25 ^{ns}	-0.95 **	-0.12 ^{ns}	-0.96 **	-0.71 **						
Potassium (K)	p	-0.01 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.12 ^{ns}	-0.18 ^{ns}					
	g	0.05 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.22 ^{ns}	-0.15 ^{ns}					
Alpha amine (N)	p	0.26 ^{ns}	0.40 **	0.47 **	0.32 *	0.45 **	-0.15 ^{ns}	-0.12 ^{ns}				
	g	0.64 **	0.15 ^{ns}	0.90 **	0.18 ^{ns}	0.86 **	-0.18 ^{ns}	-0.30 ^{ns}				
Alkalinity (Alc)	p	-0.31 *	-0.67 **	-0.66 **	-0.63 **	-0.72 **	0.49 **	0.13 ^{ns}	-0.73 **			
	g	-0.58 **	-0.76 **	-1.0 **	-0.72 **	-1.03 **	0.63 **	0.01 ^{ns}	0.91 **			
Sugar extraction coefficient (Pur)	p	-0.13 ^{ns}	0.91 **	0.42 **	0.96 **	0.68 **	-0.97 **	0.28 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.57 **		
	g	-0.22 ^{ns}	0.98 **	0.16 ^{ns}	0.99 **	0.74 **	-0.98 **	0.23 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.70 **		
Molasses (Ms)	p	0.18 ^{ns}	-0.78 **	-0.30 *	-0.88 **	-0.58 **	0.96 **	0.13 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.42 **	-0.96 **	1
	g	0.13 ^{ns}	-0.97 **	-0.16 ^{ns}	-0.98 **	-0.66 **	0.99 **	-0.23 ^{ns}	-0.39 ^{ns}	0.61 **	0.99 **	1

^{ns}, * and **: non-significant, significant at 1% and 5% of probability level.

در کرج همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی عملکرد شکر سفید با عیار قند، درصد شکر سفید، محتوی آلفا آمین و درصد استحصال قند مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی عملکرد شکر سفید با محتوی سدیم ریشه، محتوی آلکالیت و درصد قند ملاس منفی و معنی‌دار بود. در این تحقیق همبستگی فنوتیپی عملکرد شکر سفید با عملکرد ریشه و عملکرد شکر مثبت و معنی‌دار بود. در کرج بالاترین همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی مثبت و معنی‌دار بین درصد قند سفید و درصد استحصال قند دیده شد، کمترین مقادیر مذکور نیز بین صفات درصد استحصال قند با محتوی سدیم و درصد قند ملاس وجود داشت (جدول ۷).

همانطور که ذکر شد در هر دو مکان ارتباط همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی عملکرد شکر سفید با عیار قند، درصد شکر سفید، محتوی آلفا آمین و درصد استحصال قند مثبت و معنی‌دار بود. با توجه به اینکه صفات مذکور دارای جزء مشترک درصد شکر سفید با عملکرد شکر سفید هستند، وجود چنین ارتباطی دور از انتظار نبود. همچنین در هر دو مکان همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی بین محتوی سدیم ریشه، محتوی آلکالیت و درصد قند ملاس منفی و معنی‌دار بودند. صفات مذکور جزء ناخالصی‌های ریشه هستند و اثر منفی بر درصد شکر سفید و درصد استحصال قند می‌گذارند (وجود همبستگی منفی بین محتوی سدیم ریشه، محتوی آلکالیت و درصد قند ملاس با درصد شکر سفید دلیل بر این ادعا است) که در نهایت موجب کاهش عملکرد شکر سفید خواهند شد. همچنین می‌توان اظهار داشت شرایط محیطی قادر به اثرگذاری قابل توجه بر این ارتباطات نبوده است.

