

ارزیابی پاسخ لاین‌های نیمه‌خواهری چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) نسبت به تنش خشکیداریوش طالقانی<sup>۱\*</sup>، علی صارمی‌راد<sup>۱</sup>

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

\* مسئول مکاتبه: [d.taleghani@areeo.ac.ir](mailto:d.taleghani@areeo.ac.ir)

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.329271.1190

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲

## چکیده

کمبود منابع آب و بالطبع آن خشکی در زمره شدیدترین عوامل تنش‌زای محیطی قرار دارد که بر رشد و بهره‌وری محصول چغندرقد تأثیر نامطلوبی می‌گذارد. با این وجود، بهره‌وری آب این گیاه را می‌توان با استفاده از ژنوتیپ‌های متحمل در برابر کمبود آب ارتقا بخشید. در مطالعه حاضر به ارزیابی لاین‌های گرده‌افشان چغندرقد که با هدف ایجاد والد‌های پدري متحمل به خشکی طی یک برنامه به‌نژادی مدون در طول چندین سال انجام شده بود، پرداخته شد. بدین منظور آزمایشی با ۲۰ لاین گرده‌افشان و سه لاین شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو محیط آبیاری نرمال و تنش خشکی در سال ۱۳۹۳ با سه تکرار اجرا گردید. بر اساس میزان عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش خشکی شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش برآورد شدند که در میان آن‌ها شش شاخص بهره‌وری متوسط، بهره‌وری متوسط ژنومتریکی، تحمل به تنش، میانگین هارمونیک، عملکرد و مقاومت به خشکی همبستگی مثبت و قابل ملاحظه‌ای با عملکرد ریشه تحت هر دو شرایط نرمال و تنش داشتند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی عملکرد ریشه در هر دو شرایط و شاخص‌های برآورد شده نشان داد که دو مؤلفه اول در مجموع بیش از ۹۹ درصد تغییرات را تبیین می‌کند. بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده از تجزیه به مؤلفه اصلی، مؤلفه اول تحت عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد ریشه و تحمل به خشکی و مؤلفه دوم تحت عنوان مؤلفه حساسیت به خشکی نام‌گذاری شدند. در نهایت بر اساس نتایج حاصله، سه لاین S1-950077، S1-950123 و S1-950116 تحت عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: چغندر علوفه‌ای، گرده‌افشان، همبستگی، MGIDI

## مقدمه

کشاورزی و بهینه‌سازی بهره‌وری آن یک امر حیاتی و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

چغندرقد یکی از گیاهان مهم صنعتی است که تحت تأثیر کمبود آب قرار گرفته و عملکرد آن به لحاظ کمی و کیفی با کاهش مواجه می‌گردد. جایگاه چغندرقد در تغذیه جامعه بشری بر کسی پوشیده نیست. ریشه چغندرقد در تهیه شکر سفید (قند چای) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Akyüz and Ersus, 2021). ملاس، تفاله و الکل اتیلیک محصولات جانبی هستند که در طول تولید شکر سفید به دست می‌آیند و در صنایع مختلف به کار گرفته می‌شوند (Tomaszewska et al., 2018). برخلاف برگ‌های دیگر گیاهان، برگ چغندرقد دارای پروتئین بالایی بین ۱۹/۴ تا ۲۲/۸ درصد به‌صورت خشک است (Lammens et al., 2012; Tenorio et al., 2017). علاوه بر این، برگ این گیاه دارای ترکیب اسیدهای آمینه متعادل است (Akyüz and Ersus, 2021)؛ به‌ویژه اسیدهای آمینه ضروری مانند لوسین، والین، فنیل آلانین، لیزین، ترئونین، ایزولوسین و متیونین که کیفیت تغذیه از برگ چغندرقد را

جمعیت جهان در حال حاضر حدود هفت میلیارد نفر برآورد شده است و انتظار می‌رود که تا سال ۲۰۵۰ میلادی این میزان جمعیت جهان به ۹/۷ میلیارد نفر افزایش یابد (United Nations, 2019). طبیعتاً با رشد جمعیت تقاضای غذا نیز به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت. علاوه بر افزایش تقاضا برای مواد غذایی، مصرف آب نیز به‌موازات آن از یک‌سوی بیشتر خواهد شد، از سوی دیگر در حال حاضر نزدیک به ۴۰ درصد از زمین‌های جهان تحت شرایط خشک و نیمه‌خشک اقلیمی قرار گرفته‌اند و با کمبود منابع آبی مواجه هستند (Elias et al., 2001). از طرفی کشاورزی آبی نیز اصلی‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین محسوب می‌شود و بیش از ۴۵ درصد مواد غذایی جهان با این روش کشاورزی تولید می‌گردند (Beyazgül et al., 2000). بر این اساس کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی است (Abdelaal et al., 2018; Hafez et al., 2020; Saremirad and Mostafavi, 2020). لذا به‌کارگیری صحیح آب در

حساس به وفور به کار گرفته شده و نتایج ارزشمندی را به همراه داشته‌اند. طی مطالعه‌ای که با هدف شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی در چغندر قند صورت پذیرفت، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش از میان ۴۹ لاین مورد آزمایش چندین ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی نمودند (Sadeghian *et al.*, 2000). در آزمایش دیگری که به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های چغندر قند متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش انجام دادند، موفق به شناسایی دو ژنوتیپ متحمل شدند (Bazrafshan *et al.*, 2009).

مطالعه حاضر با هدف بررسی واکنش لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند از لحاظ عملکرد ریشه نسبت به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت و تعیین بهترین لاین از نظر تحمل به تنش به‌منظور استفاده به‌عنوان والد پدری برای تهیه هیبریدهای چغندر قند متحمل به خشکی پلی‌ریزی و به مرحله اجرا درآمد.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری واقع در شمال غرب شهرستان کرج طی سال ۱۳۹۳ اجرا گردید. کرج در ۴۵ کیلومتری غرب تهران قرار گرفته است. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۳۲۱ متر می‌باشد. از نظر مختصات جغرافیایی در ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه ۴۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. بر اساس بررسی‌های بلندمدت اداره کل هواشناسی استان البرز (Anonymous, 2021)، کرج دارای آب و هوای استوایی سرد با میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد بوده و مجموع بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس اقلیم‌بندی، منطقه کرج دارای حدود ۲۰۳ روز خشکی در سال است. در نتیجه دارای اقلیمی حد واسط نیمه بیابانی خفیف تا مدیترانه‌ای گرم و خنک می‌باشد. از نظر اقلیم‌بندی در اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل قرار

آشکار می‌کند (Kiskini *et al.*, 2016). به‌طور کلی اسیدهای آمینه ضروری از غذاهای حیوانی مانند گوشت، ماهی، شیر و تخم‌مرغ تأمین می‌شوند؛ با این حال، امروزه با افزایش جمعیت جهان و رژیم گیاه‌خواری، نیاز به منابع جایگزین پروتئین گیاهی وجود دارد؛ بنابراین، برگ چغندر قند با توجه به داشتن پروتئین بالا می‌تواند منبع خوبی برای تأمین پروتئین باشد و تولید این ترکیبات ارزشمند باعث تجدید ارزش زبله‌های کشاورزی صنعتی می‌شود (Akyüz and Ersus, 2021).

یکی از راهکارهای مقابله با تنش ناشی از کمبود آب، اصلاح و تولید ارقام متحمل به خشکی است (Saremirad and Mostafavi, 2018). در این ارتباط برنامه‌های به‌نژادی باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که با کاهش تعداد دفعات آبیاری و بالطبع آن کاهش مصرف آب، حداکثر تولید کمی و کیفی محصول حاصل گردد. شناسایی منابع ژنی برای به‌کارگیری آن‌ها در برنامه‌ها اصلاحی و افزایش تحمل به خشکی و نهایتاً ایجاد ثبات در عملکرد گام مؤثری تلقی می‌شود (Saremirad and Mostafavi, 2020). تاکنون شاخص‌های متعددی بر اساس روابط ریاضی میان شرایط تنش و عدم تنش با هدف شناسایی ارقام متحمل در برابر تنش‌های محیطی معرفی شده است. شاخص بهره‌وری متوسط<sup>۱</sup> (Rosielle and Hamblin, 1981)، بهره‌وری متوسط ژنومتریکی<sup>۲</sup> (Fernandez, 1992)، شاخص تحمل به تنش<sup>۳</sup> (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص حساسیت به تنش<sup>۴</sup> (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص تحمل به تنش فرناندز<sup>۵</sup> (Fernandez, 1992)، شاخص میانگین هارمونیک<sup>۶</sup> (Fernandez, 1992; Schneider *et al.*, 1997)، شاخص نسبی خشکی<sup>۷</sup> (Fischer and Wood, 1979)، شاخص پایداری عملکرد<sup>۸</sup> (Bousslama and Schapaugh, 1984)، شاخص عملکرد<sup>۹</sup> (Gavuzzi *et al.*, 1997)، شاخص خشکی<sup>۱۰</sup> (Lan, 1998) و شاخص درصد حساسیت به تنش<sup>۱۱</sup> (Mousavi *et al.*, 2008) از جمله شاخص‌های پرکاربردی هستند که به‌وسیله پژوهش‌گران مختلف به‌منظور شناسایی و تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل و

7- Relative Drought Index

8- Yield Stability Index

9- Yield Index

10- Drought Index

11- Stress Susceptibility Percentage Index

1- Mean Productivity

2- Geometric Mean Productivity

3- Tolerance Index

4- Stress Susceptibility Index

5- Stress Tolerance Index

6- Harmonic Mean Index

(۳) شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992)

$$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{\bar{Y}_p^2}$$

(۴) شاخص میانگین هارمونیک (Fernandez, 1992; Schneider *et al.*, 1997)

$$HM = \frac{2(Y_p)(Y_s)}{Y_p + Y_s}$$

(۵) شاخص عملکرد (Gavuzzi *et al.*, 1997)

$$YI = \left( \frac{Y_s}{\bar{Y}_s} \right)$$

(۶) شاخص مقاومت به خشکی (Lan, 1998)

$$DI = \frac{Y_s \left( \frac{Y_s}{\bar{Y}_p} \right)}{\bar{Y}_s}$$

(۷) شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$TOL = Y_p - Y_s$$

(۸) شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978)

$$SSI = \frac{\left[ 1 - \frac{Y_s}{\bar{Y}_p} \right]}{SI}$$

(۹) شاخص درصد حساسیت به تنش (Mousavi *et al.*, 2008)

$$SSPI = \left( \frac{Y_p - Y_s}{2(\bar{Y}_p)} \right) \times 100$$

(۱۰) شاخص پایداری عملکرد (Bouslama and Schapaugh, 1984)

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

(۱۱) شاخص خشکی نسبی (Fischer and Wood, 1979)

$$RDI = \frac{\left( \frac{Y_s}{\bar{Y}_p} \right)}{\left( \frac{Y_s}{\bar{Y}_p} \right)}$$

در این روابط  $Y_p$  عملکرد ریشه لاین مورد نظر در محیط عدم تنش،  $Y_s$  عملکرد ریشه لاین مورد نظر در شرایط محیطی تنش،  $\bar{Y}_s$  متوسط عملکرد ریشه لاین‌ها در شرایط تنش،  $\bar{Y}_p$  متوسط عملکرد ریشه لاین‌ها در محیط عدم تنش و  $SI$  شاخص تنش که مقدار آن بین صفر و یک است و با فرمول  $SI = \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}$  محاسبه می‌شود، هستند.

برای مقایسه میانگین عملکرد به روش چند دامنه‌ای دانکن، محاسبه شاخص‌های کمی تحمل و حساسیت به تنش خشکی، ضرایب همبستگی میان شاخص‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی،

دارد (Anonymous, 2021). برخی از خصوصیات هواشناسی در جدول ۱ ارائه شده است.

