Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*Journal of Plant Production Research*

**Print ISSN: 2322-2050**
**Online ISSN: 2322-2778**

# Investigating the genetic diversity of sugar beet half-sib families under natural infection conditions to cyst nematode and rhizomania diseases

**Hassan Hamidi[*1], Masoud Ahmadi[2], Jamshid Soltani Idaliki[3]**

1. Corresponding Author, Researcher, Sugar Beet Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. E-mail: hamidy1065@yahoo.com
2. Associate Prof., Sugar Beet Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. E-mail: ahmadi50_masoud@yahoo.com
3. Assistant Prof., Sugar Beet Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. E-mail: sol1351@yahoo.com

**Article Info**

**Article type:**
Full Length Research Paper

**Article history:**
Received: 01.28.2023
Revised: 02.16.2023
Accepted: 04.03.2023

**Keywords**:
Correlation,
Half-sib family,
Sugar beet,
White sugar yield

## ABSTRACT

**Background and Objectives:** Since the existence of genetic diversity is necessary for success in plant breeding, therefore, the selection of superior genotypes from the breeding populations depends on the existence of genetic diversity. The purpose of this research is to evaluate the genetic diversity of sugar beet half-sib families in the conditions of natural infection with rhizomania and cyst nematode and to determine the relationships of different traits using multivariate statistical methods.

**Materials and Methods**: In this experiment the half-sib families of sugar beet (90 lines) were studied in a field naturally infected with cyst nematode and rhizomania at Torogh Agricultural Research Station (Mashhad) in 2020 using augmented design with four controls, Aria, Fernando, Pauletta and Sharif.

**Results**: The results of analysis of variance showed that there was a significant genetic diversity among the half-sib families in terms of root yield, sugar yield and white sugar yield. The highest amount of heritability among the evaluated traits was for white sugar yield with 86.87% heritability, which indicates that this trait is less influenced by environmental factors. In this research, white sugar yield had a positive and significant correlation with all traits except molasses sugar percentage at the probability level of 1%. Stepwise regression showed that sugar yield and extraction coefficient of sugar cause more than 99% of changes in white sugar yield. Path analysis results showed that sugar yield had the most direct and positive effect on white sugar yield. Based on cluster analysis, the experimental genotypes were classified into three distinct groups; So that the first group included half-sib families that had high root yield and sugar.

**Conclusion**: In general, the results showed that there was considerable variation between the studied traits and half-sib families. 30 lines out of the 90 half-sib lines investigated had high mean white sugar yield, sugar yield and root yield and were placed in the same group with two external resistant control cultivars (Fernando and Pauletta). Among the studied genotypes, the mentioned lines had high resistance to cyst nematode and

rhizomania diseases. Therefore, they can be used in future breeding programs in order to prepare hybrids resistant to cyst nematode and rhizomania diseases.

Cite this article: Hamidi, Hassan, Ahmadi, Masoud, Soltani Idaliki, Jamshid. 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.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21005.3004
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

# بررسی تنوع ژنتیکی فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند تحت شرایط آلودگی طبیعی به نماتد مولد سیست و ریزومانیا

حسن حمیدی*[۱]، مسعود احمدی[۲]، جمشید سلطانی ایدلیکی[۳]

۱. نویسنده مسئول، محقق بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: hamidy1065@yahoo.com

۲. دانشیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: ahmadi50_masoud@yahoo.com

۳. استادیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. رایانامه: sol1351@yahoo.com

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل علمی- پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۱۱/۰۸
**تاریخ ویرایش:** ۱۴۰۱/۱۱/۲۷
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

**واژه‌های کلیدی:**
چغندرقند،
عملکرد قند خالص،
فامیل‌های نیمه‌خواهری،
همبستگی

**چکیده**

**سابقه و هدف:** با توجه به این‌که وجود تنوع ژنتیکی برای موفقیت در اصلاح نباتات ضروری می‌باشد بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های برتر از بین جمعیت‌های اصلاح شده بستگی به وجود تنوع ژنتیکی دارد. هدف از این پژوهش، ارزیابی تنوع ژنتیکی فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند در شرایط آلودگی طبیعی به ریزومانیا و نماتد مولد سیست و تعیین روابط صفات مختلف با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این آزمایش فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند (۹۰ لاین) در مزرعه دارای آلودگی طبیعی به نماتد مولد سیست و ریزومانیا در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق (مشهد) با استفاده از طرح آگمنت با چهار شاهد آریا، فرناندو، پائولتا و شریف در سال ۱۳۹۹ مورد مطالعه قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنوع ژنتیکی معنی‌داری میان فامیل‌های نیمه‌خواهری مورد مطالعه از نظر صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص وجود دارد. بیش‌ترین میزان توارث‌پذیری در بین صفات مورد ارزیابی مربوط به عملکرد قند خالص با توارث ۸۷/۸۶ درصد بود که بیانگر تأثیرپذیری کم این صفت از عوامل محیطی است. در این پژوهش، عملکرد قند خالص با تمام صفات به استثنای درصد قند ملاس همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام نشان داد که

دو صفت عملکرد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر بیش از ۹۹ درصد تغییرات عملکرد قند خالص را سبب می‌شوند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که عملکرد قند ناخالص بیش‌ترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد قند خالص دارد. بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های آزمایشی در سه گروه متمایز طبقه‌بندی شدند؛ به‌طوری‌که در گروه اول فامیل‌های نیمه‌خواهری قرار گرفتند که دارای عملکرد ریشه و قند بالایی بودند.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی نتایج نشان داد که تنوع قابل‌ملاحظه بین صفات و فامیل‌های نیمه‌خواهری مورد مطالعه وجود داشت. تعداد ۳۰ لاین از بین ۹۰ لاین نیمه‌خواهری مورد بررسی دارای میانگین عملکرد قند خالص، عملکرد قند ناخالص و عملکرد ریشه بالایی بودند و با دو رقم شاهد مقاوم خارجی (فرناندو و پائولتا) در یک گروه قرار گرفتند. لاین‌های مزبور در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای مقاومت بالایی نسبت به بیماری‌های نماتد مولد سیست و ریزومانیا بودند. بنابراین می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی آینده در راستای تهیه هیبریدهای مقاوم به بیماری‌های نماتد مولد سیست و ریزومانیا بهره جست.

**استناد**: حمیدی، حسن، احمدی، مسعود، سلطانی ایدلیکی، جمشید (۱۴۰۲). بررسی تنوع ژنتیکی فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند تحت شرایط آلودگی طبیعی به نماتد مولد سیست و ریزومانیا. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۳)، ۱۹۵-۱۷۷.
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21005.3004

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

## مقدمه

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 (۱).