در این بررسی قبل از انجام آنالیز رگرسیون صفات عیار قند، درصد شکر سفید، عملکرد شکر به دلیل پدیده همخطی چندگانه‌هاز مدل حذف شده و آنالیز با دیگر صفات باقیمانده انجام شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام (جدول آورده نشده است) بر اساس صفت عملکرد قند خالص به عنوان متغیر وابسته نشان داد در همدان صفات عملکرد ریشه، محتوی سدیم و ضریب استحصال قند، با توجه ۸۹/۹۹ درصد از تغییرات عملکرد قند خالص به عنوان مؤثرترین صفات در توجیه عملکرد قند خالص شناسایی شدند. چنانچه عملکرد قند خالص (Y) به عنوان متغیر وابسته و عملکرد ریشه (X1)، محتوی سدیم ریشه (X2) و ضریب استحصال قند (X3) به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شوند معادله خط رگرسیون به صورت زیر پردازش خواهد شد.

$$Y = -39.0 + 18.16 X1 + 0.44 X2 + 0.41 X3$$

در کرج سه صفت محتوی سدیم، عملکرد ریشه و محتوی آلفا آمین به ترتیب با تبیین ۶۴/۰، ۳۱/۶ و ۱/۲ درصد (در مجموع ۹۶/۸ درصد) به عنوان تأثیرگذارترین صفات بر عملکرد شکر سفید شناخته شدند. با در نظر گرفتن صفات عملکرد شکر سفید، محتوی سدیم، عملکرد ریشه و محتوی آلفا آمین به ترتیب به Y، X1، X2 و X3 معادله خط رگرسیون به صورت زیر پردازش شد.

$$Y = 5.1 - 58.06 X1 + 0.10 X2 + 0.62 X3$$

در این بررسی تجزیه علیت فنوتیپی و ژنتیکی بر اساس صفات باقیمانده در مدل رگرسیون گام‌به‌گام به عنوان متغیر وابسته و عملکرد شکر سفید به عنوان متغیر مستقل انجام شد.

تجزیه علیت (جدول ۸) بر اساس صفات باقیمانده در مدل در همدان (عملکرد ریشه، محتوی سدیم و ضریب استحصال قند) نشان داد هر سه صفت عملکرد ریشه، محتوی سدیم و ضریب استحصال قند به صورت مستقیم اثر فنوتیپی و ژنتیکی مثبت و معنی‌دار بر عملکرد شکر سفید داشتند. نتایج نشان داد عملکرد ریشه از طریق افزایش محتوی سدیم ریشه اثر غیر مستقیم منفی و از طریق افزایش ضریب استحصال قند اثر غیر مستقیم مثبت بر عملکرد شکر سفید داشت. اگرچه محتوی سدیم ریشه بر عملکرد شکر سفید به طور مستقیم اثر داشت؛ اما به صورت غیر مستقیم و از طریق کاهش عملکرد ریشه و ضریب استحصال قند، عملکرد شکر سفید را کاهش داد. در نهایت ضریب استحصال قند از طریق عملکرد ریشه به صورت فنوتیپی و ژنتیکی اثر مثبت و از طریق محتوی سدیم ریشه اثر منفی بر عملکرد شکر سفید نشان داد.

در کرج (جدول ۹) عملکرد ریشه و آلفا آمین اثر مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی بر عملکرد شکر سفید نشان دادند؛ در حالی که اثر مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی محتوی سدیم ریشه بر عملکرد شکر سفید منفی بود. محتوی سدیم از طریق افزایش عملکرد ریشه اثر غیر مستقیم مثبت و از طریق کاهش محتوی آلفا آمین اثر غیر مستقیم منفی فنوتیپی و ژنتیکی بر عملکرد شکر سفید نشان داد. عملکرد

ریشه از طریق محتوی آلفا آمین اثر غیر مستقیم مثبت و از طریق محتوی سدیم اثر غیر مستقیم فنوتیپی و ژنتیکی منفی بر عملکرد شکر سفید نشان داد. در نهایت محتوی آلفا آمین هم به صورت مستقیم و هم غیر مستقیم از طریق عملکرد ریشه و سدیم اثر مثبت فنوتیپی و ژنتیکی بر عملکرد شکر سفید داشت.