پیش از اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب خاک تهیه و به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد و نتایج آن در جدول ۲ خلاصه گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی اجرا شد. تیمار آزمایشی -شامل ۲۰ لاین S1 چغندر قند (این لاین‌ها در نتیجه تلاقی میان چغندر علوفه‌ای (با کد ۷۲۲۱) مقاوم در برابر خشکی و یک رقم اوتایپ (O-type) منوژرم طی سال‌ها برنامه اصلاحی با هدف تولید والد پدری برای تهیه هیبریدهای چغندر قند متحمل به خشکی ایجاد شدند) و نیز سه شاهد شامل لاین متحمل IR7، لاین حساس ۱۹۱ و یک ژنوتیپ از جمعیت اصلاحی اولیه با کد ۱۱۰ بود (جدول ۳). بذور در ردیف‌های هشت متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متری روی ردیف‌ها، فاصله ۵۰ سانتی‌متری بین ردیف‌ها و عمق کاشت ۳-۵ سانتی‌متری با استفاده از ماشین کشت آبیورد در هفته آخر فروردین ماه کشت شدند. طی مرحله داشت جهت مبارزه با علف‌های هرز، وجین دستی صورت پذیرفت. آبیاری هر دو آزمایش تا مرحله چهار برگی به‌صورت یکسان انجام شد. از این مرحله به بعد، در شرایط مطلوب، آبیاری بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر (Orazizadeh *et al.*, 2016; Sadeghzadeh Hedayati *et al.*, 2017) و در شرایط تنش خشکی بر اساس ۲۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. در پایان دوره رشد برداشت هر یک از آزمایش‌ها با شمارش و توزین ریشه‌های هر کرت آزمایشی صورت پذیرفت و در نهایت عملکرد ریشه هر لاین به تن در هکتار تعمیم یافت. پس از حصول داده‌ها برای شناسایی لاین‌های متحمل و حساس از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به‌قرار ذیل بهره برده شد:

(۱) شاخص بهره‌وری متوسط (Rosielle and Hamblin, 1981)

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

(۲) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط (Fernandez, 1992)

$$GMP = \sqrt{Y_p - Y_s}$$

ترسیم نمودار گرافیکی چند متغیره بای پلات، نمودارهای سه بعدی و نیز تجزیه خوشه‌ای به روش Ward و فاصله اقلیدسی به عنوان معیار تشابه از نرم افزار R استفاده گردید.

جهت محاسبه شاخص فاصله چند متغیره از لاین ایده آل (MGIDI) از مدل پیشنهاد شده توسط اولیوتو و ناردینو (Olivoto and Nardino, 2021) در نرم افزار R استفاده شد.

جدول ۱- میانگین دمای حداقل و حداکثر، میزان بارندگی و میانگین سرعت باد کرج در زمان اجرای پروژه

Table 1- Average minimum and maximum temperature, rainfall and average wind speed in Karaj at the time of project implementation

ماه Month	میانگین دمای حداقل Average of minimum temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر Average of maximum temperature (°C)	میزان بارندگی Rainfall (mm)	میانگین سرعت باد average of wind speed (km.h <sup>-1</sup> )
فروردین 21 March-20 April	5.95	19.52	10.70	13
اردیبهشت 21 April-21 May	14.06	27.61	12.00	17
خرداد 22 May-21 June	16.66	31.85	21.50	19
تیر 22 June-22 July	20.84	36.79	0.00	12
مرداد 23 July-22 August	20.40	36.48	0.00	10
شهریور 23 August-22 September	18.15	33.53	0.00	11
مهر 23 September-22 October	11.51	24.66	12.80	14
آبان 23 October-21 November	4.52	14.88	23.90	10

جدول ۲- نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری کرج

Table 2- Results of some physical and chemical properties of soil of sugar beet research station Motahhari Karaj

عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	سدیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	آمونیم	هدایت الکتریکی EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	کربن آلی OC (%)
		Na	K	P	N	NH4			
0-30	Loam-clay	6.36	598.85	10.45	14.65	1.63	1.03	7.84	1.03

جدول ۳- مشخصات لاین‌های گرده افشان آزمایشی و -لاین‌های شاهد به کار رفته در آزمایش

Table 3- Specifications of experimental pollinator lines and control lines used in the experiment

شماره Number	کد لاین/شاهد Line code/control	شماره Number	کد لاین/شاهد Line code/control	شماره Number	کد لاین/شاهد Line code/control
1	S1- 950036	9	S1- 950064	17	S1- 950118
2	S1- 950040	10	S1- 950070	18	S1- 950119
3	S1- 950041	11	S1- 950074	19	S1- 950120
4	S1- 950044	12	S1- 950077	20	S1- 950123
5	S1- 950047	13	S1- 950079	21	110
6	S1- 950049	14	S1- 950111	22	191
7	S1- 950060	15	S1- 950114	23	IR7
8	S1- 950062	16	S1- 950116	-	-

## نتایج و بحث

## ارزیابی عملکرد ریشه لاین‌های اصلاحی

طبق نتایج به دست آمده (جدول ۴) دو شرایط نرمال و تنش خشکی باعث ایجاد پاسخ‌های بسیار متفاوتی در سطح احتمال یک درصد از نظر عملکرد ریشه لاین‌ها گردیدند. میان لاین‌ها نیز از نظر صفت مذکور تنوع قابل ملاحظه‌ای در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. برهمکنش ژنوتیپ-محیط نیز باعث ایجاد تفاوت از نظر عملکرد ریشه در سطح احتمال یک درصد گردید. این موضوع نشان می‌دهد که با توجه به شرایط مختلف محیطی، پاسخ لاین‌ها از لحاظ عملکرد ریشه متغیر می‌باشد؛ به بیان بهتر محیط سبب تغییر در رتبه عملکرد لاین‌ها از نظر عملکرد ریشه از محیطی به محیط دیگر شده است. نتایج تجزیه

واریانس مرکب حاکی از آن بود که بیش‌ترین مجموع مربعات کل به وسیله محیط (۳۹/۶۸ درصد) تبیین می‌شود؛ لذا چنین استنباط می‌گردد که محیط‌ها تأثیر بسزایی در تغییرات داده‌های مربوط به ویژگی عملکرد ریشه داشته است. پس از آن بالاترین واریانس توجیه شده به اثر ژنوتیپ (۳۳/۲۶ درصد) تعلق داشت که مؤید تنوع بالا در بین لاین‌های تحت آزمایش است. برهمکنش ژنوتیپ-محیط ۲۷/۰۱ درصد از تغییرات کل داده‌های عملکرد ریشه را توجیه نمود. کوچک بودن برهمکنش ژنوتیپ-محیط نشان می‌دهد که برهمکنش میان ژنوتیپ و محیط تأثیر پایینی نسبت به محیط و ژنوتیپ در تغییرات عملکرد ریشه لاین‌ها داشته است.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد ریشه در لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند

Table 4- Combined analysis of variance of root yield in sugar beet pollinator lines

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	واریانس توجیه شده
Source of variation	df	SS	MS	SS explained (%)
محیط	1	59823.25	59823.25**	39.68
Environment				
خطا ۱	4	17.54	4.38	0.01
Error 1				
ژنوتیپ	22	50147.61	2279.43**	33.26
Genotype				
برهمکنش ژنوتیپ-محیط	22	40724.21	1852.46**	27.01
Genotype-environment interaction				
خطا ۲	88	48.80	0.55	0.03
Error 2				
ضریب تغییرات			9.37	
Coefficient of variation (percentage)				

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

\*\* : Significant at 1% probability levels.

عملکرد ریشه در شرایط نرمال به لاین S1-950111 (۴۰/۹۸ تن در هکتار) و در شرایط تنش خشکی به لاین S1-950041 (۲۱/۳۷ تن در هکتار) اختصاص داشت. مقایسه لاین‌ها با شاهد‌های به کار گرفته شده در آزمایش نشان داد که در شرایط نرمال سه لاین S1-950123، S1-950114 و S1-950071 به ترتیب با عملکرد ریشه ۹۲/۲۸، ۸۲/۲۹ و ۸۰/۰۹ تن در هکتار در مقایسه با شاهد ۱۱۰ (۷۳/۶۶ تن در هکتار) که از والدین لاین‌های مورد مطالعه می‌باشد، عملکرد بالاتری داشتند (جدول ۵). دو شاهد متحمل (IR7) و حساس (۱۹۱) که در آزمایش به کار رفتند، در شرایط نرمال عملکرد ریشه (به ترتیب

نتایج مربوط به مقایسه میانگین عملکرد ریشه در شرایط نرمال، عملکرد ریشه در شرایط تنش خشکی، درصد تغییر هر لاین نسبت به هر یک از شاهد‌های مورد استفاده و درصد تغییر عملکرد ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال در جدول ۵ ارائه شده است. طبق نتایج به دست آمده، بین لاین‌ها از نظر عملکرد ریشه در هر دو شرایط نرمال (Yp) و تنش خشکی (Ys) تنوع قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، لاین S1-950123 با ۹۲/۲۸ تن در هکتار و لاین S1-950116 با ۷۰/۹۹ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد ریشه را به ترتیب در شرایط نرمال و تنش داشتند. کم‌ترین میزان

در رتبه لاین‌ها از نظر پتانسیل عملکرد ریشه در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال و عدم تأثیرپذیری یکسان آن‌ها، می‌تواند نشان‌دهنده حضور و عدم حضور ژن‌هایی باشد که در تحمل به تنش دخیل هستند؛ بنابراین می‌توان ادعان نمود، لاین‌هایی که تحت شرایط تنش خشکی افت عملکرد ریشه پایینی نشان دادند، احتمالاً حامل ژن‌هایی هستند که از والد متحمل به خشکی به ارث رسیده است. سایر محققین نیز کاهش ناشی از تنش خشکی را در عملکرد چغندر قند (Mohammadian *et al.*, 2002; Bazrafshan *et al.*, 2009 Earl and (Saremirad and Mostafavi, 2020) ذرت (Davis, 2003) و گندم (Nabipour *et al.*, 2002) گزارش کرده‌اند. مهم‌ترین دلیل که در خصوص کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی مطرح می‌باشد، کاهش سطح فتوسنتز گیاهان در نتیجه ریزش برگ‌ها است (Rauf and Sadaqat, 2007). مواد مغذی مورد نیاز گیاه به‌صورت محلول در آب در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد، زمانی که تنش خشکی حادث می‌شود، آب مورد نیاز برای در دسترس قرار دادن مواد غذایی محدود شده و در نتیجه آن بسیاری از جنبه‌های فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد که در نهایت به کاهش عملکرد منتهی می‌شود (Saremirad and Mostafavi, 2020). پتانسیل عملکرد در شرایط تنش خشکی معیار مناسبی جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نمی‌باشد؛ در مقابل پایداری عملکرد و مقایسه میزان عملکرد در هر دو شرایط تنش و نرمال می‌تواند معیار مطلوب‌تری باشد (Simane *et al.*, 1993). گزینش لاین‌ها بر اساس واکنش آن‌ها در هر دو شرایط سبب گرد هم آمدن و تجمع آل‌های مطلوب می‌شود و نهایتاً لاین‌های با پتانسیل عملکرد بالا انتخاب می‌گردند (Richards, 1996).

