

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

۱. 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@areco.ac.ir

۲. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج ایران. رایانامه: r_mohammadian@areco.ac.ir

۳. 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@areco.ac.ir

چکیده

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 معنی‌دار بر عملکرد شکر سفید داشتند. در حالیکه 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 بای پلات 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.

کلمات کلیدی: بای پلات، سدیم، عیار قند، محیط، همبستگی

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 ۱۸-۲۰ درصد قند و ۵ 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 ژرم پلاسما 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). به طور کلی بین اجزای عملکرد روابط پیچیده و معکوسی وجود دارد، به طوری که افزایش یک جزء باعث کاهش جزء یا اجزای دیگر می‌شود. حالت مطلوب آنست 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 غیرمستقیم یک متغیر را بر روی متغیرهای دیگر نشان می‌دهد، همچنین می‌تواند ضریب همبستگی ساده را به اجزای آن که اثرات مستقیم و غیرمستقیم 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 غیرمستقیم 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 and 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 غیرواقعی بین صفات دخالت داشته‌اند، حذف یا به حداقل مقدار خود می‌رسند (Montgomery and 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. صامی‌راد 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 می‌باشد. 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 گمراه‌کننده باشد (Babaei *et al.*, 2013)، بنابراین به دست آوردن 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 فنوتیپی 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 با توجه 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.

مواد و روش‌ها

اجرای طرح و عملیات زراعی

در این تحقیق ۱۳ ژنوتیپ چغندرقد در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در دو مکان اجرا شد. در این آزمایش ۱۱ رقم خارجی به همراه دو شاهد بر اساس لیست ارائه شده از طرف مؤسسه ثبت و گواهی بذر در آزمایشات تعیین ارزش زراعی (VCU) استفاده شدند (جدول ۱).

مواد آزمایشی در مراکز تحقیقات استان های البرز (کرج) و همدان کشت شدند و شرایط هواشناسی دو منطقه در جدول ۲ ذکر شده است. نتایج خصوصیات خاک محل های آزمایشی در جدول ۳ ارائه شده است. کرت های آزمایشی به طول هشت متر و عرض ۱/۵ متر در سه خط کشت (فاصله خطوط ۵۰ سانتی متر) بود. آزمایش در هر دو سال با دستگاه بذر کار سه ردیفه چغندرقد (مخصوص کاشت چغندرقد) و هر دو مکان اواسط فروردین کشت شدند، در طول فصل رشد جهت کنترل علف های هرز از بتانال پروگرس استفاده شد و جهت کنترل آفات به خصوص کارادینا و کک در اوایل فصل از آفت کش دیازینون و آوانت استفاده شد. برای کنترل بیماری سفیدک در اواخر تیر و اوایل مرداد از سم کالکسین استفاده شد. آبیاری نیز به صورت قطره ای (نوار تیپ) در هر دو مکان انجام گرفت.

جدول ۱. لیست ژنوتیپ های مورد بررسی در این آزمایش

Table 1. List of genotypes investigated in this experiment.

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			

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

Table 2. Geographical characteristics, temperature, and rainfall of the research stations in the two years of the experiment.

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- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مکان های آزمایشی در عمق ۰-۳۰

Table 3- Physical and chemical characteristics of the soil of the test sites at a depth of 0-30

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 ¹	27.5	53	Silty loam
	1402	8.20	1.60	0.43	-	-	14.2	3.52	26	21	53	Silty loam

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 گردید و 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 شده 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 گردید. جهت اندازه‌گیری درصد قند برای هر نمونه مقدار ۲۰ گرم خمیر ریشه‌های برداشت‌شده با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات سرب^۱ (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 نمودن مخلوط حاصله به قیف صافی، شربت زلالی حاصل گردید. 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 و با کسر میزان قند ملاس از قند کل، میزان قند خالص یا قند قابل استحصال برای هر نمونه به دست آمد (Cooke and Scott, 1993)

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 گردید. 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) $\frac{\text{درصد قند خالص یا قابل استحصال}}{\text{درصد قند ناخالص یا کل}} \times 100 = \text{ضریب استحصال قند}$

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 and Chaudhury, 1985) (روابط ۴ و ۵) و بسته Variability نرم‌افزار R استفاده شد.