کشاورزی متداول باعث کاهش شدید تنوع در گیاهان زراعی شده است. از بین حدود ۳۰۰۰۰ گونه گیاهی خوراکی شناسایی شده، تنها ۳۰ گونه منابع عمده تغذیه مردم جهان را تشکیل می‌دهند (۲). آگاهی از تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری صفات پایه و اساس انتخاب طرح‌های مناسب در بسیاری از برنامه‌های اصلاح نباتات می‌باشد (۳). هدف اصلی تمام برنامه‌های به‌نژادی چغندرقند، تولید ارقام با بیش‌ترین محصول و کم‌ترین هزینه‌های اقتصادی و محیطی ممکن است. از این هدف کلی، اهداف ثانویه متعددی بر حسب شرایط محیطی مختلف ذکر می‌گردد. عملکرد قند، کیفیت استخراج قند، پتانسیل جوانه‌زنی بذر، مقاومت به ساقه‌رفتن و مقاومت به اکثر بیماری‌ها جزء صفات کمی هستند. در مقایسه با صفات کیفی، بهبود صفات کمی نیازمند برنامه‌های پیچیده به‌نژادی می‌باشد (٤). برای اهداف اصلاحی دائماً در حال تغییر، باید ژن‌های مختلف در گونه‌های زراعی در قالب منابع ژرم‌پلاسم ذخیره شوند. تنوع ژنتیکی در درون و بین گونه‌های گیاهی به اصلاح‌کنندگان این امکان را می‌دهد تا ژنوتیپ‌های برتر را برای استفاده مستقیم به‌عنوان رقم جدید یا به‌عنوان والد در برنامه دو رگ‌گیری انتخاب کنند. تنوع ژنتیکی بین دو والد برای درک هتروزیس و به‌دست آوردن تفکیک متجاوز ضروری است. به‌طورکلی تنوع ژنتیکی مسیر اصلاح‌کنندگان را برای ایجاد ارقامی با صفات خاص مثل بهبود کیفیت و تحمل در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی هموار می‌کند (۵، ٦).

مطالعه تنوع فنوتیپی، به‌عنوان اولین گام پیش از انجام مطالعات بیوشیمیایی یا مولکولی پیشرفته، بسیار پیشنهاد می‌شود (۷). از این‌رو، توصیف مورفولوژیکی مهم‌ترین موضوع در فرآیند بررسی و نیز حفظ تنوع ژنتیکی گیاهی است (۸). استفاده از صفات مختلف برای مطالعه تنوع فنوتیپی، ساختار ژنتیکی و میزان تنوع جمعیت مورد مطالعه را آشکار می‌کند که اساس اصلاح ژنتیکی را تشکیل می‌دهد (۹). در واقع تصور می‌شود، واریانس فنوتیپی، نتیجه گزینش است که هم سازگاری با ویژگی‌های محیطی محلی و هم تنوع ژنتیکی (۱۰، ۱۱)، مانند تغییرات اقلیمی، جهش صفت و رانش ژنتیکی را منعکس می‌کند (۱۲). مطالعات مشابهی نشان داده‌اند که انعطاف‌پذیری فنوتیپی ابزار مهمی است که توسط آن گیاهان با تغییرپذیری عوامل محیطی کنار می‌آیند (۱۳). انعطاف‌پذیری فنوتیپی می‌تواند زمانی تکامل یابد که تنوع ژنتیکی کافی وجود داشته باشد (١٤)، البته، فنوتیپ‌های گیاهی از ژنوتیپ، محیط و برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط حاصل می‌شوند که منعکس‌کننده سازگاری ژنوتیپ با تغییرات محیطی است. فنوتیپ‌ها در اثر انتخاب تنش طولانی‌مدت ظاهر می‌شوند و فرآیندهای برگشت‌ناپذیری را نشان می‌دهند که می‌توانند به‌طور پایدار توسط نتاج به ارث برسند. فنوتیپ‌ها منعکس‌کننده سازگاری محیطی گیاهان هستند و بنابراین تنوع فنوتیپی در سازگاری و طبقه‌بندی اهمیت زیادی دارد.

چغندرقند (*Beta vulgaris*) اولین گیاه زراعی است که ایجاد آن مبتنی بر یافته‌های جدید علم ژنتیک می‌باشد. وضعیت امروزی این گیاه در نتیجه انتخاب علمی صورت گرفته در قرن نوزدهم و بیستم بوده که باعث ظهور بیش‌تر تحولات علمی قبلی شده است (٤). چغندرقند پس از نیشکر یکی از مهم‌ترین منابع تولید قند به شمار می‌رود (۱۵، ١٦). تولید سالیانه

ریشه چغندرقند در حدود ۲۷۸ میلیون تن است (۱۷) که تقریباً به‌طور انحصاری جهت استخراج قند مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریشه چغندر حاوی ۷۵ درصد آب، حدود ۲۰ درصد (یا ۱۸ درصد) قند (۱۸) و پنج درصد تفاله (۱۹) است. البته مقدار دقیق قند با توجه به رقم و شرایط رشد می‌تواند بین ۱۲ تا ۲۱ درصد متغیر باشد. در طول ۲۰۰ سال اصلاح چغندرقند، میزان قند از هشت درصد به ۱۸ درصد در ارقام امروزی افزایش یافته است (۱۸).

مقایسه ارقام مختلف داخلی و خارجی چغندرقند بیانگر پیشرفت اصلاحی ارقام داخلی به لحاظ عملکرد می‌باشد. بنابراین در گزینش ارقام، عملکرد از اهمیّت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. امّا به دلیل تأثیر شرایط مختلف محیطی که همبستگی بین صفات مربوط به عملکرد را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، انتخاب تنها بر مبنای عملکرد ممکن است گمراه‌کننده باشد (۲۰)، 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 نتخاب صفاتی که اثر مثبت روی عملکرد کمّی و کیفی داشته و در ضمن از توارث و بازدهی ژنتیکی زیادی برخوردار هستند، می‌تواند در بهبود عملکرد مؤثر واقع شوند (۲۱).

عزیزی و همکاران (۲۲) با شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد ریشه چغندرقند تحت شرایط آلودگی طبیعی به بیماری ویروسی ریزومانیا نشان دادند که ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای اکثر صفات بالا بود که نشان‌دهنده وجود تنوع نسبتاً بالا در ارقام مورد بررسی برای صفات ارزیابی شده می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین همبستگی منفی و معنی‌دار بین عملکرد ریشه با صفت درصد قند ناخالص و بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد ریشه با عملکرد قند ناخالص وجود داشت.

با عنایت به این‌که روش‌های آماری چندمتغیره مبنای نظری بسیار مناسبی برای ارائه معتبرترین اطلاعات در مورد فواصل ژنتیکی واقعی بین ژنوتیپ‌ها می‌باشند، بنابراین می‌توان از آن‌ها برای ارزیابی تنوع ژنتیکی استفاده کرد. هدف از پژوهش حاضر بررسی تنوع ژنتیکی فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند، ارزیابی روابط بین صفات مختلف و شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد قند خالص در شرایط آلودگی طبیعی به ریزومانیا و نماتد مولد سیست در منطقه مشهد می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۹۰ لاین نیمه‌خواهری در مزرعه با سابقه آلودگی به نماتد مولد سیست و ریزومانیا در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق (مشهد) مورد ارزیابی قرار گرفتند. متوسط تعداد تخم و لارو قبل از کاشت در مزرعه آزمایشی بالای ۵۰۰ عدد در یکصد گرم خاک بود. فامیل‌های نیمه‌خواهری مورد مطالعه (جدول ۱) از بین ۹۹ لاین که برای مقاومت به بیماری ریزومانیا و نماتد در مزرعه تحقیقاتی آلوده به بیماری نماتد مولد سیست و ریزومانیا در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق (مشهد) گزینش شده و دارای بذر کافی بودند، انتخاب شدند.

ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق در شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۹۹۹ متر واقع شده است. میانگین درازمدت دمای روزانه آن ۱۴/۱، حداقل و حداکثر دمای مطلق آن به ترتیب ۷/۱ و ۲۱/۱ درجه سانتی‌گراد با میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر در سال است. بر اساس آزمون خاک، بافت خاک مزرعه آزمایشی، لومی با pH معادل ۸ و میزان ماده آلی ۰/۵ درصد بود. ژنوتیپ‌های مورد

مطالعه در قالب طرح مقایسه عملکرد مقدماتی (آگمنت) بر روی ردیف‌های به طول هشت متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در پنج بلوک ناقص به همراه دو رقم شاهد داخلی با نام آریا و شریف و دو رقم شاهد خارجی مقاوم به بیماری‌های نماتد مولد سیست و ریزومانیا با نام‌های فرناندو و پائولتا در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۹ کشت شدند. بر روی ردیف‌های کشت، تعداد بذر بیش‌تری قرار داده شد که پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی تنک گردیدند و به تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار رسانده شدند.