### ارزیابی لاین‌ها با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش اعم از YSI, SSPI, SSI, TOL, DI, YI, HM, STI, GMP, MP, RDI با هدف تعیین لاین‌های متحمل به تنش خشکی برآورد شدند و مقادیر آن‌ها برای هر یک از لاین‌ها به همراه نتایج مربوط به مقایسه میانگین آن‌ها در جدول ۶ ارائه شده است. میان لاین‌های تحت مطالعه از دیدگاه تمامی شاخص‌های برآورد

۵۰/۸۷ و ۴۷/۷۷ تن در هکتار) تقریباً برابری داشتند. لاین‌های S1- 950123, S1- 950114, S1- 950077, S1- 950074, S1- 950116, S1- 950119, S1- 950036, S1- 950060, S1- 950047, S1- 950120, S1- 950118 و S1- 950118 نسبت به شاهد متحمل عملکرد ریشه بالاتری را نشان دادند. طی مقایسه‌ای که میان لاین‌ها و شاهد‌ها در شرایط تنش خشکی صورت پذیرفت، تنها دو لاین S1- 950116 و S1- 950077 با عملکرد ۷۷/۹۹ و ۶۵/۳۴ تن در هکتار نسبت به شاهد والدی ارجحیت داشتند. در بین لاین‌های اصلاحی مورد مطالعه، شش لاین با کدهای S1- 950116, S1- 950077, S1- 950123, S1- 950074, S1- 950119 و S1- 950114 به ترتیب با عملکرد ریشه ۷۰/۹۹، ۶۵/۳۴، ۵۳/۰۱، ۵۱/۳۴، ۵۱/۰۸ و ۴۷/۱۶ تن در هکتار در قیاس با شاهد متحمل به خشکی برتری نشان دادند که از آن‌ها می‌توان به‌عنوان والد‌گرده‌افشان استفاده نمود. ۱۴ لاین در مقایسه با شاهد حساس عملکرد ریشه بالاتر و شش لاین عملکرد ریشه پایین‌تری داشت. لاین‌هایی که در شرایط تنش از شاهد حساس عملکرد کمتری بروز دادند، در شرایط نرمال نیز جز لاین‌های ضعیف به لحاظ عملکرد ریشه بودند، لذا بهتر است که از برنامه‌های اصلاحی کنار گذاشته شوند. برآورد درصد تغییر در عملکرد ریشه در نتیجه تنش خشکی حاکی از کاهش در دامنه ۰/۱۸ درصدی برای میانگین عملکرد ریشه لاین S1- 950116 تا ۵۱/۲۴ درصدی برای میانگین عملکرد ریشه لاین S1- 950060 در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط نرمال بود. بیشترین کاهش پس از لاین S1- 950060 به لاین‌های S1- 950041 و S1- 950047 به ترتیب با ۴۹/۵۲ و ۲۳/۴۸ درصد کاهش تعلق داشت (جدول ۵). در لاین S1- 950116 ۹۵٪ پایین‌ترین میزان کاهش عملکرد ریشه اتفاق افتاد که مبین تحمل بالای این لاین در برابر تنش خشکی می‌باشد. از طرفی لاین مذکور از نظر پتانسیل عملکرد ریشه نیز در هر دو شرایط عدم تنش و تنش به ترتیب در رتبه‌های ششم و اول قرار داشت که نشان‌دهنده این موضوع است که علاوه بر تحمل زیاد از عملکرد ریشه بالایی نیز برخوردار است. نظر به رتبه لاین‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی چنین استنباط می‌شود که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد ریشه با میزان مشخص در همه لاین‌های تحت بررسی نشده است و تغییر زیادی در رتبه‌بندی لاین‌ها نسبت به شرایط نرمال ایجاد کرده است. تغییر

پتانسیل عملکرد ریشه بالایی در هر دو شرایط نرمال و تنش داشته باشند. به‌نحوی که می‌توان لاین‌های مذکور را برای کشت در شرایط آبی معمول و نیز تنش ناشی از کمبود آب مناسب دانست. بنا بر نتایج حاصله، می‌توان اذعان نمود که چغندر علوفه‌ای ۷۲۲۱ حامل ژن‌های مؤثری در برابر تحمل به خشکی بوده است که در نتیجه تلاقی، این ژن‌ها به نتایج آن منتقل و سبب ایجاد لاین‌های متحمل به خشکی شده است. چغندر علوفه‌ای و چغندر قند به‌عنوان منابع ژنتیکی غنی تحمل به خشکی گزارش شده‌اند (Ober *et al.*, 2000) که نتایج مطالعه حاضر این موضوع را تأیید می‌کند.

شده، تفاوت آماری قابل ملاحظه‌ای وجود داشت. این موضوع مؤید تنوع ژنتیکی در بین لاین‌های اصلاحی از لحاظ تحمل در برابر تنش خشکی می‌باشد. مقادیر بالای عددی شاخص‌های *MP*, *GMP*, *STI*, *HM*, *YI* و *DI* نشانگر تحمل بالای لاین‌ها نسبت به تنش خشکی است (Rosielle and Hamblin, 1981; Fernandez, 1992; Gavuzzi *et al.*, 1997; Schneider *et al.*, 1997; Lan, 1998). طبق ارزیابی لاین‌ها بر اساس این شاخص سه لاین S1-950077، S1-950123 و S1-950116 و شاهد والدی ۱۱۰ در مقایسه با سایر لاین‌ها و شاهد‌ها توانسته‌اند، تنش خشکی را بیشتر تحمل کنند و

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد ریشه در شرایط نرمال و خشکی، درصد تغییر عملکرد در برابر شاهد‌ها و درصد تغییر عملکرد در اثر تنش خشکی  
Table 5- Comparison of mean root yield under normal and drought conditions, percentage change in yield compared to controls and percentage change in yield due to drought stress

لاین/شاهد Line/Control	شرایط نرمال Normal				شرایط تنش خشکی Drought stress				درصد تغییر عملکرد Percentage change in yield
	عملکرد Yield (t.ha <sup>-1</sup> )	شاهد ۱۱۰ Control 110 (%)	شاهد ۱۹۱ Control 191 (%)	شاهد IR7 Control IR7 (%)	عملکرد Yield (t.ha <sup>-1</sup> )	شاهد ۱۱۰ Control 110 (%)	شاهد ۱۹۱ Control 191 (%)	شاهد IR7 Control IR7 (%)	
S1 - 950036	60.42 d	-21.91	20.94	15.89	41.81 de	-48.91	28.94	-4.40	30.80
S1 - 950040	47.47 ef	-55.17	-0.63	-7.06	30.32 fg	-105.34	2.01	-43.96	36.13
S1 - 950041	42.33 fg	-74.01	-12.85	-20.06	21.37 g	-191.34	-39.03	-104.26	49.52
S1 - 950044	47.13 f	-56.29	-1.36	-7.83	31.26 f	-99.17	4.96	-39.64	33.67
S1 - 950047	54.53 de	-35.08	12.40	6.80	28.23 fg	-120.55	-5.24	-54.62	48.23
S1 - 950049	43.10 fg	-70.90	-10.84	-17.91	28.75 fg	-116.56	-3.34	-51.83	33.29
S1 - 950060	58.26 de	-26.43	18.01	12.77	28.41 fg	-119.15	-4.58	-53.64	51.24
S1 - 950062	42.69 fg	-72.55	-11.90	-19.04	30.14 fg	-106.57	1.43	-44.82	29.40
S1 - 950064	45.28 efg	-62.68	-5.50	-12.23	37.55 ef	-65.81	20.88	-16.25	17.07
S1 - 950070	48.82 ef	-50.88	2.15	-4.10	37.90 fg	-123.15	-6.49	-56.45	42.85
S1 - 950074	72.41 c	-1.73	34.03	29.82	51.34 cd	-21.27	42.13	14.98	29.10
S1 - 950077	80.09 b	8.03	40.35	36.55	65.34 b	4.71	54.53	33.20	18.42
S1 - 950079	46.53 efg	-58.31	-2.66	-9.22	40.16 e	-55.03	26.02	-8.89	13.69
S1 - 950111	40.98 g	-79.75	-16.57	-24.01	27.00 fg	-130.59	-10.04	-61.67	34.11
S1 - 950114	85.29 ab	13.64	43.99	40.42	47.16 d	-32.02	37.00	7.44	44.71
S1 - 950116	71.12 cd	-3.57	32.83	28.54	70.99 a	12.30	58.15	38.51	0.18
S1 - 950118	52.87 e	-39.32	9.65	3.88	40.14d ef	-55.11	25.98	-8.74	24.08
S1 - 950119	68.72 cd	-7.19	30.49	26.05	51.08 cd	-21.89	41.84	14.55	25.67
S1 - 950120	54.41 de	-35.38	12.20	6.60	35.41 ef	-75.83	16.10	-23.27	34.92
S1 - 950123	92.28 a	20.18	48.23	44.93	53.01 c	-17.45	43.95	17.66	42.56

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند. ترتیب گروه‌بندی میانگین‌ها از حروف بزرگ به حروف کوچک است.

In each column, means with at least one common letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test. The order of averages grouping is from uppercase to lowercase.

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و مقایسه میانگین لاین‌های آزمایشی از نظر هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه

Table 6- Values of stress tolerance and susceptible indices and mean comparison of experimental lines in terms of each of the studied indices

لاین/شاهد Line/Control	عملکرد در عملکرد در		MP	GMP	STI	HM	YI	DI	TOL	SSI	SSPI	YSI	RDI
	شرایط تنش	شرایط نرمال											
	Yp (t.ha <sup>-1</sup> )	Ys (t.ha <sup>-1</sup> )											
S1 - 950036	60.42d	41.81 de	51.12 d	50.26 c	0.76 d	49.42 c	1.04 de	0.72 d	18.61 de	1.01 d	16.13 cd	0.69 d	0.99 de
S1 - 950040	47.47 ef	30.32 fg	38.90 fg	37.9 def	0.43 ef	37.0 def	0.76 f	0.4 ef	17.15 de	1.19 c	14.86 cd	0.64 de	0.92 e
S1 - 950041	42.33 fg	21.37 g	31.85 g	30.08 f	0.27 f	28.40 g	0.53 g	0.27 g	20.96 d	1.63 ab	18.17 c	0.50 fg	0.73 fg
S1 - 950044	47.13 f	31.26 f	39.20 f	38.3 def	0.44 ef	37.59 de	0.78 f	0.52 e	15.87 e	1.11 cd	13.75 d	0.66 de	0.95 de
S1 - 950047	54.53 de	28.23 fg	41.38 ef	39.23 e	0.46 ef	37.20 e	0.70 f	0.3 fg	26.30 c	1.59 ab	22.79 b	0.52 fg	0.74 fg
S1 - 950049	43.10 fg	28.75 fg	35.93 fg	35.20 ef	0.37 f	34.49 ef	0.72 f	0.4 ef	14.35 def	1.09 cd	12.4 cde	0.67 de	0.96 de
S1 - 950060	58.26 de	28.41 fg	43.3 def	40.68 de	0.5 def	38.19 de	0.71 f	0.3 fg	29.85 b	1.68 a	25.87 b	0.49 g	0.70 g
S1 - 950062	42.69 fg	30.14 fg	36.42 fg	35.87 ef	0.39 ef	35.3 def	0.75 f	0.53 e	12.55 ef	0.97 d	10.88 de	0.71 cd	1.01 d
S1 - 950064	45.28 efg	37.55 ef	41.42 ef	41.23 de	0.5 def	41.0 cde	0.9 def	0.78 d	7.73 g	0.56 fg	6.70 f	0.83 b	1.19 b
S1 - 950070	48.82 ef	37.90 fg	38.36 fg	36.9 def	0.41 ef	35.5 def	0.70 f	0.40 f	20.92 d	1.41 b	18.13 c	0.57 ef	0.82 f
S1 - 950074	72.41 c	51.34 cd	61.8 bc	60.97 b	1.12 c	60.08 b	1.28 cd	0.91 c	21.07 d	0.96 d	18.26 c	0.71 cd	1.02 d
S1 - 950077	80.09 b	65.34 b	72.72 a	72.34 a	1.57 a	71.97 a	1.63 b	1.33 b	14.75 def	0.61 f	12.7 cde	0.82 b	1.17 b
S1 - 950079	46.53 efg	40.16 e	43.3 def	43.2 cde	0.56 e	43.11 cd	1.00 e	0.8 cd	6.37 g	0.45 g	5.52 f	0.86 b	1.24 b
S1 - 950111	40.98 g	27.00 fg	33.99 fg	33.26 ef	0.33 fg	32.55 fg	0.67 fg	0.4 ef	13.98 def	1.12 cd	12.1 cde	0.66 de	0.95 de
S1 - 950114	85.29 ab	47.16 d	66.23 b	63.42 b	1.21 c	60.74 b	1.18 d	0.6 de	38.13 a	1.47 b	33.05 a	0.55 f	0.79 f
S1 - 950116	71.12 cd	70.99 a	71.06 a	71.05 a	1.52 a	71.05 a	1.77 a	1.78 a	0.13 h	0.01 h	0.11 g	1.00 a	1.44 a
S1 - 950118	52.87 e	40.14 def	46.5 de	46.07 cd	0.64 de	45.63 cd	1.00 e	0.76 d	12.73 ef	0.79 e	11.03 de	0.76 c	1.09 c
S1 - 950119	68.72 cd	51.08 cd	59.90 c	59.25 b	1.05 c	58.60 b	1.27 cd	0.95 c	17.64 de	0.84 de	15.29 cd	0.74 c	1.07 c
S1 - 950120	54.41 de	35.41 ef	44.91 e	43.89 d	0.58 de	42.90 d	0.88 ef	0.57 e	19.00 de	1.15 cd	16.47 cd	0.65 de	0.94 de
S1 - 950123	92.28 a	53.01 c	72.65 a	69.94 a	1.47 a	67.34 a	1.32 c	0.76 d	39.27 a	1.40 b	34.04 a	0.57 ef	0.83 f
110	73.66 bc	62.26 b	67.9 ab	67.72 ab	1.38 b	67.48 a	1.55 b	1.31 b	11.40 f	0.51 fg	9.88 e	0.85 b	1021 b
191	47.77 ef	29.71 fg	38.74 fg	37.6 def	0.43 ef	36.6 def	0.74 f	0.4ef	18.06 de	1.24 c	15.65 cd	0.62 e	0.89 def
IR7	50.82 ef	43.65 de	47.24 de	47.10 cd	0.67 de	46.96 cd	1.09 de	0.93 c	7.17 g	0.46 fg	6.21 f	0.86 b	1.23 b

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند. ترتیب گروه‌بندی میانگین‌ها از حروف بزرگ به حروف کوچک است. MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی.