$$r_{pxy} = \frac{pcov_{xy}}{\sqrt{\sigma_{p_x}^2 \times \sigma_{p_y}^2}} \times 100 \quad (۴) \quad r_{gxy} = \frac{g cov_{xy}}{\sqrt{\sigma_{g_x}^2 \times \sigma_{g_y}^2}} \times 100 \quad (۵)$$

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 = $\sigma_{p_x}^2$ و $\sigma_{p_y}^2$

واریانس ژنتیکی دو صفت X و Y = $\sigma_{g_x}^2$ و $\sigma_{g_y}^2$

¹ Lead Sostat

تجزیه علیت بر اساس روش دی وی و لیو (Dewey and Lu's 1959) انجام شد، در این آزمایش عملکرد شکر سفید به عنوان متغیر وابسته و سایر متغیرها به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. برای انجام تجزیه علیت از بسته Lavaan همچنان جهت انجام تحلیل عاملی و بای پلات از بسته Factoextra در نرم افزار R بهره برده شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس مرکب داده ها نشان داد در همدان اختلاف بین سال ها از نظر عملکرد ریشه، عیار قند، عملکرد شکر، درصد قند سفید و عملکرد شکر سفید ($p < 0.01$) معنی دار بود، بین ژنوتیپ های مورد بررسی از نظر کلیه صفات اختلاف معنی دار ($p < 0.01$) مشاهده شد. در این مکان عملکرد ریشه، عیار قند و درصد قند سفید تحت تأثیر برهم کنش سال در ژنوتیپ ($p < 0.01$) قرار گرفتند. در کرج اثر سال بر عیار قند، عملکرد شکر ($p < 0.01$) و درصد قند سفید ($p < 0.05$) معنی دار بود. اختلاف بین ژنوتیپ ها در این مکان نیز از نظر هر پنج صفت مورد بررسی معنی دار 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).

مکان همدان

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

مکان البرز (کرج)

در بین ژنوتیپ های مورد بررسی ژنوتیپ F-21371 با متوسط ۱۹/۰۴ تن در هکتار حداکثر عملکرد ریشه را به خود اختصاص داد، اختلاف بین این ژنوتیپ با ژنوتیپ های 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 ژنوتیپ ها 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 ژنوتیپ های 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، در حالی که کمترین عملکرد شکر سفید با متوسط ۱۱/۱۷ درصد برای ژنوتیپ F-21373 ثبت شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ ها 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 ژنوتیپ های 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 اگر چه 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 معنی‌دار 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 and Sarker, 2020; Mohammadian et al., 2022). مطالعات مختلف وجود تنوع ژنتیکی را در بین ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند ثبت کرده‌اند (et al., 2024; Ebmeyer et al., 2021; Sadeghzadeh Hemayati et al., 2024).

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 معنی‌دار ($p < 0.01$) بود، در حالیکه همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی این صفت با محتوی سدیم ریشه، آلکالیت ریشه و درصد قند ملاس منفی و معنی‌دار ($p < 0.01$) بود. در این بررسی بالاترین ضرایب مثبت فنوتیپی و ژنتیکی بین صفات عملکرد شکر سفید با عملکرد شکر ثبت شد، در حالی 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 ژنوتیپ های چغندر قند در همدان و کرج

Table 4. Combined analysis of variance of sugar beet yield and quality parameters in Hamadan and Karaj

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 ژنوتیپ های چغندر قند مورد بررسی از نظر عملکرد و خصوصیات کیفی در دو مکان همدان و کرج

Table 5- mean comparison of sugar beet genotypes investigated regarding yield and quality characteristics in Hamadan and Karaj environments.

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 و اعداد پایین مربوط به همبستگی ژنتیکی در دو سال در مکان همدان

Table 6. The correlation between traits, high numbers related to phenotypic correlation and low numbers related to Genetic correlation at two years in the Hamadan environment.

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 و اعداد پایین مربوط به همبستگی ژنتیکی در دو سال در مکان کرچ

Table 7. The correlation between traits, high numbers related to phenotypic correlation and low numbers related to Genetic correlation at two years in Karaj environments.

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 معنی دار بود، همبستگی عملکرد شکر سفید با محتوی سدیم ریشه، محتوی آلکالیت و درصد قند ملاس منفی و معنی دار بود. در این تحقیق همبستگی فنوتیپی عملکرد شکر سفید با عملکرد ریشه و عملکرد شکر مثبت و معنی دار بود. در کرج بالاترین همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی مثبت و معنی دار 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).