**جدول ۱- اسامی فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند مورد مطالعه در آزمایش.**

**Table 1. Name of studied sugar beet half-sib families in experiment.**

| کد Number | ژنوتیپ Genotype | کد Number | ژنوتیپ Genotype | کد Number | ژنوتیپ Genotype | کد Number | ژنوتیپ Genotype | کد Number | ژنوتیپ Genotype |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Arya | 20 | HSF-19 | 39 | HSF-41 | 58 | HSF-60 | 77 | HSF-82 |
| 2 | Fernando | 21 | HSF-20 | 40 | HSF-42 | 59 | HSF-61 | 78 | HSF-83 |
| 3 | Pauletta | 22 | HSF-21 | 41 | HSF-43 | 60 | HSF-62 | 79 | HSF-84 |
| 4 | Sharif | 23 | HSF-22 | 42 | HSF-44 | 61 | HSF-63 | 80 | HSF-85 |
| 5 | HSF-1 | 24 | HSF-23 | 43 | HSF-45 | 62 | HSF-64 | 81 | HSF-86 |
| 6 | HSF-2 | 25 | HSF-25 | 44 | HSF-46 | 63 | HSF-66 | 82 | HSF-87 |
| 7 | HSF-3 | 26 | HSF-26 | 45 | HSF-47 | 64 | HSF-67 | 83 | HSF-88 |
| 8 | HSF-4 | 27 | HSF-27 | 46 | HSF-48 | 65 | HSF-68 | 84 | HSF-89 |
| 9 | HSF-5 | 28 | HSF-28 | 47 | HSF-49 | 66 | HSF-70 | 85 | HSF-90 |
| 10 | HSF-6 | 29 | HSF-29 | 48 | HSF-50 | 67 | HSF-71 | 86 | HSF-91 |
| 11 | HSF-8 | 30 | HSF-30 | 49 | HSF-51 | 68 | HSF-72 | 87 | HSF-92 |
| 12 | HSF-9 | 31 | HSF-31 | 50 | HSF-52 | 69 | HSF-73 | 88 | HSF-93 |
| 13 | HSF-10 | 32 | HSF-32 | 51 | HSF-53 | 70 | HSF-74 | 89 | HSF-94 |
| 14 | HSF-11 | 33 | HSF-34 | 52 | HSF-54 | 71 | HSF-75 | 90 | HSF-95 |
| 15 | HSF-12 | 34 | HSF-35 | 53 | HSF-55 | 72 | HSF-76 | 91 | HSF-96 |
| 16 | HSF-13 | 35 | HSF-36 | 54 | HSF-56 | 73 | HSF-77 | 92 | HSF-97 |
| 17 | HSF-14 | 36 | HSF-37 | 55 | HSF-57 | 74 | HSF-78 | 93 | HSF-98 |
| 18 | HSF-17 | 37 | HSF-38 | 56 | HSF-58 | 75 | HSF-80 | 94 | HSF-99 |
| 19 | HSF-18 | 38 | HSF-40 | 57 | HSF-59 | 76 | HSF-81 | | |

آبیاری به‌صورت نرمال و مطابق با نیاز گیاهان در فواصل مناسب انجام گردید. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ مزارع با وجین دستی و نیز طی دو مرحله با استفاده از علف‌کش بتانال پروگرس او اف (Betanal progress OF) به میزان سه لیتر در هکتار انجام گرفت. در اوایل آبان ماه سال ۱۳۹۹ عملیات برداشت، شمارش و توزین ریشه‌های چغندرقند موجود در کرت‌های آزمایشی انجام شد. پس از شستشوی ریشه‌ها، خمیر ریشه با استفاده از دستگاه اتوماتیک ونما (VENEMA) تهیه و صفات کیفی اندازه‌گیری شد. صفاتی مانند عملکرد ریشه (RY) هر یک از ژنوتیپ‌ها در واحد تن در هکتار و درصد قند یا عیار قند (SC) به روش پلاریمتری در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه چغندرقند اندازه‌گیری شد.

هم‌چنین صفاتی مانند عملکرد قند ناخالص (SY)، درصد قند خالص (WSC)، عملکرد قند خالص (WSY) و ضریب استحصال شکر (ECS) نیز از طریق روابط زیر محاسبه گردید (۲۳).

$$SY = RY \times SC \quad (1)$$

$$WSC = SC - (MS + 0.6) \quad (2)$$

$$WSY = WSC \times RY \quad (3)$$

$$CS = (WSC \div SC) \times 100 \quad (4)$$

علاوه بر این میزان قند ملاس (MS) بر اساس میزان ناخالصی‌های ریشه چغندرقند شامل سدیم (Na)، پتاسیم (K) و نیتروژن مضره (a-N) و با استفاده از رابطه ذیل محاسبه شد (۲۳).

$$MS=0.343(K+Na)+0.094(a-N) -0.31 \quad (5)$$

اجزای واریانس محیطی، ژنتیکی و فنوتیپی بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات برآورد گردید. ضریب تنوع فنوتیپی، ضریب تنوع ژنتیکی و توارث پذیری عمومی هر صفت با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (۲۴).

$$CV_G = \frac{\sqrt{V_G}}{\bar{X}} \times 100 \quad (6)$$

$$CV_P = \frac{\sqrt{V_P}}{\bar{X}} \times 100 \quad (7)$$

$$CV_E = \frac{\sqrt{V_E}}{\bar{X}} \times 100 \quad (8)$$

$$V_P = V_G + V_E \quad (9)$$

$$V_E = MSe \quad (10)$$

$$H_b = \frac{V_G}{V_P} \times 100 \quad (11)$$

در روابط بالا، $V_G$ واریانس ژنوتیپی، $V_E$ واریانس محیطی، $V_P$ واریانس فنوتیپی، MSe واریانس اشتباه آزمایش، CVp ضریب تغییرات فنوتیپی، $CV_G$ ضریب تغییرات ژنتیکی، $CV_E$ ضریب تغییرات محیطی، $H_b$ توارث‌پذیری عمومی و $\bar{X}$ میانگین کل برای هر صفت می‌باشد.

پیشرفت ژنتیکی با استفاده از رابطه $GA = k \times \sigma_p \times h_b^2$ محاسبه شد. که در این رابطه k شدت گزینش ۱۰ درصد برابر ۱/۷۵۵، $\sigma_p$ انحراف معیار فنوتیپی و $h_b^2$ وراثت‌پذیری عمومی می‌باشد (۲۵، ۲۶).

با توجه به اجرای آزمایش در قالب طرح آگمنت با چهار شاهد در پنج بلوک ناقص و نتایج تجزیه واریانس برای صفات مختلف مورد مطالعه، مقدار هر صفت در فامیل‌های نیمه‌خواهری مورد مطالعه تصحیح گردید. از میانگین‌های تصحیح‌شده صفات برای انجام سایر تجزیه وتحلیل‌های آماری استفاده گردید.