In each column, means with at least one common letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test. The order of averages grouping is from uppercase to lowercase. MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index.

TOL، هر اندازه لاینی از مقادیر عددی پایین‌تری برخوردار باشد، تحمل نسبی بالا و حساسیت به تنش پایین‌تری را بروز خواهد داد؛ در حقیقت طبق این شاخص‌ها لاینی متحمل تلقی می‌شود که عملکرد ریشه آن در شرایط تنش خشکی، به

لاین‌های S1- 950041 و S1- 950111 از نظر شاخص‌های نامبرده از تحمل و پتانسیل عملکرد ریشه پایین‌تری برخوردار بودند؛ لذا تحت عنوان لاین‌های حساس به خشکی بر اساس این شاخص‌ها معرفی شدند. از نظر شاخص‌های SSI و



می‌باشند (Moghaddam and Hadizadeh, 2002; Mohseni *et al.*, 2015). بر اساس دو شاخص YSI و RDI ابتدا لاین 9501116-S1 و پس از آن لاین‌های 950079-S1، IR7، 110، 950064-S1 و 950077-S1 به ترتیب با بیش‌ترین مقادیر، متحمل‌ترین و لاین‌های 950060-S1، 950041-S1 و 950047-S1 به ترتیب با کم‌ترین مقادیر حساس‌ترین لاین‌ها در برابر تنش خشکی شناخته شدند.

### گزینش لاین‌ها و شاخص‌های مطلوب بر اساس تجزیه همبستگی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

از همبستگی میان شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش خشکی می‌توان برای غربال نمودن شاخص‌ها و رسیدن به مطلوب‌ترین معیار جهت ارزیابی تحمل به تنش خشکی لاین‌ها بهره برد. شاخص‌هایی که از همبستگی بالایی با عملکرد ریشه در هر دو شرایط نرمال و تنش برخوردار باشند، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تعیین لاین‌های متحمل هستند. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی پیرسون<sup>۱</sup> بین عملکرد ریشه در دو محیط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های مورد بررسی در جدول ۷ قابل مشاهده است. طبق نتایج حاصله، میان عملکرد ریشه لاین‌ها در شرایط نرمال و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. با توجه به اینکه شاخص‌های GMP، MP، STI، YI، DI و همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد ریشه در هر دو شرایط نرمال و تنش نشان دادند، لذا می‌توان این شاخص‌ها را به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای غربال لاین‌های متحمل به تنش خشکی به کار گرفت. دو شاخص TOL و SSPI همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد ریشه در شرایط نرمال و منفی و غیر معنی‌دار با عملکرد ریشه در شرایط تنش خشکی داشتند. شاخص SSI در هر دو شرایط همبستگی منفی با عملکرد ریشه نشان داد، اما در شرایط تنش این همبستگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، حال‌آنکه در شرایط نرمال غیر معنی‌دار برآورد گردید. شاخص‌های RDI و YSI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد ریشه در شرایط تنش خشکی از خود بروز دادند، درحالی‌که این همبستگی با عملکرد ریشه در محیط نرمال

عملکرد ریشه در شرایط نرمال نزدیک باشد (Fischer and Maurer, 1978; Rosielle and Hamblin, 1981).

بر این اساس در مجموع لاین 9501116-S1 از کاهش عملکرد ریشه پایینی در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال برخوردار بود و تحت عنوان لاین متحمل طبق این دو شاخص شناخته شد. همچنین هر اندازه مقدار شاخص SSPI برآورد شده برای یک لاین بزرگ‌تر باشد، حاکی از حساسیت بیشتر آن لاین به تنش خشکی خواهد بود (Mousavi *et al.*, 2008). در میان لاین‌های تحت مطالعه، دو لاین 950123-S1 و 950114-S1 به ترتیب با ۳۴/۰۴ و ۳۳/۰۵ درصد حساسیت به تنش بر اساس این شاخص تحت عنوان لاین‌های حساس و لاین 9501116-S1 با ۰/۱۱ درصد حساسیت به تنش به‌عنوان لاین متحمل شناخته شد. هنگامی یک لاین به‌عنوان لاین مناسب برای شرایط تنش خشکی معرفی می‌گردد که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی از عملکرد مطلوبی برخوردار باشد (Mohammadi *et al.*, 2012; Farshadfar, 2021; Saremirad *et al.*, 2013). پایین بودن مقادیر سه شاخص SSI، TOL و SSPI دلایلی بر بالا بودن عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش نخواهد بود، به دلیل اینکه لاین‌هایی وجود دارد که از نظر این شاخص‌ها حساسیت پایینی دارند، اما زمانی که به عملکرد آن‌ها رجوع می‌شود، ملاحظه می‌گردد که از پتانسیل عملکرد قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با سایر لاین‌ها برخوردار نیست (Mousavi *et al.*, 2008). نتایج مطالعه حاضر این موضوع را در خصوص سه شاخص نامبرده تأیید می‌کند. همان‌طور که در نتایج (جدول ۶) قابل ملاحظه است، لاین 9501116-S1 به دلیل اینکه کاهش عملکرد ریشه (درصد تغییر عملکرد ریشه) پایین‌تری نسبت به سایر لاین‌ها داشت، لاین متحمل از منظر شاخص‌های SSI، TOL و SSPI نامیده شد و میزان عملکرد ریشه مدنظر قرار نگرفت. از نظر فیزیولوژیکی درصد تغییرات پایینی به‌عنوان یک عامل تحمل در برابر تنش مطرح می‌شود در حالی که از نظر زراعی چنین نیست، لذا می‌توان اذعان نمود که گزینش بر اساس شاخص‌های SSI، SSPI و TOL سبب انتخاب لاین‌هایی با عملکرد ریشه به نسبت پایینی در شرایط تنش می‌شود که چنین لاین‌هایی به دلیل عملکرد پایینی از نظر زراعی نامطلوب

<sup>۱</sup>- Pearson

سه بعدی روابط میان سه متغیر عملکرد ریشه در شرایط نرمال (Yp) روی محور Xها، عملکرد ریشه تحت شرایط تنش (Ys) روی محور Yها و یکی از شاخص‌های کمی شناسایی شده تحمل به خشکی (MP, GMP, STI, Harm, YI و DI) روی محور Zها را به نمایش می‌گذارد (Fernandez, 1992; Nourmand, 1997; Moayyed, 1997). نمودارهای سه بعدی حاصل از شاخص‌های مطلوب شناخته شده (شکل ۱)، لاین‌های S1-9501116، S1-950077 و S1-950123 را به عنوان لاین‌های متحمل به تنش خشکی و دارای پتانسیل عملکرد ریشه بالا تحت شرایط نرمال و تنش خشکی اعلام نمودند.

مثبت، ولی غیر معنی‌دار شد؛ بنابراین با توجه به نتایج تجزیه همبستگی، شاخص‌های YSI، RDI، SSI، SSPI، TOL و YSI با عملکرد ریشه در محیط‌های نرمال و تنش، انتخاب لاین‌ها بر اساس این شاخص‌ها با خطا همراه خواهد بود، لذا شاخص‌های مذکور برای شناسایی لاین‌های متحمل سودمند نخواهند بود (Schneider et al., 1997; Schneiter et al., 1992).

با شناسایی شاخص‌های مناسب تحمل به تنش خشکی، به منظور تعیین لاین‌ها با عملکرد ریشه بالا و متحمل به تنش خشکی در هر دو شرایط نرمال و تنش، نمودار سه بعدی برای هر شش شاخص مناسب متحمل به خشکی (MP, GMP, STI, Harm, YI و DI) ترسیم شد (شکل ۱). این نمودارهای

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در لاین‌های چغندر قند

Table 7- Pearson correlation coefficients of root yield under normal and stress conditions as well as stress tolerance and sensitivity indices in sugar beet lines

شاخص Index	Yp	Ys	MP	GMP	STI	HM	YI	DI	TOL	SSI	SSPI	YSI
Ys	0.79**											
MP	0.95**	0.94**										
GMP	0.93**	0.96**	1**									
STI	0.93**	0.96**	0.99**	1**								
HM	0.91**	0.97**	0.99**	1**	0.99**							
YI	0.79**	1**	0.94**	0.96**	0.96**	0.97**						
DI	0.56**	0.95**	0.78**	0.82**	0.82**	0.85**	0.95**					
TOL	0.46*	-0.18 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-0.18 <sup>ns</sup>	-0.48*				
SSI	-0.09 <sup>ns</sup>	-0.66**	-0.38 <sup>ns</sup>	-0.44*	-0.42*	-0.49*	-0.66**	-0.84**	0.82**			
SSPI	0.46*	-0.18 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-0.18 <sup>ns</sup>	-0.48*	1**	0.82**		
YSI	0.09 <sup>ns</sup>	0.66**	0.38 <sup>ns</sup>	0.44*	0.42*	0.49*	0.66**	0.85**	-0.82**	-1**	-0.82**	
RDI	0.09 <sup>ns</sup>	0.67**	0.38 <sup>ns</sup>	0.44*	0.43*	0.49*	0.67**	0.85**	-0.82**	-1**	-0.82**	1**

\*, \*\*, ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی.

\*, \*\* and ns: Significant at 5 and 1 percent and non-significant, respectively

YP: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index.

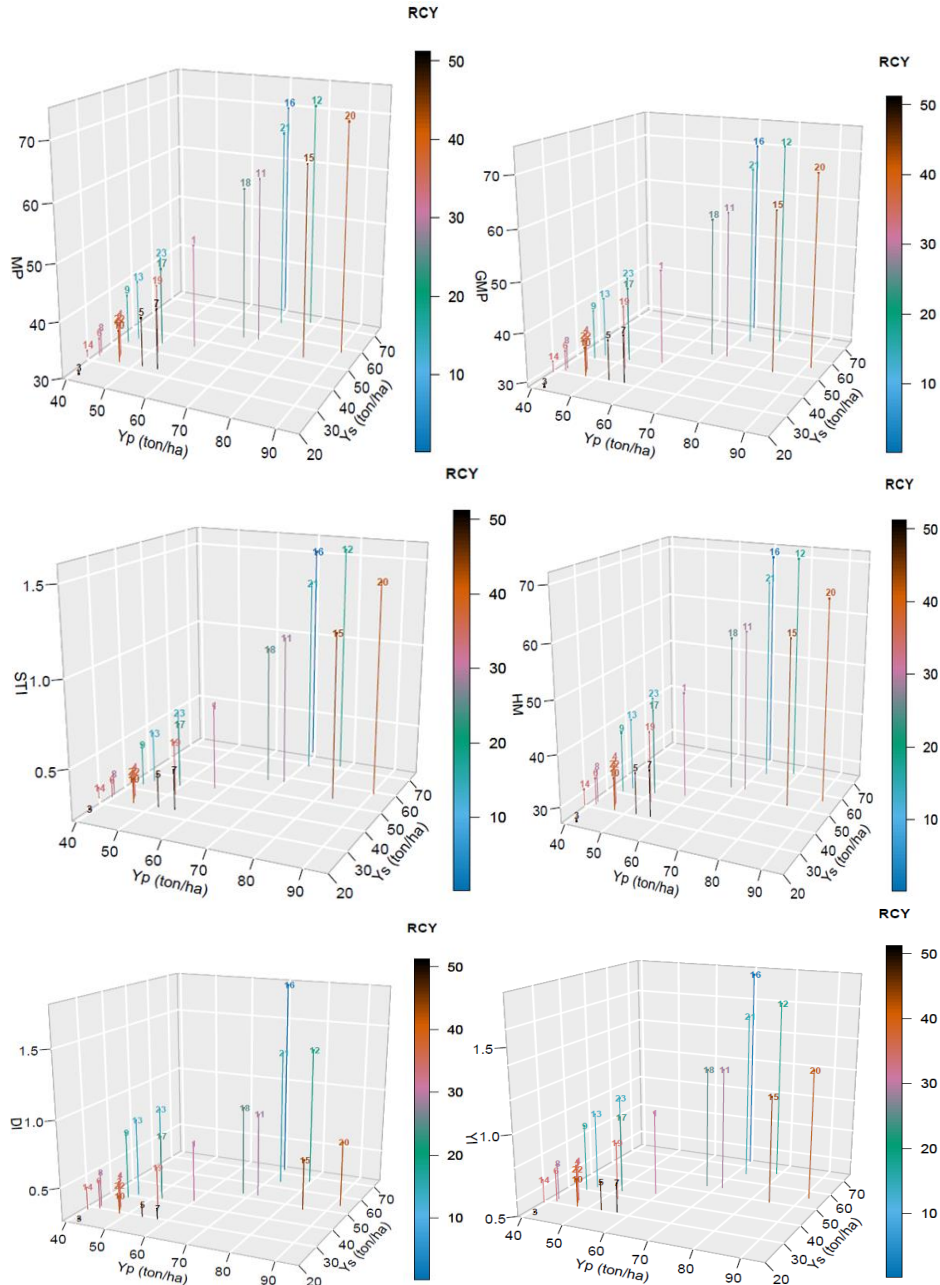
اول مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند و بیش از ۹۹ درصد از اطلاعات مربوط به عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌ها را تبیین کردند و به عنوان مؤلفه‌های تأثیرگذار انتخاب گردیدند (شکل ۲).