در مطالعه عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2014) ضرایب همبستگی ژنتیکی عملکرد قند خالص با عملکرد ریشه، وزن خشک برگ، درصد قند خالص، عملکرد قند ناخالص و درصد استحصال قند مثبت و معنی‌دار بود که همسو با نتایج تحقیق حاضر است. در مطالعه نبی‌زاده و فتوحی (Nabizadeh & Fotohi, 2018) عملکرد قند ناخالص و درصد قند ناخالص اثر مستقیم مثبت و معنی‌دار و درصد قند ملاس اثر مستقیم منفی و معنی‌دار بر عملکرد قند خالص داشتند. حمیدی و همکاران (Hamidi *et al.*, 2020) نشان دادند همبستگی فنوتیپی عملکرد شکر سفید با عملکرد ریشه، درصد قند، درصد قند خالص، و ضریب استحصال شکر مثبت و معنی‌دار بود؛ در حالی که صفت مذکور با محتوی سدیم، پتاسیم، ضریب قلیابیت و درصد قند ملاس منفی و معنی‌دار بود. در تحقیقی روی ارقام چغندر قند گزارش شد عملکرد قند خالص با عملکرد ریشه، عیار قند، عملکرد قند ناخالص، ضریب استحصال قند و درصد قند خالص همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی مثبت و معنی‌دار و با محتوی پتاسیم ریشه و درصد قند ملاس همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. همچنین پتاسیم ریشه، عیار قند و نیتروژن مضره به‌عنوان مؤثرترین صفات در توجیه تغییرات عملکرد قند خالص بر اساس نتایج تجزیه علیت معرفی شدند (Hasani *et al.*, 2021). در مطالعه صارمی‌راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2022)، ضریب همبستگی عملکرد ریشه با عملکرد قند مثبت و معنی‌دار، همچنین عملکرد ریشه بیشترین اثر مستقیم مثبت و معنی‌دار را بر عملکرد شکر داشت. در مطالعه برادران فیروزآبادی و همکاران (Baradaran Firouzabadi *et al.*, 2011) صفاتی نظیر عیار قند، عملکرد قند و درصد قند ملاس به‌صورت مستقیم عملکرد شکر سفید را تحت تأثیر قرار دادند. در مطالعه غفاری و همکاران (Ghaffari *et al.*, 2020) صفات عملکرد ریشه و عیار قند به‌عنوان تأثیرگذارترین صفات بر عملکرد شکر سفید معرفی شدند. حمیدی و همکاران (Hamidi *et al.*, 2023) نشان دادند عملکرد قند ناخالص بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد قند خالص داشت که همسو با نتایج مطالعه حاضر است.

۳-۴. بای‌پلات

بر اساس نتایج آنالیز بای‌پلات در همدان دو عامل اول در مجموع ۷۸/۵ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین کردند (شکل ۱). در این بررسی، صفات در سه ناحیه بای‌پلات و ۱۳ ژنوتیپ مورد بررسی در چهار ناحیه بای‌پلات واقع شدند، بر این اساس در ناحیه یک بای‌پلات (بالا سمت راست) صفات درصد استحصال قند، درصد شکر سفید و عیار قند قرار داشت، قرار گرفتن این صفات در کنار یکدیگر بیانگر وجود ارتباط نزدیک بین آنها است، همچنین در این ناحیه از بای‌پلات ژنوتیپ‌های F-20940، F-21374، F-21376 و F-21370 قرار گرفتند، با توجه به قرار گرفتن این ژنوتیپ‌ها در این ناحیه از بای‌پلات می‌توان اظهار داشت این ژنوتیپ‌ها از درصد استحصال قند، درصد شکر سفید و عیار قند بالاتری در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. در ناحیه دوم بای‌پلات (بالا سمت چپ) ژنوتیپ‌های F-21377، F-21412، F-21371 و F-21373 قرار داشتند. اگرچه هیچ صفتی در ناحیه دو بای‌پلات واقع نبود؛ اما ژنوتیپ‌های واقع در این ناحیه در جهت متضاد صفات محتوی آلفا آمین، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و عملکرد ریشه قرار گرفتند که نشان‌دهنده پایین بودن مقادیر صفات مذکور در ژنوتیپ‌های واقع در بای‌پلات ناحیه دو بود. در ناحیه سوم بای‌پلات (پایین سمت راست) ژنوتیپ‌های F-21092، F-21375 و F-21411 در مجاورت صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا آمین قرار داشتند. واقع بودن ژنوتیپ‌های مذکور در این ناحیه بیانگر بالا بودن صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا آمین در این ژنوتیپ‌ها است. در نهایت، در ناحیه چهار بای‌پلات (پایین سمت چپ) دو ژنوتیپ F-21410 و F-21372 همسو با بردار صفات آلکالیت، محتوی سدیم و درصد قند ملاس و خلاف جهت بردار صفات درصد استحصال قند، درصد شکر سفید و عیار قند واقع بودند؛ می‌توان اظهار داشت دو ژنوتیپ مذکور از محتوی آلکالیت، محتوی سدیم و درصد قند ملاس بالا و درصد استحصال قند، درصد شکر سفید و عیار قند کمی در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند.