پس از محاسبه ضرایب همبستگی میان صفات تحت مطالعه، با استفاده از رگرسیون گام به گام مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد قند خالص و توجیه بهتر روابط تعیین شد. سپس برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد قند خالص، تجزیه علیت انجام گردید. گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی بر اساس روش وارد (Ward) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه شامل عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، عملکرد قند ناخالص، عملکرد قند خالص، درصد قند خالص، ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس

در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند در جدول ۲ نشان شده است. اثر بلوک تصحیح‌شده برای همه صفات معنی‌دار نبود. غیرمعنی‌دار بودن اثر بلوک تصحیح‌شده برای صفات مذکور نشان می‌دهد که بلوک‌های ناقص از نظر شرایط قابل کنترل و یا غیرقابل کنترل محیطی همگن می‌باشند. اثر تیمار تصحیح‌شده برای صفات عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، عملکرد قند ناخالص و خالص معنی‌دار شد. با تفکیک اثر تیمار به اثرات فامیل‌های نیمه‌خواهری و شاهد ملاحظه شد که هر دو این اثرات نیز برای عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و خالص در سطح احتمال یک درصد ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار می‌باشند؛ بنابراین تنوع ژنتیکی مشاهده‌شده در تیمار تصحیح‌شده ناشی از تنوع ژنتیکی در داخل هر دو منبع فامیل‌های نیمه‌خواهری و شاهد است. وجود تنوع در میان فامیل‌های نیمه‌خواهری باعث می‌شود تا از طریق گزینش بتوان نسبت به بهبود ویژگی‌های مدنظر (عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص) اقدام نمود.

**جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند.**

**Table 2. Analysis of variance of studied traits in sugar beet half-sib families**

| منابع تغییر Source of variation | درجه آزادی df | عملکرد ریشه Root yield | درصد قند ناخالص Sugar content | عملکرد قند ناخالص Sugar yield | عملکرد قند خالص White sugar yield | درصد قند خالص White sugar content | ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar | قند ملاس sugar Molasses |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block (adj) | 4 | 20.7$^{ns}$ | 0.529$^{ns}$ | 0.41$^{ns}$ | 0.20$^{ns}$ | 0.787$^{ns}$ | 4.97$^{ns}$ | 0.107$^{ns}$ |
| تیمار Treatment (adj) | 93 | 286.6$^{**}$ | 2.041$^{*}$ | 10.54$^{**}$ | 7.44$^{**}$ | 3.169$^{ns}$ | 18.04$^{ns}$ | 0.304$^{ns}$ |
| فامیل‌های نیمه‌خواهری Half-sib | 89 | 217.8$^{**}$ | 1.146$^{ns}$ | 7.89$^{**}$ | 5.46$^{**}$ | 1.387$^{ns}$ | 5.29$^{ns}$ | 0.136$^{ns}$ |
| شاهد Check | 3 | 2593.5$^{**}$ | 10.065$^{**}$ | 94.56$^{**}$ | 66.01$^{**}$ | 18.775$^{**}$ | 138.45$^{**}$ | 1.661$^{**}$ |
| فامیل‌های نیمه‌خواهری در برابر شاهد Half-sib vs. Check | 1 | 184.4$^{**}$ | 58.154$^{**}$ | 21.85$^{**}$ | 26.48$^{**}$ | 115.159$^{**}$ | 782.73$^{**}$ | 10.94$^{**}$ |
| خطا Error | 12 | 12.4 | 0.708 | 0.21 | 0.20 | 1.493 | 14.76 | 0.263 |
| ضریب تغییرات (درصد) CV (%) | | 8.44 | 4.51 | 20.21 | 6.98 | 7.97 | 4.70 | 18.43 |

$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$ به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

مقادیر مربوط به میانگین، ضریب تغییرات فنوتیپی، انحراف معیار، حداکثر و حداقل برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های چغندرقند و نیز میانگین هر یک از صفات در ارقام شاهد در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، تنوع نسبی میان همه فامیل‌های نیمه‌خواهری در همه صفات مورد بررسی مشاهده شد که در این میان عملکرد قند خالص و عملکرد قند ناخالص به ترتیب با ۰/۴۰ و ۰/۳۹ بیش‌ترین تنوع را با میانگین ٦/٤١ و ۷/۷۹ تن در هکتار و دامنه تغییرات ۱۱/۸۵ و ۱۲/۷٤ تن در هکتار دارد. کم‌ترین تنوع در بین صفات مورد مطالعه در فامیل‌های نیمه‌خواهری آزمایشی مربوط به ضریب استحصال شکر و درصد قند ناخالص به ترتیب با ضریب تنوع ۰/۰۵ و ۰/۰۷ بود. نتایج نشان داد که میانگین صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، عملکرد قند خالص و قند ملاس در فامیل‌های نیمه‌خواهری مورد مطالعه نسبت به شاهدهای فرناندو و پائولتا کم‌تر و نسبت به شاهدهای آریا و شریف بیش‌تر است. این موضوع بیانگر وجود فامیل‌های نیمه‌خواهری است که از نظر صفات نامبرده نسبت به ارقام شاهد داخلی برتری دارند. برتری تعدادی از فامیل‌های نیمه‌خواهری نسبت به هر چهار شاهد آریا، فرناندو، پائولتا و شریف از نظر درصد قند ناخالص، درصد قند خالص و ضریب استحصال شکر نیز مشاهده شد. بر اساس نتایج می‌توان فامیل‌های نیمه‌خواهری با عملکرد کمی و کیفی برتر نسبت به شاهدها را شناسایی و پس از تولید هیبرید و انجام آزمایش‌های تکمیلی، به‌عنوان رقم معرفی کرد.

**جدول ۳- نتایج برخی از آماره‌های توصیفی صفات مورد مطالعه در فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند.**

**Table 3. Results of some descriptive statistics of studied traits in sugar beet half-sib families.**

| صفت Trait | میانگین Mean | ضریب تغییرات CV | انحراف معیار SD | حداکثر Max | حداقل Min | میانگین شاهد Control means | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | آریا | فرناندو | پائولتا | شریف |
| عملکرد ریشه Root yield | 41.73 | 0.38 | 15.91 | 78.55 | 8.15 | 32.44 | 55.31 | 58.57 | 9.60 |
| درصد قند ناخالص Sugar content | 18.68 | 0.07 | 1.36 | 21.20 | 14.55 | 15.49 | 17.89 | 18.67 | 16.50 |
| عملکرد قند ناخالص Sugar yield | 7.79 | 0.39 | 3.05 | 14.61 | 1.27 | 5.00 | 9.89 | 10.91 | 1.59 |
| عملکرد قند خالص White sugar yield | 6.41 | 0.40 | 2.56 | 12.73 | 0.88 | 3.53 | 7.87 | 8.89 | 1.18 |
| درصد قند خالص White sugar content | 15.32 | 0.11 | 1.70 | 18.25 | 9.79 | 10.97 | 14.25 | 15.23 | 12.16 |
| ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar | 81.76 | 0.05 | 4.14 | 87.90 | 64.59 | 70.75 | 79.57 | 81.55 | 72.55 |
| قند ملاس Molasses sugar | 2.77 | 0.19 | 0.54 | 4.76 | 1.80 | 3.92 | 3.04 | 2.84 | 3.94 |