نزدیک به ۶۶/۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها به مؤلفه اول متعلق بود (شکل ۲). این مؤلفه همبستگی بالایی با عملکرد ریشه در شرایط تنش و شاخص‌های MP، GMP، STI، HM،

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، لاین‌ها را بر پایه دو مؤلفه اصلی اول میانگین عملکرد ریشه تحت شرایط نرمال، عملکرد ریشه تحت شرایط تنش و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در گروه‌های مشخصی طبقه‌بندی می‌کند. به این منظور، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از ماتریس همبستگی برای ۱۱ شاخص و دو ویژگی عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش خشکی ۲۰ لاین و سه شاهد مورد مطالعه، انجام شد. دو مؤلفه

وجود رابطه معنی‌دار میان شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، DI، YI، SSI، YSI و RDI با عملکرد ریشه در شرایط تنش بود (شکل ۳).

لذا مؤلفه پتانسیل عملکرد ریشه و تحمل به تنش خشکی نام‌گذاری شد که قادر به جداسازی لاین‌های با عملکرد ریشه بالا در شرایط تنش می‌باشد. نتایج حاصل از همبستگی میان شاخص‌ها نیز حاکی از

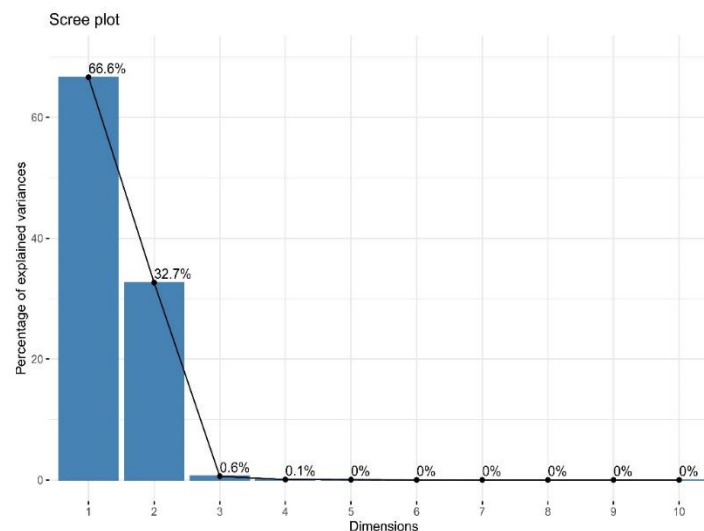


شکل ۱- نمودار سه‌بعدی عملکرد ریشه لاین‌های چغندر قند در شرایط نرمال (Yp) و تنش خشکی (Ys) برای شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص مقاومت به خشکی (DI)

Fig. 1- Three-dimensional plot of sugar beet lines root yield in non-stress conditions (Yp) and drought stress (Ys) for Geometric moderate productivity index (GMP), Harmonic mean (HM), Moderate productivity index (MP), Drought resistance index (DI), Yield index (YI) and Stress tolerance indices (STI)

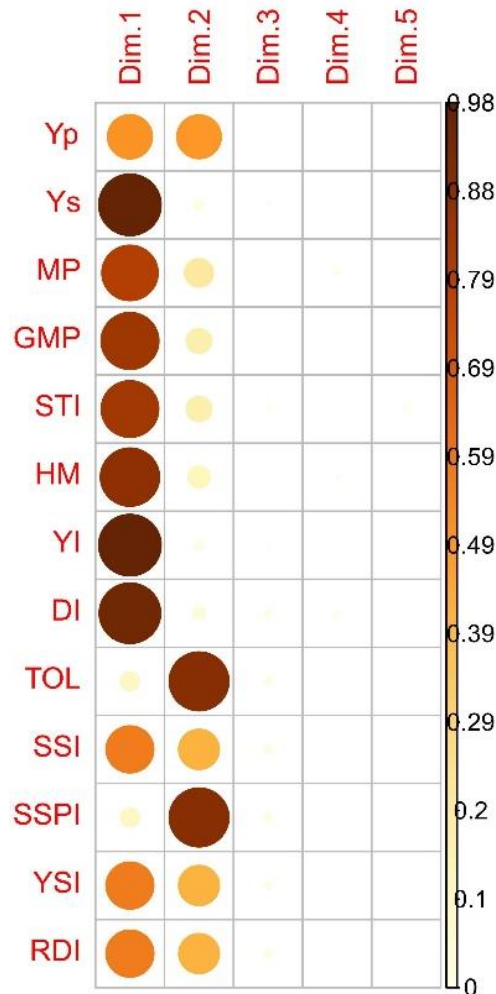
را لاین‌های متحمل به خشکی و با پتانسیل عملکرد ریشه بالا معرفی نمود. بر این اساس لاین‌های S1-950116، S1-950077 و شاهد والدی ۱۱۰ به ترتیب تحت عنوان لاین‌های متحمل و با پتانسیل عملکرد ریشه بالا شناخته شدند؛ زیرا در ناحیه با پتانسیل بالا و حساسیت کم به تنش خشکی و نیز نزدیک به بردارهای مربوط به شاخص‌های متحمل به خشکی MP، HM، GMP، STI، YI، DI، YSI و RDI قرار گرفته‌اند. لاین‌هایی که در ناحیه ۲ بای‌پلات قرار گرفته‌اند، در مقایسه با آن‌هایی که در ناحیه ۱ قرار دارند از مقادیر عددی پایین شاخص‌های SSI، SSPI، TOL، YI و SSI برخوردار می‌باشند. لاین‌های موجود در نواحی ۳ و ۴ بای‌پلات و حذف‌اصل دو طرف محور افقی (مؤلفه اول) مقادیر پایین برای شاخص‌های گروه دوم (Ys، Yp، MP، GMP، STI، HM و YI) و سوم (YSI، DI) را شامل شدند. این لاین‌ها در هر دو شرایط پتانسیل عملکرد ریشه پایینی داشتند و با توجه به شاخص‌های TOL، SSPI و SSI حساسیت بالایی به تنش خشکی دارند. لاین‌های S1-950060، S1-950047، S1-950041 و S1-950070 در ناحیه با عملکرد ریشه پایین در شرایط تنش خشکی و حساسیت زیاد به خشکی و در مجاورت شاخص‌های مهم حساس به تنش SSPI، TOL و SSI قرار دارند (شکل ۴). دلیل اصلی چنین توزیع لاین‌ها، تنوع ژنتیکی موجود در بین آن‌ها نسبت به شرایط تنش خشکی است.

دومین مؤلفه که ۳۳ درصد از تغییرات کل متغیرها را تبیین کرد (شکل ۲)، با عملکرد ریشه در شرایط نرمال و شاخص‌های TOL و SSPI همبستگی مثبت و بالا نشان داد (شکل ۳). لذا مؤلفه دوم به نام مؤلفه حساس به تنش خشکی معرفی شد. گزینش بر اساس این مؤلفه منجر به انتخاب لاین‌هایی می‌شود که در شرایط نرمال عملکرد ریشه بالایی دارند اما در زمان وقوع تنش خشکی نسبت به آن حساس بوده و افت عملکرد را در پی خواهند داشت. از آنجایی که عملکرد ریشه در شرایط نرمال در مؤلفه اول نیز ضریب به نسبت بالایی داشت، بنابراین لاین‌های انتخاب‌شده بر پایه مؤلفه اول از عملکرد ریشه به نسبت بالایی در شرایط نرمال برخوردار خواهند بود. از این‌رو بر اساس این دو مؤلفه می‌توان لاین‌هایی را که دارای عملکرد ریشه مناسب در شرایط تنش خشکی می‌باشند را شناسایی کرد. پس از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، نمودار دو وجهی بر پایه دو مؤلفه اول و دوم که در مجموع بیش از ۹۹ درصد تغییرات متغیرها را تبیین کرد، ترسیم شد و در شکل ۴ ارائه گردید. همان‌طور که در این شکل مشخص شده است، لاین‌ها و شاهد‌های مورد مطالعه بر اساس عملکرد ریشه در شرایط نرمال، عملکرد ریشه در شرایط تنش خشکی و تحمل آن‌ها نسبت به خشکی به شش گروه مختلف تفکیک شدند. با توجه به این که مؤلفه اول به نام مؤلفه تحمل به خشکی معرفی گردید و به علت همبستگی بالای بین شاخص‌های تحملی که در این مؤلفه قرار گرفته‌اند، می‌توان لاین‌هایی که مقادیر بالای این مؤلفه را به خود اختصاص دادند



شکل ۲- درصد واریانس تبیین شده توسط هر یک از مؤلفه‌های اصلی در لاین‌های چغندر قند

Figure 2- Percentage of explained variance in each of principal component in sugar beet lines



شکل ۳- همبستگی مؤلفه‌های اصلی با عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در لاین‌های چغندر قند (هر اندازه رنگ دایره به سمت تیره‌گی میل کند، نشان‌دهنده همبستگی بالای شاخص‌ها با مؤلفه دارای رنگ تیره می‌باشد)

**Figure 3- Correlation of principal component with root yield under normal and stress conditions as well as stress tolerance and susceptible indices in sugar beet lines (Dark color of circles indicates high correlation of indicators with dark color component)**

Dim.1: مؤلفه اول، Dim.2: مؤلفه دوم، Dim.3: مؤلفه سوم، Dim.4: مؤلفه چهارم، Dim.5: مؤلفه پنجم، Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی

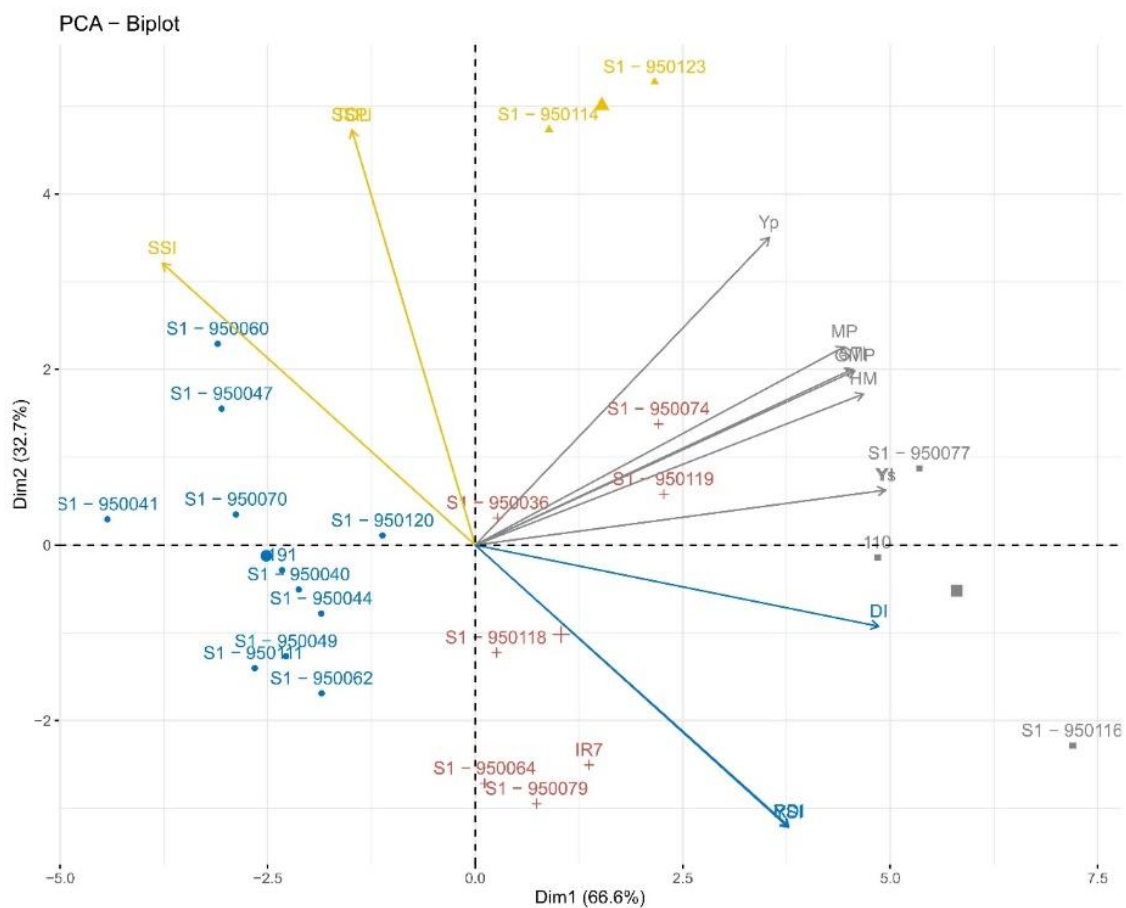
Dim.1: First component, Dim.2: Second component, Dim.3: Third component, Dim.4: Fourth component, Dim.5: Fifth component, YP: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index.

مؤید میزان همبستگی میان شاخص‌ها با مؤلفه‌های اول و دوم و نیز شاخص‌ها با یکدیگر است. هنگامی که زاویه بین بردارهای شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش کوچک‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت می‌شود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها نشانگر این موضوع است که میان شاخص‌ها و محور مؤلفه‌ها همبستگی وجود نداشته و مستقل می‌باشند و در صورتی که

روابط بین شاخص‌های مختلف به صورت گرافیکی در نمودار دووجهی مؤلفه‌های اول و دوم در شکل ۴ به نمایش گذاشته شده است. زاویه بین بردارهای شاخص‌ها در نمودار گرافیکی تصویر واضحی از رابطه بین شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش و نیز همبستگی میان آن‌ها را بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم نمایان می‌سازد. در واقع کسینوس زاویه بین بردارها

مؤلفه شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI و عملکرد ریشه در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی همبستگی مثبت با همدیگر نشان دادند و در گروه دیگری قرار گرفتند و تحت عنوان شاخص‌های برتر برای شناسایی لاین‌های متحمل معرفی گردیدند که این نتایج با یافته‌های سایر محققین (Farshadfar *et al.*, 2013) مطابقت داشت. سه شاخص YSI، DI و RDI نیز گروه سوم را تشکیل دادند. شاخص‌های TOL، SSPI و SSI به دلیل عدم وجود همبستگی هم‌زمان با عملکرد ریشه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی نمی‌توانند در شناسایی و گزینش لاین‌های متحمل با پتانسیل عملکرد ریشه بالا مورد استفاده قرار گیرند.

زاویه بین بردارها بیش از ۹۰ درجه باشد، به معنای همبستگی منفی بین آن‌ها است (Yan and Kang, 2002). با در نظر گرفتن این موضوع و نیز با توجه به شکل ۴ شاخص‌های TOL، SSPI و SSI دارای بالاترین میزان همبستگی با یکدیگر بودند؛ زیرا زاویه بین شاخص‌های مذکور کمتر از ۹۰ درجه است، لذا در یک گروه قرار گرفتند. این شاخص‌ها بیش‌ترین تکیه را روی مکانیسم‌های حفظ محصول در شرایط تنش دارند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این سه شاخص با عملکرد ریشه در شرایط نرمال همبستگی بالایی دارند. بر اساس نتایج تجزیه همبستگی پیرسون (جدول ۷) نیز شاخص‌های TOL، SSPI و SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر داشتند. محور



شکل ۴- نمودار دو وجهی بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم برای شناسایی لاین‌های متحمل به تنش خشکی در چغندر قند

Figure 4- Biplot diagram based on the first and second components to identify drought tolerant lines in sugar beet

Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص مقاومت به خشکی، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی.

YP: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index.

### گزینش لاین‌های مطلوب بر اساس شاخص فاصله چندمتغیره از ژنوتیپ ایده‌آل (MGIDI)

شاخص MGIDI برای تسهیل گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس اطلاعات مربوط به چند صفت توسط اولیوتو و ناردینو (Olivoto and Nardino, 2021) معرفی شد. در واقع این شاخص بر انتخاب ژنوتیپ‌های برتر که در آن صفات متعدد اندازه‌گیری شده است، تمرکز دارد. اخیراً از این شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های ایده‌آل توت‌فرنگی (Olivoto *et al.*, 2019) و غربالگری ژنوتیپ‌های جو نسبت به تنش شوری را در مراحل اولیه رشد (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021) استفاده شده است. نتایج هر دو مطالعه مذکور نشان داد که این شاخص می‌تواند به‌طور همزمان بسیاری از صفات و یا شاخص‌ها را در نظر گرفته و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های مورد آزمایش را ارزیابی کند. شاخص MGIDI به‌منظور شناسایی لاین‌های متحمل در برابر تنش خشکی با در نظر گرفتن اثر همزمان عملکرد ریشه در هر دو شرایط نرمال و تنش و نیز ۱۱ شاخص تحمل و حساسیت به تنش محاسبه گردید. اثر ژنوتیپی بسیار معنی‌داری برای عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و ۱۱ شاخص تحمل و حساسیت به تنش مشاهده شد (جدول ۸). تجزیه عاملی بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. دو عامل اول مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند و بیش از ۹۹ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند. بزرگ‌ترین ضرایب عاملی در عامل اول مربوط به  $Yp$ ,  $Ys$ ,  $MP$ ,  $GMP$ ,  $STI$ ,  $HM$ ,  $YI$  و  $DI$  بود. در عامل دوم شاخص‌های  $SSI$ ,  $TOL$ ,  $SSPI$ ,  $YI$  و  $RDI$  بیشترین ضرایب عاملی را نشان دادند (جدول ۸). شاخص MGIDI لاین‌های مورد مطالعه بر پایه نمرات عاملی این دو عامل محاسبه شد. طبق شاخص MGIDI هر چه لاینی مقدار کمتری از این شاخص را دارا باشد، فاصله کمتری از لاین ایده‌آل داشته و قرابت بیشتری با لاین ایده‌آل دارد. از سوی دیگر هر چه مقدار MGIDI برای لاینی بیشتر باشد، به این معنی است که فاصله آن از لاین ایده‌آل بیشتر است و نباید انتخاب شود (Olivoto and Nardino, 2021). در شکل A۵ لاین‌های آزمایشی از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار شاخص MGIDI رتبه‌بندی شده‌اند؛ به‌طوری که لاین دارای بیشترین مقدار شاخص مذکور در مرکز و لاین دارای کمترین مقدار شاخص مذکور در خارجی‌ترین مدار قرار گرفته است. بر این

اساس با اعمال فشار گزینشی ۱۵ درصد، لاین S1-950116 با مقدار شاخص MGIDI ۰/۳۱ در رتبه نخست و شاهد والدی ۱۱۰ و لاین S1-950077 به ترتیب با مقادیر ۱/۱۹ و ۱/۴۴ در رتبه‌های بعدی ایده‌آل‌ترین لاین‌ها از نظر عملکرد ریشه در هر دو شرایط نرمال و تنش و نیز ۱۱ شاخص تحمل و حساسیت به تنش قرار گرفتند. از سوی دیگر، لاین‌های S1-950041 و S1-950060 بیشترین مقادیر MGIDI (به ترتیب ۴/۱۳ و ۴/۰۵) را به خود اختصاص دادند و لاین‌های نامطلوبی از نظر عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و ۱۱ شاخص تحمل و حساسیت به تنش بودند. مقایسه ارزش عملکرد ریشه در شرایط نرمال، عملکرد ریشه در شرایط تنش و شاخص‌های مورد مطالعه لاین‌های منتخب بر اساس شاخص MGIDI با ارزش آن‌ها در همه لاین‌های آزمایشی نشان داد که میانگین ارزش  $Ys$ ,  $Yp$ ,  $MP$ ,  $GMP$ ,  $STI$ ,  $HM$ ,  $YI$ ,  $DI$ ,  $YI$  و  $RDI$  در لاین‌های منتخب افزایش یافته است. در شاخص‌های  $SSI$ ,  $TOL$  و  $SSPI$  که کاهش ارزش آن‌ها نشان‌دهنده کاهش حساسیت به تنش است، لاین‌های منتخب از نظر این شاخص‌ها کاهش نشان دادند. به‌طور کلی تیماری‌های منتخب (S1-950116، S1-950077) به‌سبب ایجاد پاسخ گزینشی مطلوبی شدند (جدول ۸). در شکل B۵ نقاط قوت و ضعف لاین‌های انتخابی بر اساس سهم هر عامل در شاخص MGIDI ارائه شده است. بر اساس این نمودار کمترین سهم توجیه شده توسط یک عامل (نزدیک به لبه خارجی) نشان‌دهنده نزدیک بودن صفات درون آن عامل به حالت ایده‌آل است. خط چین نشان‌دهنده ارزش نظری است، در صورتی که همه عوامل به یک اندازه نقش داشته باشند. با توجه به این‌که هر لاین برای عامل‌هایی که سهم کمتری در آن‌ها دارد از لحاظ متغیرهای درون آن عامل به لاین ایده‌آل نزدیک‌تر است، لاین S1-950077 و به دنبال آن شاهد ولدی ۱۱۰ که کمترین مقدار را در عامل اول داشتند، از نظر  $Yp$ ,  $Ys$ ,  $MP$ ,  $GMP$ ,  $STI$ ,  $HM$ ,  $YI$  و  $DI$  که بیشترین ضرایب عاملی را در این عامل داشتند، به لاین ایده‌آل نزدیک است. لاین ایده‌آل با توجه به متغیرهای قرار گرفته در هر عامل و اهدافی که برای بهبود آن متغیر مدنظر است، تعریف می‌شود. لاین S1-950116 کمترین سهم عامل دوم را به خود اختصاص داد؛ در نتیجه این لاین از لحاظ شاخص‌های  $TOL$ ,  $SSI$ ,  $SSPI$  و  $RDI$  بسیار نزدیک به لاین ایده‌آل بود.