در کرج مسئول ۸۸/۵۰ درصد از کل تغییرات داده‌ها دو عامل اول بودند، در این مکان ژنوتیپ‌ها و صفات مورد بررسی در چهار ناحیه از بای‌پلات پراکنده شدند (شکل ۲). در ناحیه اول بای‌پلات (بالا سمت راست) ژنوتیپ‌های F-21370، F-21376، F-20940 و F-21377 همسو با جهت بردار صفات درصد استحصال قند، عیار قند، درصد شکر سفید و محتوی پتاسیم قرار داشتند. قرار گرفتن این ژنوتیپ‌ها و صفات در مجاورت یکدیگر حاکی از ارتباط نزدیک این صفات و ژنوتیپ‌ها با یکدیگر است. در ناحیه دوم بای‌پلات (بالا سمت چپ) ژنوتیپ F-21373 و صفات محتوی آلكالیت قرار داشت؛ ژنوتیپ مذکور در خلاف جهت بردار صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا آمین قرار داشت که بیانگر بالا بودن محتوی آلكالیت و پایین بودن مقادیر عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا آمین در این ژنوتیپ بود. در ناحیه سوم بای‌پلات (پایین سمت راست) ژنوتیپ‌های F-21374، F-21092 و F-21375 قرار داشتند، این ژنوتیپ‌ها هم‌جهت با بردار صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا و خلاف جهت صفت آلكالیت قرار داشتند.

جدول ۸. تجزیه علیت صفات مؤثر بر عملکرد قند خالص در مکان همدان اعداد روی قطر اثرات مستقیم فنوتیپی (اعداد بالا) و ژنتیکی (اعداد پایین) اعداد خارج قطر اثرات غیر مستقیم فنوتیپی (اعداد بالا) و ژنتیکی (اعداد پایین).

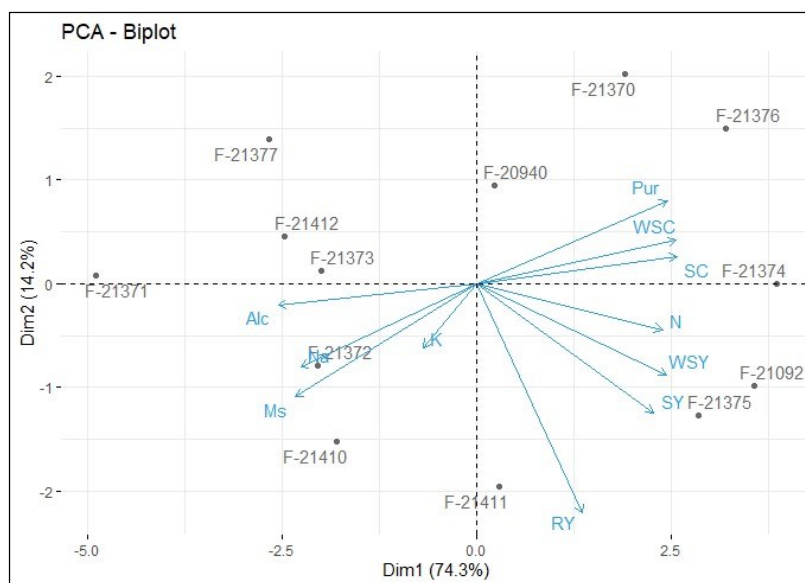
Traits		RY	NA	PUR	Correlate
Root yield (RY)	p	<u>0.64</u>	-0.03	0.14	0.75
	g	<u>0.60</u>	-0.07	0.26	0.79
	e	0.04	0.04	-0.12	-0.04
Sodium (Na)	p	-0.10	<u>0.23</u>	-0.82	-0.69
	g	-0.13	<u>0.34</u>	-0.92	-0.71
	e	0.03	-0.11	0.1	0.02
Sugar extraction coefficient (Pur)	p	0.10	-0.22	<u>0.86</u>	0.74
	g	0.16	-0.32	<u>0.95</u>	0.79
	e	-0.06	0.1	-0.09	-0.05
g Residual= 0.003		p Residual=0.0263			