CV: Coefficient of variation, SD: Standard deviation

پارامترهای ژنتیکی اعم از اجزای واریانس و ضرایب تغییرات فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی برای صفات مورد مطالعه در جدول ٤ نشان داده شده است. واریانس فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی به ترتیب بین ۰/۲۷ تا ٦٧/٢٤، ۰/۰۱ تا ٥٤/٨٤ و ۰/۲۰ تا ١٤/٧٦ برای صفات مختلف تحت مطالعه متغیر بود. بخش بزرگی از واریانس فنوتیپی صفات عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص به وسیله واریانس ژنتیکی تبیین شد، بنابراین ژنوتیپ می‌تواند توسط فنوتیپ و بازده ژنتیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد فنوتیپی این صفات منعکس شود. بیش‌ترین ضریب تنوع فنوتیپی (۲۵/۹٦) و ضریب تنوع محیطی (۲۵/۹٦) برای عملکرد قند ناخالص به‌دست آمد. هم‌چنین صفت عملکرد قند خالص دارای بیش‌ترین ضریب تنوع ژنتیکی (۱۸/۷۷) بود. در حالی‌که صفت ضریب استحصال شکر، کم‌ترین ضریب تنوع فنوتیپی (٤/۸۰)، ضریب تنوع محیطی (٤/۸۰) و ضریب تنوع ژنتیکی (۰/۹۹) را به خود اختصاص داد. دو صفت عملکرد قند خالص (۱۸/۷۷ درصد) و عملکرد ریشه (۱۷/۷۵ درصد) دارای ضرایب تنوع ژنتیکی متوسط بودند. مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنتیکی برای صفات عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص به یکدیگر نزدیک بودند. این موضوع بیانگر تأثیر بالای ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها است. هر یک از ضرایب تنوع فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی اطلاعات سودمندی در رابطه با ژنتیکی یا محیطی بودن تنوع مشاهده‌شده در صفات را در اختیار قرار می‌دهد. همان‌طور که در نتایج (جدول ٤) مشهود است در تمام صفات مورد مطالعه ضریب تنوع فنوتیپی بیش‌تر از ضریب تنوع ژنتیکی می‌باشد. این امر ناشی از تأثیر عوامل محیطی بر این صفات است. با توجه به این‌که واریانس فنوتیپی از مجموع واریانس ژنتیکی و محیطی حاصل شده است، بنابراین اگر واریانس ژنتیکی ثابت فرض شود، آن‌چه باعث می‌گردد یک صفت در تنوع فنوتیپی و ژنتیکی متفاوت باشد، واریانس محیطی خواهد بود؛ به بیان بهتر در صورتی‌که صفتی تنوع فنوتیپی بالا و تنوع ژنتیکی پایین داشته باشد، این امر نشان‌دهنده اثر محیط است. هر اندازه که نسبت تنوع ژنتیکی به محیطی بیش‌تر باشد، کارایی گزینش افزایش خواهد یافت و شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب از نامطلوب به شکل صحیح‌تری انجام خواهد شد. نسبت بالای تنوع ژنتیکی به محیطی به ترتیب در صفات عملکرد قند خالص، عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص مشاهده شد.

مقادیر ضریب تنوع ژنتیکی میزان تنوع میان ژنوتیپ‌ها را به نمایش می‌گذارد و قادر به مشخص نمودن میزان به ارث رسیدن این تنوع نیست. این شاخص به همراه وراثت‌پذیری، تخمین مناسبی از پیشرفت ژنتیکی در گزینش فنوتیپی را فراهم می‌آورد (۲۷). بیش‌ترین میزان توارث‌پذیری عمومی (۸۷/۸٦ درصد) برای صفت عملکرد قند خالص به‌دست آمد. پس از آن، عملکرد ریشه دارای بیش‌ترین میزان توارث‌پذیری عمومی (۸۱/٥٦ درصد) بود. توارث‌پذیری بالا برای یک صفت الزاماً مؤید پیشرفت ژنتیکی بالا نخواهد بود. به‌کارگیری هم‌زمان دو پارامتر بسیار مهم توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی، نقش دارای اهمیتی در تهیه ارقام و ژنوتیپ‌ها ایفا می‌نماید. میزان بالای پیشرفت ژنتیکی نشان‌دهنده عمل افزایشی ژن و پایین بودن آن بیانگر عمل غیرافزایشی ژن است. اگر وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالا با یکدیگر همراه شوند، مبین اثرات افزایشی ژن‌ها خواهد بود؛ اما اگر وراثت‌پذیری بالا با پیشرفت ژنتیکی پایین همراه شود، نشان‌دهنده اثرات غالبیت خواهد بود (۲۸). پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار در شدت انتخاب ۱۰ درصد به‌صورت درصدی از میانگین برآورد شد. صفاتی که پیشرفت ژنتیکی بیش از ۲۰ درصد داشتند، به‌عنوان صفات با پیشرفت ژنتیکی بالا، صفاتی که پیشرفت

ژنتیکی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد داشتند، به‌عنوان صفات با پیشرفت ژنتیکی متوسط و صفاتی که پیشرفت ژنتیکی کم‌تر از ۱۰ درصد داشتند، به‌عنوان صفات با پیشرفت ژنتیکی پایین شناخته شدند. با توجه به نحوه گروه‌بندی بر اساس مقادیر پیشرفت ژنتیکی، صفات مورد بررسی به دو گروه صفات با پیشرفت ژنتیکی متوسط و پایین تقسیم شدند. صفت عملکرد ریشه با ۱۱/۷۴ درصد، از پیشرفت ژنتیکی متوسط و سایر صفات مورد ارزیابی از پیشرفت ژنتیکی پایین برخوردار بودند. وراثت‌پذیری بالا همراه با پیشرفت ژنتیکی متوسط برای صفت عملکرد ریشه مشاهده گردید که نشان‌دهنده اثرات افزایشی ژن‌ها است. درصد قند ملاس دارای کم‌ترین مقادیر توارث‌پذیری عمومی (۲/۹۹ درصد) و ضریب پیشرفت ژنتیکی (۰/۰۳ درصد) بود (جدول ٤).

**جدول ٤- میانگین، اجزای واریانس فنوتیپی، ژنتیکی و محیطی صفات مورد مطالعه در فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند.**

**Table 4. Mean, components of phenotypic, genetic and environmental variance of studied traits in sugar beet alf sibs.**

| صفت Trait | واریانس فنوتیپی PV | واریانس ژنتیکی GV | واریانس محیطی EV | ضریب تنوع فنوتیپی PCV | ضریب تنوع ژنتیکی GCV | ضریب تنوع محیطی ECV | نسبت ضریب تنوع ژنتیکی به محیطی GCV/ECV | توارث پذیری عمومی h2b | ضریب پیشرفت ژنتیکی GA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد ریشه Root yield | 67.24 | 54.84 | 12.40 | 19.65 | 17.75 | 19.65 | 0.90 | 81.56 | 11.74 |
| درصد قند ناخالص Sugar content | 0.98 | 0.27 | 0.71 | 5.29 | 2.76 | 5.29 | 0.52 | 27.25 | 0.47 |
| عملکرد قند ناخالص Sugar yield | 4.09 | 1.61 | 2.48 | 25.96 | 16.29 | 25.96 | 0.63 | 39.39 | 1.40 |
| عملکرد قند خالص White sugar yield | 1.65 | 1.45 | 0.20 | 20.02 | 18.77 | 20.02 | 0.94 | 87.86 | 1.98 |
| درصد قند خالص White sugar content | 1.83 | 0.34 | 1.49 | 8.82 | 3.78 | 8.82 | 0.43 | 18.40 | 0.44 |
| ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar | 15.42 | 0.66 | 14.76 | 4.80 | 0.99 | 4.80 | 0.21 | 4.26 | 0.29 |
| قند ملاس Molasses sugar | 0.27 | 0.01 | 0.26 | 18.72 | 3.23 | 18.72 | 0.17 | 2.99 | 0.03 |

PV: Phenotypic variation, GV: Genotypic variation, EV: Environmental variation, PCV: Phenotypic coefficient of variation, GCV: Genotypic coefficient of variation, ECV: Environmental coefficient of variation, h2b: Broad sense heritability, GA: Genetic advance coefficients