همانطوری 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 معنی دار 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 معنی دار 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 دلیلی بر این ادعاست) 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 چندگانه‌ها مدل حذف شده و آنالیز با دیگر صفات باقی مانده انجام شد. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام (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 ذیل پردازش خواهد شد.

$$Y = - ۳۹/۰ + ۱۸/۱۶ X1 + ۰/۴۴ X2 + ۰/۴۱ X3$$

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 تأثیر گذارترین 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 ذیل پردازش شد.

$$Y = ۵/۱ - ۵۸/۰۶ X1 + ۰/۱۰ X2 + ۰/۶۲ X3$$

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

تجزیه علیت (جدول ۸) بر اساس صفات باقی مانده 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 معنی دار 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. اگر چه اثر مستقیم محتوی سدیم ریشه بر عملکرد شکر سفید 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 معنی دار بود که همسو با نتایج تحقیق حاضر است. در مطالعه نبی زاده و فتوحی (Nabizadeh and Fotohi, 2018) عملکرد قند ناخالص و درصد قند ناخالص اثر مستقیم مثبت و معنی دار و درصد قند ملاس اثر مستقیم منفی و معنی دار 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 معنی دار بود، در حالیکه صفت مذکور با محتوی سدیم، پتاسیم، ضریب کلیات و درصد قند ملاس منفی و معنی دار بود. در تحقیقی بر 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 معنی دار و با محتوی پتاسیم ریشه و درصد قند ملاس همبستگی منفی و معنی دار داشت همچنین پتاسیم ریشه، عیار قند و نیتروژن مضره به عنوان مؤثرترین صفات در توجیه تغییرات عملکرد قند خالص بر اساس نتایج تجزیه علیت معرفی شدند (Hasani *et al.*, 2021). در مطالعه صارمی راد و همکاران (Saremirad *et al.*, 2022)، ضریب همبستگی عملکرد ریشه با عملکرد قند مثبت و معنی دار، همچنین عملکرد ریشه بیشترین اثر مستقیم مثبت و معنی دار 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 به صورت مستقیم عملکرد شکر سفید را تحت تأثیر قرار دادند. در مطالعه غفاری و همکاران (Ghaffaria *et al.*, 2020) صفات عملکرد ریشه و عیار قند به عنوان 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.

بای پلات

بر اساس نتایج آنالیز بای پلات در همدان دو عامل اول در مجموع ۷۸/۵ درصد از کل واریانس داده ها را تبیین کردند (شکل ۱). در این بررسی صفات در سه ناحیه بای پلات و ۱۳ ژنوتیپ مورد بررسی در چهار ناحیه بای پلات واقع شدند، بر این اساس در ناحیه یک بای پلات (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 آنهاست، همچنین در این ناحیه از بای پلات ژنوتیپ های F-20940، F-21374، F-21376 و F-21370 قرار گرفتند، با توجه به قرار گرفتن این ژنوتیپ ها در این ناحیه از بای پلات می توان اظهار داشت این ژنوتیپ ها از درصد استحصال قند، درصد شکر سفید و عیار قند بالاتری در مقایسه با دیگر ژنوتیپ ها برخوردار بودند. در ناحیه دوم بای (بالا سمت چپ) پلات ژنوتیپ های F-21377، F-21412، F-21371 و F-21373 قرار داشتند، اگر چه هیچ صفتی در ناحیه دو بای پلات واقع نبود اما ژنوتیپ های واقع در این ناحیه در جهت متضاد صفات محتوی آلفا آمین، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و عملکرد ریشه قرار گرفتند که نشان دهند پایین بودن مقادیر صفات مذکور در ژنوتیپ های واقع در بای پلات ناحیه دو بود. در ناحیه سوم بای پلات (پایین سمت راست) ژنوتیپ های F-21092، F-21375 و F-21411 در مجاورت صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا آمین قرار داشت، واقع بودن ژنوتیپ های مذکور در این ناحیه بیانگر بالا بودن صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا آمین در این ژنوتیپ ها است. در نهایت در ناحیه چهار بای پلات (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، می توان 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 ژنوتیپ ها برخوردار بودند.