جدول ۹. تجزیه علیت صفات مؤثر بر عملکرد قند خالص در مکان کرج اعداد روی قطر اثرات مستقیم فنوتیپی (اعداد بالا) و ژنتیکی (اعداد پایین) اعداد خارج قطر اثرات غیر مستقیم فنوتیپی (اعداد بالا) و ژنتیکی (اعداد پایین).

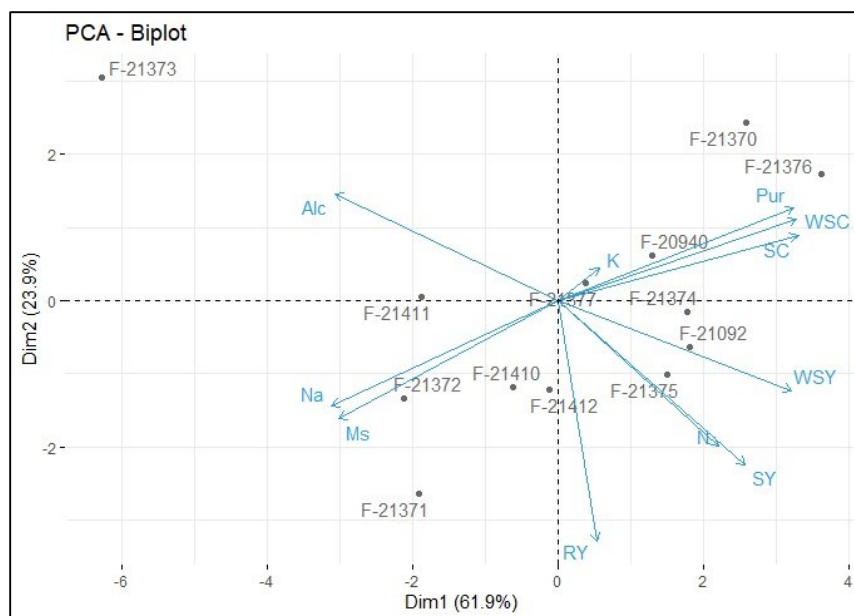
Traits		Na	RY	N	Correlate
Sodium (Na)	p	<u>-0.72</u>	0.1	-0.02	-0.64
	g	<u>-0.71</u>	0.11	-0.11	-0.71
	e	-0.01	-0.01	0.09	0.07
Root yield (RY)	p	-0.11	<u>0.66</u>	0.04	0.59
	g	-0.18	<u>0.46</u>	0.18	0.46
	e	0.07	0.2	-0.14	0.13
Alpha amine (N)	p	0.11	0.17	<u>0.16</u>	0.44
	g	0.27	0.29	<u>0.29</u>	0.85
	e	-0.16	-0.12	-0.13	-0.41
g Residual= 0.014		p Residual=0.062			

در نهایت، در ناحیه چهار بای‌پلات پنج ژنوتیپ F-21371، F-21372، F-21410، F-21411 و F-21412 قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های مذکور همسو با جهت بردارهای محتوی سدیم و درصد قند ملاس و در خلاف جهت صفات درصد استحصال قند، عیار قند، درصد شکر سفید و محتوی پتاسیم قرار داشتند. بر اساس نتایج بای‌پلات در هر دو مکان مورد بررسی دو ژنوتیپ F-21375 و F-21092 در ناحیه‌ای از بای‌پلات و در مجاور صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید قرار داشتند که بیانگر وضعیت

مطلوب آنها از نظر این صفات در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها بود. از آنالیز بای‌پلات جهت گروه‌بندی و شناسایی صفات موثر در چغندر قند در مطالعات دیگر نیز استفاده شده است (Hamze et al., 2024; Hamze et al., 2023).



شکل ۱. بای‌پلات حاصل از گروه‌بندی صفات و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مکان همدان در مجموع دو سال.