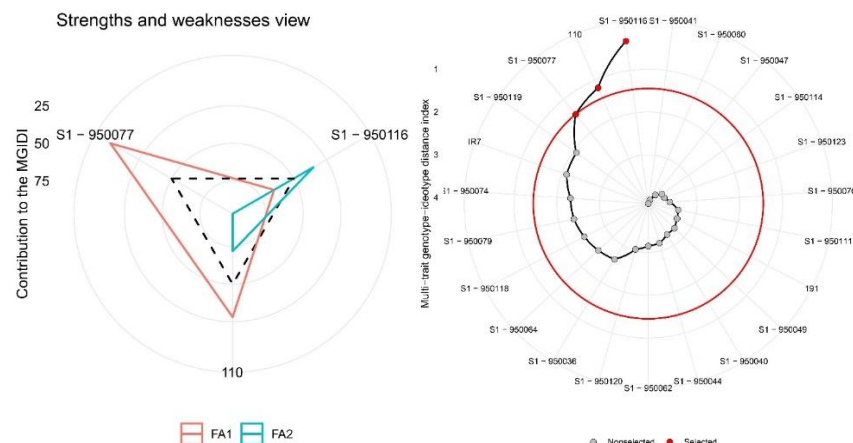
جدول ۸- پیش‌بینی بازده گزینش برای عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در لاین‌های چغندر قند بر اساس شاخص MGIDI

Table 8- Prediction of selection differential for root yield under normal and stress conditions as well as stress tolerance and susceptible indices in sugar beet lines based on MGIDI index

شاخص Index	عامل Factor	هدف Goal	ارزش اولیه جمعیت Original value	ارزش لاین‌های منتخب Selected value	بازده گزینش selection differential	درصد بازده گزینش Selection differential in percentage
YP	FA1	Increase	57.34	74.60	17.26	30.10
YS	FA1	Increase	39.96	66.03	26.06	65.22
MP	FA1	Increase	50.89	72.56	21.66	42.56
GMP	FA1	Increase	48.26	70.74	22.47	46.55
STI	FA1	Increase	0.73	1.48	0.74	101.06
HM	FA1	Increase	48.13	71.37	23.24	48.29
YI	FA1	Increase	1.00	1.65	0.64	64.90
DI	FA1	Increase	0.72	1.47	0.75	104.20
TOL	FA2	Decrease	17.64	8.84	-8.80	-49.89
SSI	FA2	Decrease	1.10	0.46	-0.63	-57.51
SSPI	FA2	Decrease	15.41	7.78	-7.63	-49.51
YSI	FA2	Increase	0.70	0.90	0.19	28.06
RDI	FA2	Increase	0.98	1.26	0.27	28.14

YP: عملکرد در شرایط نرمال، YS: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HARM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی.

YP: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index.



شکل ۵- نمودار رتبه‌بندی (A) و نقاط قوت و ضعف لاین‌های منتخب (B) بر اساس شاخص MGIDI

Figure 5- Diagrams of ranking (A) and strengths and weaknesses view of selected lines (B) based on MGIDI index

مطالعه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) و فاصله اقلیدسی تحت عنوان معیار تشابه صورت پذیرد و نمودار درختی به‌دست‌آمده از آن در شکل ۶ ارائه شد. بر اساس نتایج تابع تشخیص و ضرایب کوفنتیک، خط برش در ناحیه ضریب هفت قرار گرفت و لاین‌ها و شاهد‌ها را به شش گروه اصلی تفکیک کرد. میانگین گروه‌ها و درصد انحراف از میانگین کل برای عملکرد ریشه در شرایط نرمال، عملکرد ریشه در

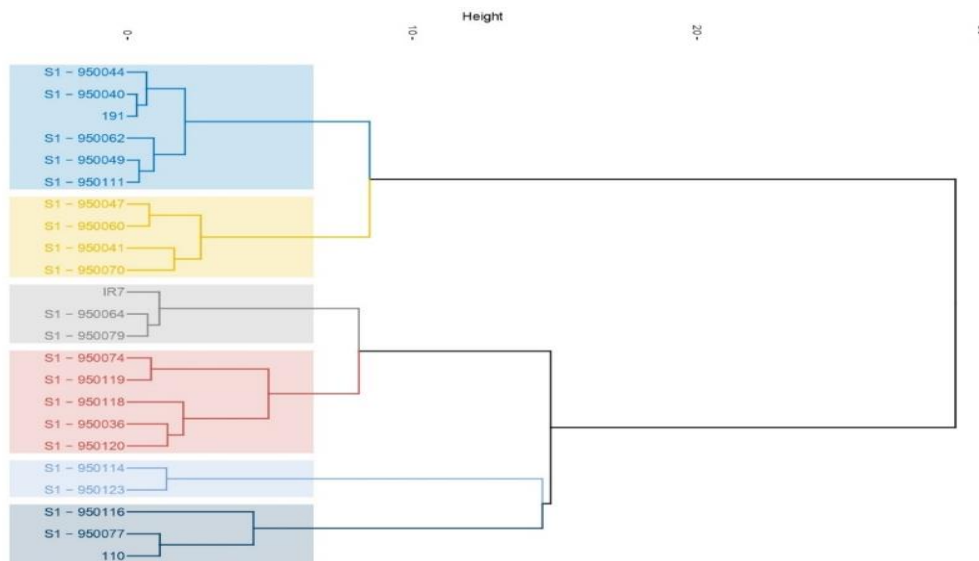
## گروه‌بندی لاین‌های مورد مطالعه بر اساس تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای به‌عنوان یکی از کاراترین روش‌های آماری چند متغیره به شمار می‌رود که جهت گروه‌بندی مشاهده‌ها بر پایه چند متغیر استفاده می‌شود (Sharma, 1996). گروه‌بندی لاین‌های مورد بررسی بر پایه عملکرد ریشه در شرایط نرمال، عملکرد ریشه در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های تحت



شرایط تنش خشکی و شاخص‌های مورد مطالعه محاسبه شد. در صورتی که میانگین متغیری در یک گروه بیشتر از میانگین کل باشد، درصد انحراف از میانگین کل مثبت خواهد شد. مثبت شدن درصد انحراف از میانگین کل مبین ارزش بالای آن گروه نسبت به میانگین لاین‌ها و شاهد‌ها است. شاهد والدی ۱۱۰ و دو لاین S1- 950077 و S1- 950116 در گروه اول جای گرفتند (جدول ۹). این گروه از نظر عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و همه شاخص‌های مورد مطالعه به جز سه شاخص حساسیت TOL، SSI و SSPI، هر یک از میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل برخوردار بودند و درصد انحراف از میانگین مثبت داشتند. مقادیر بالای سه شاخص نامبرده (TOL، SSI و SSPI) نشان‌دهنده واکنش حساسیت و مقادیر پایین آن‌ها نشان‌دهنده واکنش تحمل در لاین‌ها است، بنابراین منفی شدن درصد انحراف این شاخص‌ها برای گروه اول مبین تحمل بالای لاین‌های قرار گرفته در این گروه نسبت به تنش خشکی است. از طرفی لاین‌ها جای گرفته در گروه اول دارای مقادیر عددی مثبت برای مؤلفه اول و منفی برای مؤلفه دوم بودند، لذا از پتانسیل عملکرد ریشه و پایداری عملکرد بیشتری در مقایسه با سایر لاین‌ها در محیط تنش برخوردار هستند. گروه دوم متشکل از دو لاین S1- 950123 و S1- 950114 بود (جدول ۹). به جز شاخص‌های DI، YI و RDI سایر متغیرها

میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل داشتند و از درصد انحراف از میانگین کل مثبت برخوردار بودند. اعضای این گروه پایداری عملکرد ریشه پایینی در شرایط تنش خشکی داشتند، اما از عملکرد مطلوبی در شرایط نرمال برخوردار بودند. در گروه سوم لاین‌های S1- 950120، S1- 950036، S1- 950118 و S1- 950119 و S1- 950074 حضور یافتند (جدول ۹) و از تحمل قابل قبولی در برابر خشکی برخوردار بودند. دو لاین S1- 950079 و S1- 950064 به همراه شاهد متحمل IR7 گروه چهارم را تشکیل دادند و علاوه بر تحمل قابل قبول در برابر تنش خشکی، دارای پایداری عملکرد در شرایط تنش بودند. گروه پنجم متشکل از لاین‌های S1- 950070، S1- 950041، S1- 950060 و S1- 950047 دارای درصد انحراف مثبت برای شاخص‌های TOL، SSI و SSPI و منفی برای سایر شاخص‌ها بود (جدول ۹). اعضای جای یافته در این گروه در شرایط نرمال از عملکرد ریشه مناسبی برخوردار بودند، اما با بروز تنش خشکی میزان عملکرد آن‌ها کاهش زیادی یافت. لاین‌های S1- 950111، S1- 950049، S1- 950062، S1- 950040، S1- 950044 و شاهد حساس ۱۹۱ در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی پایین‌ترین پتانسیل عملکرد ریشه را دارا بودند و در یک گروه (گروه ششم) جای گرفتند (جدول ۹).



شکل ۶- نمودار دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌های چغندر قند بر اساس عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با استفاده از روش Ward

Figure 6- Dendrogram obtained from cluster analysis of sugar beet lines based on root yield under normal and stress conditions as well as stress tolerance and susceptible indices using Ward method

جدول ۹- نتایج میانگین خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای و درصد انحراف هر خوشه از میانگین کل برای عملکرد ریشه در شرایط نرمال و تنش و نیز شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در لاین‌های چغندر قند

Table 9- Mean of clusters obtained from cluster analysis and percentage of deviation of each cluster from the total average for root yield under normal and stress conditions as well as stress tolerance and susceptible indices in sugar beet lines

گروه	میانگین/درصد انحراف	Yp	Ys	MP	GMP	STI	HM	YI	DI	TOL	SSI	SSPI	YSI	RDI
Group	Mean/deviation percent													
اول	میانگین	74.96	66.20	70.58	70.37	1.49	70.17	1.65	1.47	8.76	0.38	7.59	0.89	1.27
	Mean													
دوم	درصد انحراف	3.90	8.47	5.78	6.12	13.14	6.46	8.47	13.58	-6.54	-8.20	-6.54	3.72	3.65
	Deviation percent													
سوم	میانگین	88.79	50.09	69.44	66.68	1.34	64.04	1.25	0.71	38.70	1.44	33.55	0.56	0.81
	Mean													
چهارم	درصد انحراف	4.69	2.16	3.65	3.41	7.00	3.17	2.17	-0.20	10.46	3.65	10.47	-1.66	-1.62
	Deviation percent													
پنجم	میانگین	61.77	43.96	52.86	52.09	0.83	51.33	1.09	0.78	17.81	0.95	15.44	0.71	1.02
	Mean													
ششم	درصد انحراف	1.53	2.07	1.75	1.90	2.57	2.04	2.03	1.82	0.30	-1.31	0.30	0.55	0.59
	Deviation percent													
هفتم	میانگین	47.54	40.45	44.00	43.85	0.58	43.71	1.01	0.86	7.09	0.49	6.14	0.85	1.22
	Mean													
هشتم	درصد انحراف	-2.30	0.11	-1.31	-1.10	-2.85	-0.89	0.12	2.44	-7.78	-6.72	-7.78	2.96	2.95
	Deviation percent													
نهم	میانگین	49.14	27.24	38.19	36.51	0.41	34.92	0.68	0.39	21.90	1.46	18.98	0.56	0.80
	Mean													
دهم	درصد انحراف	-2.02	-5.92	-3.63	-4.06	-7.78	-4.48	-5.92	-9.08	6.87	9.75	6.87	-4.33	-4.32
	Deviation percent													
یازدهم	میانگین	44.86	29.53	37.20	36.39	0.40	35.60	0.74	0.49	15.33	1.12	13.28	0.66	0.95
	Mean													
دوازدهم	درصد انحراف	-5.80	-6.89	-6.25	-6.27	-12.09	-6.30	-6.88	-8.56	-3.32	2.82	-3.32	-1.23	-1.23
	Deviation percent													
میانگین کل		57.69	40.13	48.92	47.90	0.74	46.92	1.00	0.72	17.56	1.01	15.22	0.69	0.99
Total mean														

Yp: عملکرد در شرایط نرمال، Ys: عملکرد در شرایط تنش، MP: شاخص بهره‌وری متوسط، GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، STI: شاخص تحمل به تنش، HM: میانگین هارمونیک، YI: شاخص عملکرد، DI: شاخص مقاومت به خشکی، TOL: شاخص تحمل، SSI: شاخص حساسیت به تنش، SSPI: شاخص درصد حساسیت به تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RDI: شاخص خشکی نسبی.

YP: Yield in normal condition, YS: Yield in stress condition, MP: Moderate productivity index, GMP: Geometric moderate productivity index, STI: Stress tolerance index, HM: Harmonic mean, YI: Yield index, DI: Drought resistance index, TOL: Stress tolerance index, SSI: Stress Sensitivity Index, SSPI: Stress Susceptibility percent Index, YSI: Yield stability index and RDI: Relative drought index.