ضرایب همبستگی صفات موردمطالعه ژنوتیپ‌های چغندرقند در جدول ۵ نشان داده شده است. بیش‌ترین همبستگی مثبت بین عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص به میزان ۰/۹۹ در سطح احتمال یک درصد به دست آمد. این میزان همبستگی بالا بین دو صفت نامبرده مبین آن است که با افزایش میزان عملکرد قند ناخالص به موازات آن عملکرد قند خالص نیز افزایش یافته است. به دنبال آن صفات

عملکرد ریشه با عملکرد قند ناخالص (r=۰/۹۸)، عملکرد ریشه با عملکرد قند خالص (r=۰/۹۷) و درصد قند ناخالص با درصد قند خالص (r=۰/۹۶) و درصد قند خالص با ضریب استحصال شکر (r=۰/۹۰) بیش‌ترین میزان همبستگی مثبت را در سطح احتمال یک درصد به خود اختصاص دادند. یکنواختی در جوانه‌زنی، استقرار و توسعه سریع گیاهچه‌ها منجر می‌شود تا گیاهان پرتوهای نوری بیش‌تری را برای فتوسنتز دریافت کرده که در نتیجه باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود (۲۹، ۳۰، ۳۱). بیش‌ترین همبستگی منفی بین ضریب استحصال شکر و درصد قند ملاس به میزان ۰/۹۵- در سطح احتمال یک درصد حاصل شد. به‌طورکلی بین عملکرد قند خالص و صفات عملکرد قند ناخالص، ضریب استحصال شکر، درصد قند خالص و درصد قند ناخالص همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. در حالی‌که همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین عملکرد قند خالص و درصد قند ملاس مشاهده شد.

ارتباط مثبت بین ضریب استحصال شکر و عملکرد قند خالص را می‌توان به جزء مشترک این دو صفت یعنی درصد قند خالص نسبت داد، به‌طوری‌که با افزایش درصد قند خالص، بر هر دو صفت افزوده خواهد شد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین درصد قند خالص با ضریب استحصال شکر و عملکرد قند خالص نیز دلیلی بر این ادعاست. هم‌چنین درصد قند ناخالص نیز با عملکرد قند خالص دارای جزء مشترک درصد قند خالص است که با افزایش درصد قند خالص بر مقدار هر دو صفت افزوده می‌شود. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار درصد قند ناخالص و عملکرد قند خالص با نتایج میرمحمودی (۳۲) انطباق دارد. همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار عملکرد ریشه با عملکرد قند ناخالص توسط حمیدی و همکاران (۳۳) گزارش شده است. احمدی و همکاران (۳٤) نیز نشان دادند که صفت عملکرد ریشه همبستگی معنی‌داری با عملکرد قند ناخالص دارد.

**جدول ۵- همبستگی بین صفات مورد مطالعه در فامیل‌های نیمه‌خواهری مختلف چغندرقند.**

**Table 5. Correlation among studied traits in the different genotypes of sugar beet.**

| صفات | ۱- عملکرد ریشه Root yield | ۲- درصد قند ناخالص Sugar content | ۳- عملکرد قند ناخالص Sugar yield | ٤- عملکرد قند خالص White sugar yield | ۵- درصد قند خالص White sugar content | ٦- ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar | ۷- درصد قند ملاس Molasses Sugar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.00 | | | | | | |
| 2 | 0.12$^{ns}$ | 1.00 | | | | | |
| 3 | 0.98$^{**}$ | 0.27$^{**}$ | 1.00 | | | | |
| 4 | 0.97$^{**}$ | 0.32$^{**}$ | 0.99$^{**}$ | 1.00 | | | |
| 5 | 0.15$^{ns}$ | 0.96$^{**}$ | 0.29$^{**}$ | 0.36$^{**}$ | 1.00 | | |
| 6 | 0.22$^{*}$ | 0.77$^{**}$ | 0.31$^{**}$ | 0.39$^{**}$ | 0.90$^{**}$ | 1.00 | |
| 7 | -0.21$^{*}$ | -0.54$^{**}$ | -0.25$^{**}$ | -0.33$^{**}$ | -0.74$^{**}$ | -0.95$^{**}$ | 1.00 |

$^{ns}$، $^{*}$ و $^{**}$ به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

با توجه به این‌که انتخاب بر اساس همبستگی‌های ساده نمی‌تواند به‌تنهایی نتایج کاملاً مطلوبی داشته باشد. زیرا آن‌ها اطلاعات ناقصی از اهمیت نسبی اثرات مستقیم و غیرمستقیم عامل‌های فردی درگیر را فراهم می‌کنند؛ بنابراین تعیین اثر مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر عملکرد قند خالص ضروری می‌باشد. در این راستا انجام رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت اهمیت ویژه‌ای دارد.

جهت بررسی تأثیر هر یک از صفات مورد مطالعه بر متغیر وابسته و نیز کاهش تعداد متغیرهای مستقل و تعمیم مناسب‌ترین مدل رگرسیونی، از رگرسیون گام به گام به روش گزینش صعودی استفاده شد. در تجزیه رگرسیونی گام به گام عملکرد قند خالص به‌عنوان متغیر وابسته در برابر سایر صفات مورد مطالعه به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. طبق نتایج حاصل از صفات ارزیابی‌شده (جدول ٦)، دو صفت شامل عملکرد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر وارد مدل رگرسیونی شدند. این دو صفت در مجموع بیش از ۹۹ درصد از تغییرات متغیر وابسته عملکرد قند خالص را توجیه نموده، بنابراین در مدل باقی‌مانده و تجزیه علیت با این صفات انجام گرفت.

**جدول ٦- مراحل رگرسیون گام به گام برای عملکرد قند خالص به عنوان متغیر تابع و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل.**

**Table 6. Stepwise regression process for white sugar yield as the dependent variable and other traits as independent variables.**

| 2 | 1 | متغیر اضافه شده به مدل Variable added to the model |
|---|---|---|
| -5.539 | -0.020 | عد ثابت Constant |
| 0.824 | 0.831 | عملکرد قند ناخالص Sugar yield |
| 0.067 | | ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar |
| 0.998 | 0.992 | ضریب تبیین ($R^2$) |

به‌منظور تفسیر جامع و کامل‌تری از همبستگی‌های ساده و رگرسیون گام به گام و هم‌چنین درک بهتر روابط علت و معلولی برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات از تجزیه علیت استفاده شد. تجزیه علیت بر روی صفات واردشده به مدل رگرسیونی صورت پذیرفت و نتایج حاصل از آن در جدول ۷ ارائه شد. در این تجزیه عملکرد قند خالص به‌عنوان متغیر وابسته در برابر سایر صفات واردشده به مدل به‌عنوان متغیرهای مستقل، به‌منظور تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر یک از این متغیرها با متغیر وابسته قرار داده شد. طبق نتایج حاصل از تجزیه علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی، صفت عملکرد قند ناخالص (۰/۹٦۱) بیش‌ترین اثر مستقیم مثبت و فزاینده را بر عملکرد قند خالص دارد. براساس تجزیه رگرسیون گام به گام نیز عملکرد قند ناخالص اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد. صفت ضریب استحصال شکر (۰/۰۹۱) دارای اثر مستقیم مثبت و جزیی بعد از صفت عملکرد قند خالص بود که منطبق با نتایج حاصل از رگرسیون گام به گام است. بر اساس نتایج، اثرات مستقیم با افزایش در میزان عملکرد قند ناخالص و ضریب استحصال شکر، میزان عملکرد قند خالص را افزایش خواهند داد. با توجه به این‌که دو صفت عملکرد ریشه و درصد قند خالص، اجزای اصلی عملکرد قند خالص

محسوب می‌شوند، در نتیجه به‌منظور داشتن عملکرد قند خالص ایده‌آل و بسیار خوب، باید هر دو ویژگی نامبرده در فامیل‌های نیمه‌خواهری افزایش یابد.

