

تأثیر خشکی بر واکنش لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) از نظر عملکرد قندداریوش طالقانی^{۱*}، علی صارمی‌راد^۱

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

* مسئول مکاتبه: d.taleghani@areeo.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.321003.1173

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

چکیده

خشکی یکی از اصلی‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که باعث کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌شود. بهبود عملکرد گیاهان تحت تنش خشکی هدف اصلی برنامه‌های اصلاحی است، زیرا برای امنیت غذایی بسیار مهم هستند. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند نسبت به تنش خشکی و شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی انجام شد. به این منظور ۲۰ لاین چغندر قند در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری کرج کشت گردیدند و عملکرد قند آن‌ها تحت شرایط نرمال (V_p) و تنش خشکی (V_s) برآورد شد. شاخص‌های تحمل و حساسیت بر مبنای دو عملکرد یادشده محاسبه شدند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات محیط، ژنوتیپ و برهمکنش میان آن‌ها معنی‌دار بود. بر اساس نتایج شاخص‌های MP ، GMP ، STI ، HM ، YI ، REI و MRP لاین‌های $S1-9501116$ و $S1-950123$ ، شاخص DI لاین $S1-9501116$ ، شاخص ATI لاین $S1-950123$ و شاخص‌های RDI ، TOL ، SSI و $SSPI$ لاین $S1-950079$ به‌عنوان لاین‌های متحمل شناخته شدند. شاخص $SIIG$ از بین لاین‌های معرفی‌شده توسط شاخص‌ها، لاین $S1-950116$ را به دلیل کم‌ترین فاصله از لاین ایده‌آل (۰/۵۶)، بیشترین فاصله از لاین غیر ایده‌آل (۱/۱۲) و بیش‌ترین مقدار $SIIG$ (۰/۶۶)، متحمل‌ترین لاین عنوان نهاد. پس از آن، لاین‌های $S1-950123$ ، $S1-950077$ و $S1-950119$ به ترتیب با داشتن مقدار $SIIG$ برابر با ۰/۵۷، ۰/۵۶ و ۰/۵۶ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. لذا می‌توان این لاین‌ها را به‌عنوان والد پدری برای تولید هیبریدهای متحمل به خشکی پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ژنوتیپ ایده‌آل، شاخص تحمل غیر زیستی، عملکرد قند خالص

مقدمه

فعالیت‌های انسانی، جامعه بشری با سیاره خشک‌تر و گرم‌تر مواجه می‌شود؛ به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود این وضعیت در ۳۰ سال آینده وخیم‌تر شود و انتظار می‌رود که بیش از ۵۰ درصد از مناطق روی زمین در سال ۲۰۵۰ از کمبود آب رنج برند (Gupta et al., 2020). در چنین شرایطی، برای پاسخ‌گویی به تقاضای غذا در آینده، نیاز به بهبود تحمل گیاه به خشکی و استفاده از شیوه‌های کشاورزی اقتصادی و مفید از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود؛ بنابراین، کشت محصولات مقاوم به خشکی برای تضمین امنیت غذایی یک نیاز فوری است.

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) یکی از گیاهان مهم صنعتی است که تحت تأثیر کمبود آب و تنش ناشی از آن قرار گرفته و عملکرد آن به لحاظ کمی و کیفی با کاهش مواجه می‌گردد. این گیاه یک محصول بسیار مهم کشاورزی می‌باشد که صرفاً به‌طور تخصصی در صنعت قند مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تولید قند پس از نیشکر به شمار