در کرج مسئول ۸۸/۵۰ درصد از کل تغییرات داده ها دو عامل اول بودند، در این مکان ژنوتیپ ها و صفات مورد بررسی در چهار ناحیه از بای پلات پراکنده شدند (شکل ۲)، در ناحیه اول بای پلات (بالا سمت راست) ژنوتیپ های 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 داشت، قرار گرفتن این ژنوتیپ ها و صفات در مجاورت یکدیگر حاکی از ارتباط نزدیک این صفات و ژنوتیپ ها با یکدیگر است. در ناحیه دوم بای پلات (بالا سمت چپ) ژنوتیپ F-21373 و صفت محتوی آلکالیته 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 آلکالیته و پایین بودن مقادیر عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا آمین در این ژنوتیپ بود. در ناحیه سوم بای پلات (پایین سمت راست) ژنوتیپ‌های F-21374، F-21092 و F-21375 قرار داشت، این ژنوتیپ‌ها هم جهت با بردار صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و محتوی آلفا و خلاف جهت صفت آلکالیته قرار داشتند. در نهایت در ناحیه چهار بای پلات پنج ژنوتیپ F-21372، F-21410، F-21411 و F-21412 قرار گرفتند، ژنوتیپ های 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 بای پلات در هر دو مکان مورد بررسی دو ژنوتیپ F-21375 و F-21092 در ناحیه ای از بای پلات 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 ژنوتیپ ها بود. از آنالیز بای پلات جهت گروه بندی و شناسایی صفات موثر در چغندر قند در مطالعاتی دیگر نیز استفاده شده است (Hamze et al., 2023; Hamze et al., 2024).

نتیجه گیری کلی

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 چغندر کاری کشور بود، دو ژنوتیپ F-21375 و F-21092 به عنوان ژنوتیپ های مناسب جهت معرفی به مناطق چغندر کاری کشور مناسب می باشند. دو صفت عملکرد ریشه و محتوی سدیم به عنوان 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) می تواند ما را در دستیابی به ژنوتیپ هایی با عملکرد شکر سفید یاری نماید.

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)

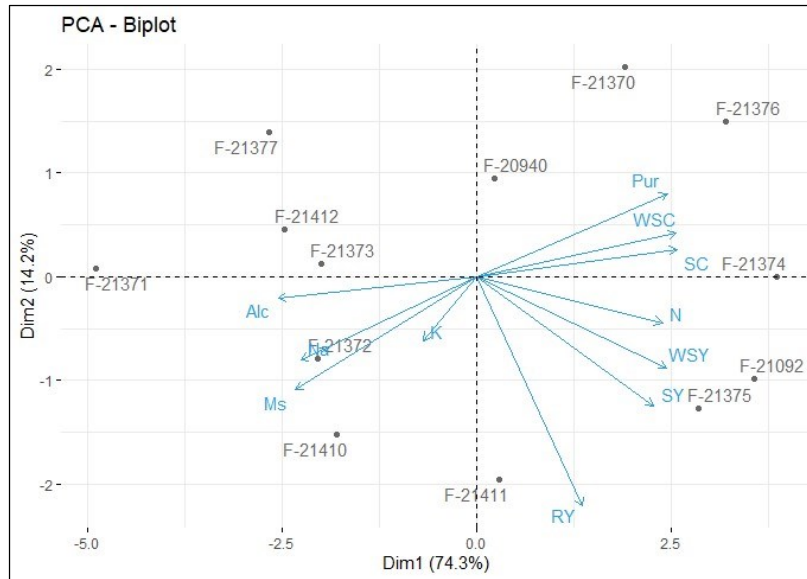
Table 8. Path analysis of traits affecting white sugar yield in the Hamedan. The numbers on the diameter are the direct phenotypic (high numbers) and genetic (low numbers) effects, and the numbers outside the diameter are the indirect phenotypic (high numbers) and genetic (low numbers) effects.

Traits			R _Y	NA	PUR	Correlate
Root yield (R _Y)	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)