تجزیه خوشه‌ای به روش وارد بر روی صفات مورد مطالعه انجام شد. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۱)، ۹۰ لاین نیمه‌خواهری و چهار شاهد را بر اساس همه صفات مورد ارزیابی به سه گروه متمایز (جدول ۸) تفکیک کرد. گروه اول شامل ۳۲ ژنوتیپ بود که فامیل‌های نیمه‌خواهری با میانگین بالای عملکرد قند خالص، عملکرد قند ناخالص و عملکرد ریشه در این گروه قرار داشتند به‌طوری‌که این گروه دارای مقادیر عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، عملکرد قند خالص و درصد قند ملاس بیش‌تر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بودند. هم‌چنین دو رقم فرناندو و پائولتا به عنوان ارقام شاهد خارجی مقاوم به بیماری‌های نماتد مولد سیست و ریزومانیا در این گروه جای گرفتند. بنابراین ژنوتیپ‌های گروه مزبور دارای بیش‌ترین میزان مقاومت به بیماری‌های نماتد مولد سیست و ریزومانیا بودند. گروه دوم متشکل از ۲۸ فامیل نیمه‌خواهری بود که از نظر عملکرد قند خالص، عملکرد قند ناخالص قند و عملکرد ریشه دارای میانگین متوسطی بودند. از ۹٤ ژنوتیپ مورد مطالعه، ۳٤ ژنوتیپ گروه سوم را تشکیل دادند. این گروه برای اکثر صفات دارای میانگین پایینی بودند به طوری‌که از نظر همه صفات به استثنای درصد قند ملاس دارای مقادیر پایین‌تر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها بودند. لازم به ذکر است که دو شاهد آریا و شریف در این گروه جای گرفتند. بین هر سه گروه از نظر صفات شاخص عملکرد (عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص) تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۸).

رجبی و همکاران (۳۵) با بررسی تنوع ژنتیکی در توده‌های چغندرقند برای صفات زراعی و کیفی محصول در تجزیه خوشه‌ای نشان دادند که تعدادی از ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مؤثر در عملکرد ریشه، مقادیر بالاتری را به خود اختصاص دادند. آن‌ها نشان دادند که از ژنوتیپ‌های این گروه می‌توان در برنامه‌های دورگ‌گیری استفاده کرد.

**جدول ۷- نتایج تجزیه علیت در فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند.**

**Table 7. Results of path analysis in sugar beet half-sib families.**

| صفت Trait | اثر مستقیم Direct effect | اثر غیرمستقیم Indirect effect | | ضریب همبستگی با عملکرد قند خالص Correlation coefficient with sugar yield |
|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد قند ناخالص Sugar yield | ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar | |
| عملکرد قند ناخالص Sugar yield | 0.961 | - | 0.298 | 0.99** |
| ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar | 0.091 | 0.028 | - | 0.39** |
| باقی‌مانده Residual | | | 0.11 | |

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 1% probability level

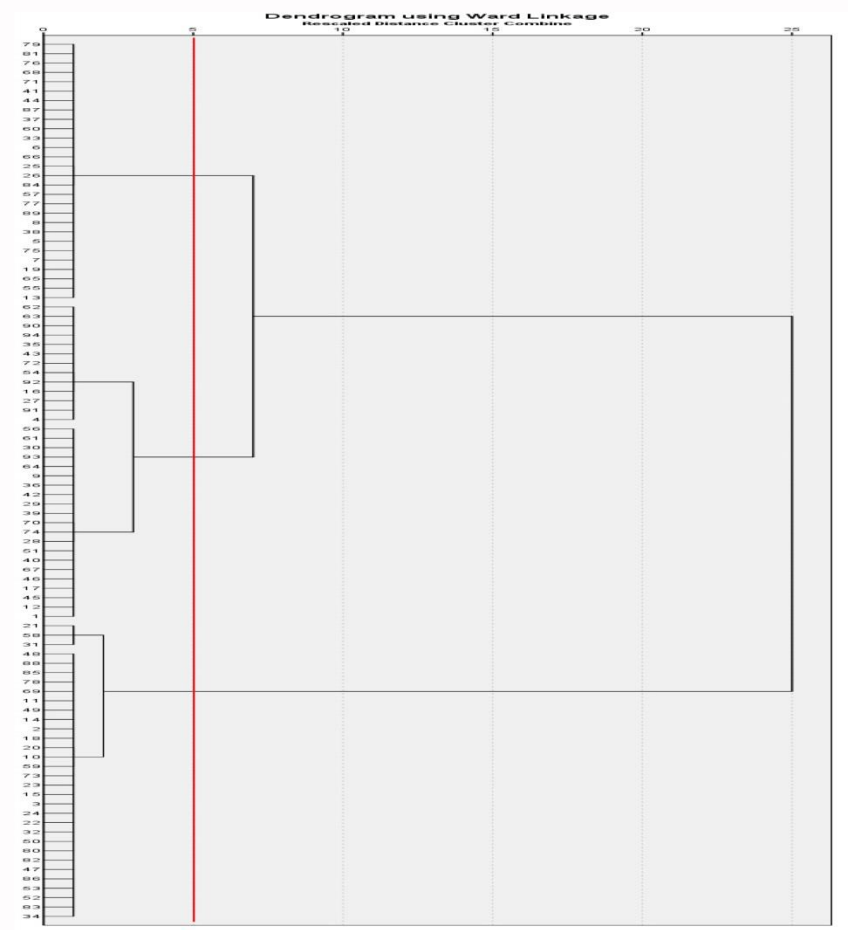
جدول ۸- مقایسه میانگین گروه‌ها از لحاظ صفات مورد مطالعه در شرایط آلودگی طبیعی به نماتد مولد سیست و ریزومانیا.

**Table 8. Comparison of mean groups in terms of under natural infection conditions to cyst nematode and rhizomania diseases.**

| گروه Group | عملکرد ریشه Root yield | درصد قند ناخالص Sugar content | عملکرد قند ناخالص Sugar yield | عملکرد قند خالص White sugar yield | درصد قند خالص White sugar content | ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar | درصد قند ملاس Molasses Sugar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گروه ۱ Group 1 | 59.05 a | 18.80 a | 11.11 a | 9.17 a | 15.52 a | 82.46 a | 2.68 a |
| گروه ۲ Group 2 | 42.09 b | 19.17 a | 7.96 b | 6.62 b | 15.95 a | 83.21 a | 2.61 a |
| گروه ۳ Group 3 | 26.41 c | 18.88 a | 4.98 c | 4.13 c | 15.64 a | 82.57 a | 2.66 a |
| میانگین Mean | 42.19 | 18.94 | 7.95 | 6.59 | 15.69 | 82.73 | 2.65 |

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند طبق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد متفاوت نیستند

Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level of probability according to Duncan's Multiple Range test




شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد بر اساس صفات مورد مطالعه در فامیل‌های نیمه‌خواهری چغندرقند.