گیاهان در طول دوره رشد و نمو در معرض تنش‌های مختلف محیطی اعم از تنش‌های زیستی و غیر زیستی قرار می‌گیرند. در این میان، خشکی یکی از شدیدترین تنش‌های غیر زیستی است که بر بهره‌وری گیاه تأثیر می‌گذارد. خشکی با تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاهان، منجر به خسارات سنگین در بخش کشاورزی در مقیاس جهانی می‌شود (Verma and Deepti, 2016). برخی خشکی را به‌عنوان تنش محیطی اصلی برای گیاهان مختلف، به‌ویژه در مناطق مستعد خشکی (Anjum et al., 2020; Diatta et al., 2011) و نیز بحرانی‌ترین تهدید برای امنیت غذایی جهان در آینده و سرعت‌دهنده (کاتالیزور) قحطی‌های مهم می‌دانند (Okorie et al., 2019). اثرات خشکی در کشاورزی به دلیل کاهش منابع آب و افزایش تقاضای غذا ناشی از رشد جمعیت جهان، نگرانی‌ها را تشدید می‌کند (O'Connell, 2017). از طرفی به دلیل گرمایش جهانی در اثر

تنش^۴ (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص تحمل به تنش فرناندز^۵ (Fernandez, 1992)، شاخص میانگین هارمونیک^۶ (Fernandez, 1992; Schneider et al., 1997)، شاخص نسبی خشکی^۷ (Fischer and Wood, 1979)، شاخص پایداری عملکرد^۸ (Bousslama and Schapaugh, 1984)، شاخص عملکرد^۹ (Gavuzzi et al., 1997)، شاخص خشکی^{۱۰} (Lan, 1998)، شاخص درصد حساسیت به تنش^{۱۱} (Mousavi et al., 2008b)، شاخص تحمل غیر زیستی^{۱۲} (Mousavi et al., 2008a)، شاخص بهره‌وری نسبی^{۱۳} (Hossain et al., 1990) و میانگین نسبی عملکرد^{۱۴} (Hossain et al., 1990) می‌باشند. زمانی که شاخص‌های متعددی برای گزینش ژنوتیپ‌های ایده‌آل به کار گرفته شود، امکان غربال دقیق‌تر ژرم‌پلاسم و گزینش مناسب میسر می‌شود؛ اما تعدد شاخص‌ها بر اساس معیارهای مختلف گزینش، باعث می‌شود تا گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب با سختی همراه شود. لذا نیاز به معیاری واحدی می‌باشد تا بتوان ژنوتیپ‌های مطلوب را با توجه به شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش انتخاب نمود. شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل^{۱۵} (SIIG) که برگرفته از مدل TOPSIS (Hwang and Yoon, 1981) است، یکی از روش‌هایی است که می‌تواند فاصله میان ژنوتیپ‌ها را مشخص و ژنوتیپ ایده‌آل را شناسایی کند. در این روش تمامی شاخص‌ها به‌صورت یک شاخص واحد درآمده و در نتیجه تعیین ژنوتیپ ایده‌آل به‌راحتی انجام می‌شود. در مطالعه حاضر به‌منظور شناسایی لاین‌های گرده‌افشان متحمل چغندر قند نسبت به تنش خشکی، شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش به کار گرفته شد و در نهایت با استفاده از شاخص SIIG لاین‌های ایده‌آل متحمل تعیین شدند.

می‌رود (Monteiro et al., 2018; Ribeiro et al., 2016)، به‌نحوی که نزدیک به ۲۰ درصد از تولید سالیانه قند جهان را به خود اختصاص می‌دهد (Monteiro et al., 2018; Ribeiro et al., 2016). ریشه چغندر قند حاوی درصد بالایی از ساکارز است که ماده اولیه اصلی برای تولید قند را تأمین می‌کند. تولید سالیانه ریشه چغندر قند در حدود ۲۷۸ میلیون تن است (FAO, 2021) که تقریباً به‌طور انحصاری جهت استخراج قند مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریشه چغندر قند علاوه بر ۱۸ تا ۲۰ درصد قند (Dohm et al., 2014)، حاوی ۷۵ درصد آب و پنج درصد تفاله (Anonymous, 1999) است. زمانی که این گیاه تحت تنش خشکی قرار گیرد، فرآیندهای مختلف مولکولی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و اکولوژیکی مختل می‌شوند (Ortiz et al., 2015) و سبب افت کمی و کیفی محصول آن می‌گردند. در این رابطه اصلاح و تولید ارقام متحمل به خشکی به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی برای غلبه بر تنش ناشی از کمبود آب مطرح می‌باشد (Saremirad and Mostafavi, 2018). لذا برنامه‌های به‌نژادی باید به‌گونه‌ای طراحی شوند تا ژنوتیپ‌هایی تولید گردند که با کاهش تعداد دفعات آبیاری و بالطبع آن کاهش مصرف آب، حداکثر تولید کمی و کیفی محصول به دست آید. 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). در این راستا می‌توان برای غربال و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، از شاخص‌های خشکی که معیارهای مختلفی را بر اساس کاهش عملکرد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط عدم تنش ارائه می‌کنند، استفاده نمود. شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی مختلفی توسط پژوهش‌گران به‌عنوان معیار گزینش توسعه داده شده است که شامل شاخص بهره‌وری متوسط^۱ (Rosielle and Hamblin, 1981)، بهره‌وری متوسط ژنومتریکی^۲ (Fernandez, 1992)، شاخص تحمل به تنش^۳ (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص حساسیت به