## نتیجه‌گیری کلی

عملکرد ریشه بالا و متحمل در محیط تنش خشکی شناخته شدند. در میان ۲۰ لاین گرده‌افشان مورد مطالعه، طبق این شاخص‌ها و بای‌پلات‌های حاصل، لاین‌های S1-950077، S1-950123، S1-950116، S1-950074 و S1-950119 دارای بیش‌ترین تحمل در مقایسه با سایر لاین‌ها از نظر تنش خشکی بودند. لاین‌های نامبرده تحت هر دو شرایط نرمال و تنش از بالاترین پتانسیل عملکرد ریشه برخوردار بودند که می‌تواند ناشی از حضور ژن‌های تحمل به خشکی در آن‌ها باشد

هدف این مطالعه گزینش لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند متحمل به خشکی بود. به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده، تأییدکننده وجود تنوع میان لاین‌های گرده‌افشان تحت بررسی از نظر تحمل به تنش خشکی بودند. شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI و DI بر اساس نتایج حاصل از تجزیه همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و شاخص MGIDI، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش لاین‌های با پتانسیل

که از والد مادری متحمل (چغندر علوفه‌ای ۷۲۲۱) به آن‌ها منتقل شده است؛ بنابراین می‌توان این لاین‌ها را به‌عنوان والد پدری برای تولید هیبریدهای متحمل به خشکی پیشنهاد کرد.

## References

- Abdelaal, K.A., Hafez, Y.M., El-Afry, M.M., Tantawy, D.S. and Alshaal, T.** 2018. Effect of some osmoregulators on photosynthesis, lipid peroxidation, antioxidative capacity, and productivity of barley (*Hordeum vulgare L.*) under water deficit stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(30): 30199-30211.
- Akyüz, A. and Ersus, S.** 2021. Optimization of enzyme assisted extraction of protein from the sugar beet (*Beta vulgaris L.*) leaves for alternative plant protein concentrate production. *Food Chemistry*, 335: 127673.
- Anonymous.** 2021. Climatic features of Karaj. Alborz Meteorological Administration, Alborz, Iran.
- Bazrafshan, M., Matloubi, F., Mesbah, M. and Joukar, L.** 2009. Evaluation of drought tolerance of sugar beet genotypes using drought tolerance indices. *Journal of Sugar Beet*, 24(2): 35-15. (In Persian).
- Beyazgül, M., Kayam, Y. and Engelsman, F.** 2000. Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of western Turkey. *Journal of Hydrology*, 229(1-2): 19-26.
- Bousslama, M. and Schapaugh, W.** 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop Science*, 24(5): 933-937.
- Earl, H.J. and Davis, R.F.** 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95(3): 688-696.
- Elias, E., Salih, A. and Alaily, F.** 2001. Cracking patterns in the Vertisols of the Sudan Gezira at the end of dry season. *International Agrophysics*, 15(3): 151-156.
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M. and Safavi, S.M.** 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(2): 143-158.
- Fernandez, G.C.** 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Paper presented at the Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16., Shanhua, Taiwan.
- Fischer, R. and Maurer, R.** 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5): 897-912.
- Fischer, R. and Wood, J.** 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III.\* Yield associations with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30(6): 1001-1020.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R., Ricciardi, G. and Borghi, B.** 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4): 523-531.
- Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E., Rashwan, E., El-Maghraby, L., Awad, A. and Abdelaal, K.** 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes

- accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. *Agronomy*, 10(5): 630.
- Kiskini, A., Vissers, A., Vincken, J.-P., Gruppen, H. and Wierenga, P.A.** 2016. Effect of plant age on the quantity and quality of proteins extracted from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(44): 8305-8314.
- Lammens, T., Franssen, M., Scott, E. and Sanders, J.** 2012. Availability of protein-derived amino acids as feedstock for the production of bio-based chemicals. *Biomass and Bioenergy*, 44: 168-181.
- Lan, J.** 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7(1): 85-87.
- Moghaddam, A. and Hadizadeh, M.H.** 2002. Response of corn (*zea mays* L.) Hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, 18(3): 255-272. (In Persian).
- Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D. and Amri, A.** 2012. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production*, 4(1): 11-24.
- Mohammadian, R., Sadeghian, S.Y., Moghaddam, M. and Rahimian, H.** 2002. Evaluation of drought tolerance indices in determining sugar beet genotypes under early season drought stress conditions. *Sugar Beet*, 18(1): 29-49. (In Persian).
- Mohseni, M., Mortazavian, S., Ramshini, H. and Foghi, B.** 2015. Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(3): 524-542. (In Persian).
- Mousavi, S., YAZDI, S.B., Naghavi, M., Zali, A., Dashti, H. and Pourshahbazi, A.** 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12(1): 165-178.
- Nabipour, A., Yazdi Samadi, B., Zali, A.A. and Poustini, K.** 2002. Effects of morphological traits and their relations to stress susceptibility index in several wheat genotypes. *Biaban*, 4(1): 31-47. (In Persian).
- Nourmand Moayyed, F.** 1997. Study on variation of quantitative traits and their relation to the performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in dry and water conditions and determination of the best indices of drought resistance. University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian).
- Ober, E., Johnston, D., Clark, C., Jaggard, K. and Pidgeon, J.** 2000. Improving sugar beet drought tolerance. Paper presented at the Comptes-Rendus des Congres de l'Institut International de Recherches. Betteravieres, Belgium.
- Olivoto, T., Lúcio, A.D.C., da Silva, J.A.G., Sari, B.G. and Diel, M.I.** 2019. Mean Performance and Stability in Multi-Environment Trials II: Selection Based on Multiple Traits. *Agronomy Journal*, 111(6): 2961-2969.
- Olivoto, T. and Nardino, M.** 2021. MGIDI: toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 37(10): 1383-1389.
- Orazizadeh, M.R., Rajabi, A. and Ahmadi, M.** 2016. Selection of drought-tolerant half-sib families in sugar beet. *Journal of Sugar Beet*, 32(1): 1-12. (In Persian).
- Porch, T.G.** 2006. Application of stress indices for heat tolerance screening of common bean. *Journal of*

- Agronomy and Crop Science*, 192(5): 390-394.
- Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., Nikkhah-Chamanabad, H., Mehrvar, M.R., Asadi, A. and Amini, A.** 2021. Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. *Bulletin of the National Research Centre*, 45(1): 1-16.
- Rauf, S. and Sadaqat, H.A.** 2007. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Plant Interactions*, 2(1): 41-51.
- Richards, R.** 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, 20(2): 157-166.
- Rosielle, A. and Hamblin, J.** 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop Science*, 21(6): 943-946.
- Sadeghian, S.Y., Fazli, H., Mohammadian, R., Taleghani, D. and Mesbah, M.** 2000. Genetic variation for drought stress in sugarbeet. *Journal of Sugar Beet Research*, 37(3): 55-78. (In Persian).
- Sadeghzadeh Hemayati, S., Fathollah Taleghani, D. and Fasahat, P.** 2017. Effects of drought stress on quantitative and qualitative characteristics ,canopy ground cover and wilting score of sugar beet genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(3): 363-375. (In Persian).
- Saremirad, A., Mostafai, K. and Hosseini, M.S.** 2021. Evaluation of Tolerance to Terminal Drought Stress in Sunflower Genotypes (*Helianthus annuus L.*). *Plant Production Technology*, 12(2): 1-18. (In Persian).
- Saremirad, A. and Mostafavi, K.** 2018. Genetic analysis of important agronomic traits in some of barley (*Hordeum vulgare L.*) cultivars under normal and drought stress conditions. *Cereal Research*, 8(3): 397-408. (In Persian).
- Saremirad, A. and Mostafavi, K.** 2020. Genetic Diversity Study of Sunflower (*Helianthus annus L.*) Genotypes for Agro-morphological Traits Under Normal and Drought Stress Conditions. *Journal of Plant Productions*, 43(2): 227-240. (In Persian).
- Schneider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J.A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N. and Kelly, J.D.** 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37(1): 43-50.
- Schneiter, A., Johnson, B. and Henderson, T.** 1992. Rooting depth and water use of different sunflower phenotypes. Paper presented at the Proc. Int. Sunflower Conf., 13<sup>th</sup>. Pisa, Italy.
- Sharma, S.** 1996. Applied multivariate techniques John Wiley and Sons, Inc., USA.
- Simane, B., Struik, P., Nachit, M. and Peacock, J.** 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica*, 71(3): 211-219.
- Tenorio, A.T., Schreuders, F., Zisopoulos, F., Boom, R. and Van der Goot, A.** 2017. Processing concepts for the use of green leaves as raw materials for the food industry. *Journal of Cleaner Production*, 164: 736-748.
- Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berlowska, J., Dziugan, P., Piotrowski, J., Stanishevsky, A. and Witońska, I.** 2018. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable

polymers. *RSC Advances*, 8(6): 3161-3177.

**United Nations.** 2019. World population prospects 2019: Highlights. (Department of Economic and Social Affairs, Population Division). Retrieved from Retrieved from.

**Yan, W. and Kang, M.S.** 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press.

## Evaluation of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) half-sib lines response to drought stress

Dariush Taleghani<sup>1\*</sup>, Ali Saremirad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sugar Beet Seed Institute (SBSI)- Agricultural Research Education and Extension, Karaj, Iran

\*Corresponding Author: [d.taleghani@areeo.ac.ir](mailto:d.taleghani@areeo.ac.ir)

Received: 11 February 2022

Accepted: 12 April 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.329271.1190

### Abstract

**Introduction:** Plants face a variety of environmental stresses during their growth and development phases, including biotic and abiotic stress factors. Sugar beet growth and productivity are severely affected by the lack of water resources and drought, which are among the most serious environmental stressors. However, the water productivity of sugar beet can be improved by using tolerant genotypes against water scarcity. A multi-year breeding program evaluated sugar beet pollinator lines to create drought-tolerant parents. The study aimed to improve and select drought-tolerant sugar beet pollinator lines.

**Material and methods:** In this regard, an experiment was conducted to evaluate the drought tolerance of sugar beet pollinator lines. The experiment was performed in two normal irrigation and drought stress conditions in 2014. The experiment was conducted in a randomized complete block design in three replications with 20 pollinator lines and three control lines. The root yield was estimated under normal and drought stress conditions, and different stress tolerance and sensitivity indices were calculated based on the results.

**Results and discussion:** The obtained results showed that normal and drought stress conditions caused different responses in terms of the root yield of the lines at the 1% probability level. A considerable variation was observed among the lines in terms of the trait at the 1% probability level. Genotype-environment interaction also caused a difference in terms of root yield at the 1% probability level. This indicates that the response of lines varies according to different environmental conditions. In other words, the environment causes a change in the yield of the lines from one environment to another. Based on the ranking of the lines under normal conditions and drought stress, it can be concluded that drought stress caused a decrease in the root yield of the investigated lines by a certain amount. Additionally, the ranking of the lines changed significantly under drought stress compared to a normal condition. This change in the rank of the lines can indicate the presence or absence of genes that are involved in stress tolerance. Therefore, it can be acknowledged that the lines that showed a decrease in root yield under drought stress conditions probably carry genes that were inherited from the drought-tolerant parent. The MP, GMP, STI, HM, YI, and DI had a significant positive correlation with root yield under both conditions. Principal component analysis (PCA) of root yield in both conditions and estimated indices showed that the first two components together explain more than 99% of the variance. Based on the coefficients obtained from PCA, the first component was named the root yield potential component and drought tolerance, and the second component was named the drought susceptibility component. Based on the MGIDI index, by applying a selection pressure of 15%, S1-950116 ranked first and control 110, and S1-950077 ranked next as the most ideal genotypes in terms of root yield, both normal and stress conditions, and 11 stress tolerance and sensitivity indices.

**Conclusion:** Based on the results of correlation analysis, principal component analysis, and the MGIDI index, the MP, GMP, STI, HM, YI, and DI indices were found to be the most suitable indices for selecting lines with high root yield potential and tolerance in drought -stress environments. Among the 20 studied pollinator lines, S1-950077, S1-950123, S1-950116, S1-950074, and S1-950119 had the highest tolerance compared to other lines. These lines had the highest root yield potential under both normal and stressful conditions, which could be due to the presence of drought tolerance genes

inherited from the tolerant maternal parent (fodder beet 7221). Therefore, these lines can be suggested as the pollinator parents for the production of drought-tolerant hybrids.

**Key words:** Fodder beet, Pollinator, Correlation, MGIDI