**Fig. 1. Dendrogram in cluster analysis of sugar beet half-sib families based on studied traits using Ward's method.**

اسامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

## نتیجه‌گیری کلی

تنوع ژنتیکی گیاهان زراعی پایه و اساس توسعه پایدار است. بنابراین نیاز به شناسایی منابع ژنتیکی متنوع با استفاده از ابزارهای آماری مختلف و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی وجود دارد. در این پژوهش به بررسی تنوع ژنتیکی از نظر صفات مختلف بین فامیل‌های نیمه‌خواهری مختلف چغندرقند در شرایط آلودگی طبیعی به نماتد مولد سیست و ریزومانیا با به‌کارگیری روش‌های آماری پرداخته شد. نتایج نشان داد که بین فامیل‌های نیمه‌خواهری آزمایشی تنوع ژنتیکی معنی‌داری از نظر صفات شاخص عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و خالص وجود داشت به‌طوری‌که فامیل‌های نیمه‌خواهری آزمایشی در سه گروه متمایز از نظر همه صفات قرار گرفتند. از بین ۹۰ لاین نیمه‌خواهری مورد مطالعه، تعداد ۳۰ لاین دارای میانگین عملکرد قند خالص، عملکرد قند ناخالص و عملکرد ریشه بالایی بودند و با دو رقم شاهد مقاوم خارجی (فرناندو و پائولتا) در یک گروه قرار گرفتند. لاین‌های مزبور در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارای مقاومت بالایی نسبت به بیماری‌های نماتد مولد سیست و ریزومانیا بودند. بنابراین می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی آینده در راستای تهیه هیبریدهای مقاوم به بیماری‌های نماتد مولد سیست و ریزومانیا بهره جست.

## منابع


1. Mohammad-Yousefi, S., Ahmadi, M. & Najafi-Zarrini, H. (2017). Evaluation of the relationship between traits affecting stem shrub and root yield in sugar beet lines in autumn agriculture. *Journal of Plant Production*, 10(2), 11-28.
2. Haussmann, B. I., Parzies, H. K., Presterl. T., Susic, Z. & Miedaner. T. (2004). Plant genetic resources in crop improvement. *Plant Genetic Resources*, 2(1), 3-21.
3. Izadi-Darbandi, A., Bahmani, K., Ramshini, H. A. & Moradi, N. (2013). Heritability estimates of agronomic traits and essential oil content in iranian fennels. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, 1275-1283.
4. Pakniyat, M. (2008). Genetics and breeding of sugar beet. Shiraz University Press, 437p. [In Persian]
5. Saremirad, A., Taleb, M. H., Omrani, S. & Mostafavi, K. (2018). Genetic variation study for agro-morphological traits in safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 14(3), 23-32.
6. Saremirad, A., Bihamta, M. R., Malihipour, A., Mostafavi, K. & Alipour, H. (2020). Evaluation of Resistance of Some Iranian Spring Bread Wheat Cultivars to Stem Rust Disease at Seedling Stage. *Seed and Plant Journal*, 36(4), 383-401. **doi:10.22092/ sppi. 2021.123891.**
7. Hoogendijk, M. & Williams, D. E. (2002). Characterizing the genetic diversity of home garden crops: some examples from the Americas. *Home Gardens & In Situ Conservation of Plant Genetic Resources in Farming Systems*, 34(1), 1-10.
8. Podgornik, M., Vuk, I., Vrhovnik, I. & Mavsar, D. B. (2010). A survey and morphological evaluationof fig (*Ficus carica* L.) genetic resources from Slovenia. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 380-389.
9. Saremirad, A., Bihamta, M., Malihipour, A., Mostafai, K. & Alipour, H. (2021). Association mapping of bread wheat genotypes resistance to stem rust. Islamic Azad University of Karaj Branch, Alborz, Karaj, Iran.
10. Wang, B., Zhang, J., Yang, X. & Jiang, Z. (2009). Relationship of seed characters and seedling growth traits of Haloxylon ammodendron fromdifferent provenances with geographical and climatic factors. *Journal of Plant and Environmental Research*, 18(1), 28-35.

11. Liang, S., Rong, X., Sai, L., Chen, J., Changqing, X., Caixiang, X. & Tongning, L. (2015). Phenotypic variation of seed traits of Haloxylon ammodendron and its affecting factors. *Biochemical Systematics and Ecology*, 60(1), 81-87.
12. Huang, L., Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, X., Xie, W., Jiang, X., Peng, F., Yan, Y., Ma, X. & Liu, W. (2014). Genetic stability and DNA fingerprinting of the Hemarthria compressa cultivar "Guangyi". *Biochemical Systematics and Ecology*, 55(1), 310-316.
13. Gratani, L. (2014). Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances in Botanical Research*, 2014(1), 1-17.
14. Via, S., Gomulkiewicz, R., De Jong, G., Scheiner, S. M., Schlichting, C. D. & Van Tienderen, P. H. (1995). Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(5), 212-217.
15. Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M. C., Paulo, O. S., Loureiro, J. & Romeiras, M. M. (2018). Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, 9, 74-85.
16. 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.
17. Crops production and area harvested. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **http://www.fao.org/ faostat/en/ #data/QCL.**
18. 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. **doi:10.1038/nature12817.**
19. Anonymous. (1999). Agribusiness Handbooks, Sugar Beets/ White Sugar, vol 4.
20. Babaeei, A. H., Aharizad, S. & Mohammadi, S. A. (2013). Identification of effective traits on barley lines grain yield via path analysis. *Journal of Crop Breeding*, 5(11), 49-59. [In Persian]
21. 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. [In Persian]
22. Azizi, H., Pedram, A. & Fasahat, P. (2021). Identification of effective traits on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) root yield under natural infection conditions to rhizomania virus disease. *Journal of Crop Breeding*, 13(37), 197-204.
23. Abdollahian Noghabi, M., Sheikholeslami, R. & Babaei, B. (2005). Technical terms of sugar beet yield and quality. *Journal of Sugar Beet*, 21(1), 101-104. [In Persian]
24. Falconer, D. S., & Mackay, T. E. C. (1996). Introduction to quantitative genetics. Ronald press. New York.
25. Allard, R. (1960). Principles of Plant Breeding. Publishers by John Wiley and Sons. Inc New York: 485.
26. Singh, A. & Chaudhary, R. (1996). Dithizone and thiosemicarbazide as inhibitors of corrosion of type 304 stainless steel in 1·0M sulphuric acid solution. *British Corrosion Journal*, 31(4), 300-304.
27. Burton, G. W. & Devane, D. E. (1953). Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, 45(10), 478-481.
28. Johnson, H. W., Robinson, H. & Comstock, R. (1955). Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agronomy Journal*, 47(7), 314-318.

29.Sun, Y., Liang, J., Ye, J. & Zhu, W. (1999). Cultivation of super-high yielding rice plants. *China Rice*, 5, 38-39.
30.Thomas, H., Ougham, H. J., Wagstaff, C. & Stead, A. D. (2003). Defining senescence and death. *Journal of Experimental Botany*, 54(385), 1127-1132.
31.Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E. A., Vos, J. & Spiertz, H. J. (2003). A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of Botany*, 91(3), 361-371.
32.Mirmahmoudi, T., Fotouhi, K., Hamzeh, H. & Azizi, H. (2021). Evaluation of Quantitative and qualitative characteristics and relationship between traits in sugar beet genotypes under normal and salt stress conditions. Environ. Stress. *Crop Science*, 14(1), 221-233. [In Persian]
33.Hamidi, H., Ahmadi, M., Ramezanpour., S. S., Masoumi, A. & Khorramian, S. (2018). Estimation of heterosis and heritability of drought stress tolerance in test cross genotypes of sugar beet. Environ. Stress. *Crop Science*, 11(2), 275-288. [In Persian]
34.Ahmadi, M., Majidi Heravan, E., Sadeghian, S. Y., Mesbah, M. & Darvish, F. (2011). Drought tolerance variability in S1 pollinator lines developed from a sugar beet open population. *Euphytica*, 178, 339-349.
35.Rajabi, A., Moghaddam, M., Rahimzadeh, F., Mesbah, M. & Ranji, Z. (2002). Evaluation of, genetic diversity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) populations for agronomic traits and crop quality. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 33(3), 553-567. [In Persian]