شکل ۲. بای‌پلات حاصل از گروه‌بندی صفات و ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مکان کرج در مجموع دو سال.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه تحقیق حاضر یک آزمایش تعیین ارزش زراعی ژنوتیپ‌های چغندر قند در چند سال و چند مکان برای معرفی به مناطق مختلف چغندرکاری کشور بود، دو ژنوتیپ F-21092 و F-21375 به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب جهت معرفی به مناطق چغندرکاری کشور مناسب می‌باشند. دو صفت عملکرد ریشه و محتوی سدیم به‌عنوان تأثیرگذارترین صفات بر عملکرد شکر سفید شناخته شدند.

ارتباط ژنتیکی بالای عملکرد ریشه و محتوی سدیم با عملکرد شکر سفید نشان داد که اثرات محیطی قادر به تغییر آنها نبودند، بنابراین گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد ریشه بالا و محتوی سدیم پایین (به واسطه اثرات غیر مستقیم منفی قابل توجه از طریق کاهش درصد استحصال قند) می‌تواند ما را در دستیابی به ژنوتیپ‌هایی با عملکرد شکر سفید یاری نماید.

۵. منابع

- Abbasi, Z., Arzani, A., & Majidi, M.M. (2014). Evaluation of genetic diversity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) crossing parents using agro-morphological traits and molecular markers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1397-1411.
- Acquah, G., Adams, N.W., & Kelly, J.O. (1992). Factor analysis of plant variable associated with architecture and seed size in day bean. *Euphytica*, 60, 171-177.
- Ahmadkhansari, V., Sabouri, H., Biyabani, A., Gholizade, A.L., Fallahi, H.A., & Zarei, M. (2016). Study of correlation and path analysis of agronomic traits in wheat-wheat and sugar beet-wheat rotations. *Journal of Applied Research in Plant Ecology*, 2(2), 145-156.
- Babaei, A.H., Aharizad, S., & Mohammadi, S. (2013). An identification of effective traits on barley lines grain yield via path analysis. *Journal of Crop Breeding*, 5(11), 49-59.
- Baradaran Firouzabadi, M., Farrokhi, N., & Parsaeyan, M. (2011). Sequential path analysis of some yield and quality components in sugarbeet grown in normal and drought condition. *Italian Journal of Agronomy*, 6, 39-45.
- Baradaran, R., Majidi, E., Darvishi, F., & Azizi, M. (2006). Study of correlation relationships and path coefficient analysis between yield and yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*, 2(4), 811-819.
- Cooke, D.A., & Scott, R.K. (1993). The sugar beet crop: Science into practice. New York, USA, 675 p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00074>.
- Dewey, D.R., & Lu, R.H. (1959). A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agronomy Journal*, 51, 515-518.
- Dohm, J.C., Minoche, A.E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F., Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T.R., Stracke, R., Reinhardt, R., Goesmann, A., Kraft, T., Schulz, B., Stadler, P.F., Schmidt, T., Gabaldón, T., Lehrach, H., Weisshaar, B., & Himmelbauer, H. (2014). The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, 505(7484), 546-549.
- Ebmeyer, H., Fiedler-Wiechers, K., & Hoffmann, C.M. (2021). Drought tolerance of sugar beet evaluation of 484 genotypic differences in yield potential and yield stability under varying environmental conditions. *European Journal of Agronomy*, 125, 126262. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126262>.
- FAOSTAT (2021). Crops production /yield quantities of sugar beet. Available at: <http://www.fao.org/faostat/> (Accessed October 4th 2021).
- Faysal, A.S.M., Ali, L., Azam, M.G., Sarker, U., Ercisli, S., Golokhvast, K.S., & Marc, R.A. (2022). Genetic variability, character association, and path coefficient analysis in transplant Aman rice genotypes. *Plants*, 11, 2952. <https://doi.org/10.3390/plants11212952>.
- Ghaffari, H., Tadayon, M.R., Bahador, M., & Razmjoo, J. (2021). Investigation of the proline role in controlling traits related to sugar and root yield of sugar beet under water deficit conditions. *Agricultural Water Management*, 243, 106448. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106448>.
- Hamidi, H., Ahmadi, M., & Soltani Idaliki, J. (2023). Investigating the genetic diversity of sugar beet half-sib families under natural infection conditions to cyst nematode and rhizomania diseases. *Journal of Plant Production Research*, 30(3), 177-195.
- Hamidi, H., Ramezanpour, S.S., Ahmadi, M., & Soltanlo, H. (2020). Evaluation of drought tolerance in sugar beet test cross hybrids under water deficit stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3), 715-734.
- Hamze, H., Khalili, M., Mir-Shafiee, Z., & Nasiri (2024). Integrated biomarker response version 2 (IBRV2) - assisted examination to scrutinize foliar application of jasmonic acid (JA) and zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) toward mitigating drought stress in sugar beet. *Journal of Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11475-9>.
- Hamze, H., Mansouri, H., Hassani, M., & Sadeghzadeh Hemayati, S. (2023). Evaluation of new O-type lines of sugar beet resistant to root and crown rhizoctonia rot in the conditions of microplot artificial contamination. *Journal of Sugar Beet*, 39(2), 1-12. (In Persian).