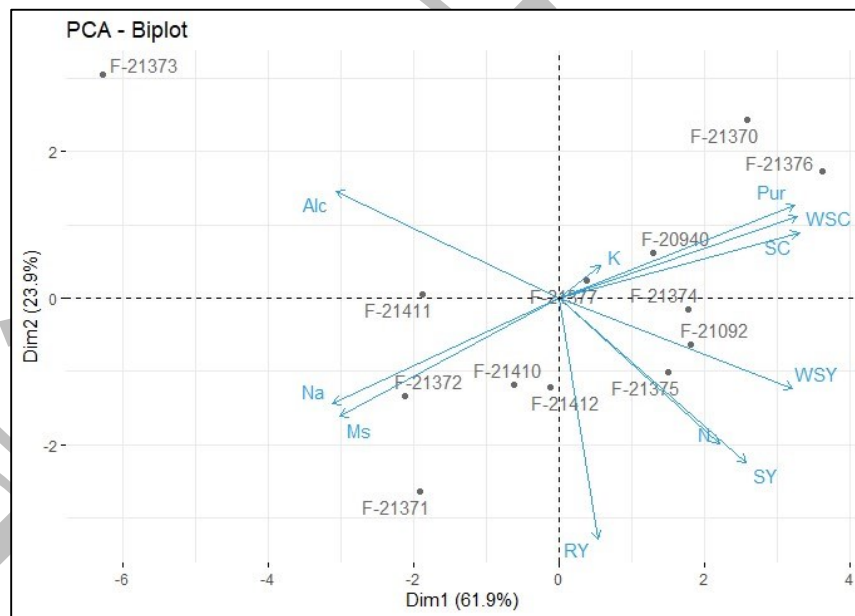
Table 8. Path analysis of traits affecting white sugar yield in the Karaj. The numbers on the diameter are the direct phenotypic (high numbers) and genetic (low numbers) effects, and the numbers outside the diameter are the indirect phenotypic (high numbers) and genetic (low numbers) effects.

Traits			Na	R _Y	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 (R _Y)	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	



شکل ۱. بای پلات حاصل از گروه بندی صفات و ژنوتیپ های مورد بررسی در مکان همدان در مجموع دو سال

Figure 1. Bi-plot resulting from the grouping of investigated traits and genotypes in the environment of Hamadan in two years



شکل ۲. بای پلات حاصل از گروه بندی صفات و ژنوتیپ های مورد بررسی در مکان کرج در مجموع دو سال

Figure 2. Bi-plot resulting from the grouping of investigated traits and genotypes in the environment of Karaj in two years

Reference

1. 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.
2. Acquah, G., Adams, N.W. & Kelly, J.O. (1992). Factor analysis of plant variable associated with architecture and seed size in day bean. *Euphtica*. 60, 171 -177.
3. Ahmadvkhansari, 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.
4. Babaeei, A.H., Aharizad, S. & Mohammadi, S. (2013). A Identification of effective traits on barley lines grain yield via path analysis. *Journal of Crop Breeding*. 5(11), 49-59.
5. 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, e39 45.
6. 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.
7. 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>
8. 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.
9. 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.
10. 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>.
11. FAOSTAT. 2021. Crops Production /Yield quantities of Sugar beet. Available at: <http://www.fao.org/faostat/> (Accessed October 4th 2021).
12. 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>.
13. 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, Article 106448.<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106448>.
14. 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.
15. 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.
16. 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>.
17. 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. *Jurnal of sugar Beet*. 39 (2), 1-12. (In Farsi).
 18. 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 Rhizomania Contamination Condition. *Journal of Crop Breeding*. 13(38): 149- 159.
 19. 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>
 20. 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 Farsi)
 21. Mohammadian, R., Hamza, H., Darabi, S., Khurshid, A.M., Soltani Idiliki, J. & Khodadadi, SH. (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>.
 22. Mohammadnia, M., Solaimani, A, Shirani Rad A.H., Naderi, MR. (2006). Effect of Planting Pattern on White – Sugar Yield and Components of Two Cultivars Sugar -Beet, *Journal of Agricultural Science*. 12(1), 75 -85.
 23. Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J. & Romeiras MM. (2008). Genetic and genomic tools to assist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*. 9,74-85.
 24. Montgomery, D.C. & Peck, E. A. (2007). Introduction to linear Regression Analysis. 5th edition. John Wiley and Sons. New York, USA.
 25. Nabizadeh, E. & Fotohi, 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.
 26. 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>.
 27. 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.
 28. 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>
 29. 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*. 2022; 35(3)10-13: 67-87(In Farsi).
 30. Singh, R. K. & Chaudhury, B. D. (1985). Biometrical methods in quantitative analysis. kalayani publishers. New Delhi.

Evaluation of yield potential and phenotypic and genetic relationships of traits affecting white sugar yield in new foreign genotypes of sugar beet

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, and sugar extraction coefficient was positive and significant. At the same time, it was negative and significant with root sodium, 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 impact in the Karaj. In contrast, sodium content showed a direct negative phenotypic and genetic impact 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 recognised as the most effective traits.

Keywords: biplot, sodium, sugar content, environment, correlation