- Hasani, M., Hamza, H., Mansori, H., Taleghani, D., Jalilian, A., Soltani Idliki, J., Sharifi, M., & Kakouinejad, M. (2021). Evaluation of genetic parameters, relationships between traits and grouping of new sugar beet hybrids in terms of quantitative and qualitative traits under rhizomonias contamination condition. *Journal of Crop Breeding*, 13(38), 149-159.
- Hassani, M., Mahmoudi, S.B., Saremirad, A., & Taleghani, D. (2023). Genotype by environment and genotype by yield*trait interactions in sugar beet: Analyzing yield stability and determining key traits association. *Scientific Reports*, 13, 23111. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-51061-9>.
- Keykhosravi, H., Dehdari, M., & Masoomi Asl, A. (2017). Evaluation of genetic diversity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes using ISSR markers. *Agricultural Biotechnology Journal*, 9(2), 127-141.
- Mir Mahmoudi, T., Fotouhi, K., Hamza, H., & Azizi, H. (2021). Study of the effect of salinity stress on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), 221-233. (In Persian).
- Mohammadian, R., Hamza, H., Darabi, S., Khurshid, A.M., Soltani Idiliki, J., & Khodadadi, S.H. (2024). Evaluating the stability of modern sugar beet cultivars (*Beta vulgaris* L.) for introduction in rhizomania-contaminated areas. *Journal of Central European Agriculture*, 25(2), 375-387. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.2.4134>.
- Mohammadnia, M., Solaimani, A., Shirani Rad, A.H., & Naderi, M.R. (2006). Effect of planting pattern on white – sugar yield and components of two cultivars sugar beet. *Journal of Agricultural Science*, 12(1), 75-85.
- Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J., & Romeiras, M.M. (2008). Genetic and genomic tools to assist sugar beet improvement: The value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, 9, 74-85.
- Montgomery, D.C., & Peck, E.A. (2007). Introduction to linear regression analysis. 5th edition. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Nabizadeh, E., & Fotuhi, K. (2018). Study of relationships among qualitative and quantitative traits in sugar beet genotypes infected with *Rhizoctonia*. *Journal of Crop Breeding*, 10(27), 94-103. Doi:10.29252/jcb.10.27.94.
- Rashad, M.M.I., & Sarker, U. (2020). Genetic variations in yield and yield contributing traits of green amaranth. *Genetika*, 52(1), 393–407. <https://doi.org/10.2298/GENSR2001393R>.
- Ribeiro, I.C., Pinheiro, C., Ribeiro, C.M., Veloso, M.M., Simoes-Costa, M.C., Evaristo, I., Paulo, O.S., & Ricardo, C.P. (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.
- Sadeghzadeh Hemayati, S., Hamdi, F., Saremirad, A., & Hamze, H. (2024). Genotype by environment interaction and stability analysis for harvest date in sugar beet cultivars. *Scientific Reports*, 14, 16015. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67272-7>.
- Saremirad, A., Hamdi, F., & Taleghani, D. (2022). Evaluation of genetic diversity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids in terms of yield and morpho-physiological traits. *Applied Research in Field Crops*, 35(3), 67-87. (In Persian).
- Singh, R.K., & Chaudhury, B.D. (1985). Biometrical methods in quantitative analysis. Kalayani publishers. New Delhi.