4. Stress Susceptibility Index
5. Stress Tolerance Index
6. Harmonic Mean Index
7. Relative Drought Index
8. Yield Stability Index
9. Yield Index
10. Drought Index
11. Stress Susceptibility Percentage Index
12. Abiotic Tolerance Index
13. Relative Efficiency Index
14. Mean Relative Performance
15. Selection Index of Ideal Genotype

1. Mean Productivity
2. Geometric Mean Productivity
3. Tolerance Index

مواد و روش‌ها

۱۳۹۳-۱۳۹۴ اجرا شد. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا ۱۲۵۰ متر می‌باشد. از نظر مختصات جغرافیایی در ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه ۵۰ 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 سلسیوس بوده و مجموع بارندگی سالیانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر می‌باشد. از نظر اقلیم‌شناسی در اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل قرار دارد (Anonymous, 2021). برخی از خصوصیات هواشناسی در جدول ۲ ارائه شده است.

مواد گیاهی مورد آزمایش عبارت از ۲۰ لاین گرده‌افشان چغندر قند بود که اسامی آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. این لاین‌ها در نتیجه تلاقی میان چغندر علوفه‌ای (با کد ۷۲۲۱) مقاوم در برابر خشکی و یک رقم اوتایپ (O-type) منورم طی سال‌ها برنامه اصلاحی با هدف تولید والد پدیری برای تهیه هیبریدهای چغندر قند متحمل به خشکی ایجاد شدند. آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی در ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری کرج طی سال زراعی

جدول ۱- مشخصات لاین‌های گرده‌افشان و شاهد‌های به‌کاررفته در آزمایش

Table 1- Specifications of experimental pollinator lines and controls used in the experiment

شماره	کد لاین/شاهد	شماره	کد لاین/شاهد	شماره	کد لاین/شاهد
Number	Line code/control	Number	Line code/control	Number	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	-	-

جدول ۲- میانگین دمای حداقل و حداکثر، میزان بارندگی و میانگین سرعت باد کرج در زمان اجرای پروژه

Table 2- Average minimum and maximum temperature, rainfall and average wind speed of Karaj at the time of project implementation

ماه	میانگین دمای حداقل	میانگین دمای حداکثر	میزان بارندگی	میانگین سرعت باد
Month	Average of minimum temperature (°C)	Average of maximum temperature (°C)	Rainfall (mm)	average of wind speed (km/h)
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

آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد و نتایج آن در جدول ۳ خلاصه گردید. بذر لاین‌ها و نیز سه شاهد شامل لاین متحمل IR7، لاین

در ابتدا پیش از اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب خاک تهیه و به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن به

$$WSY = WSC \times RY$$

در این روابط MS درصد قند ملاس برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم چغندر قند، K^+ پتاسیم برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم، Na^+ سدیم برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم، $alpha \text{ amino N}$ نیتروژن مضره، WSC قند قابل استحصال برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم چغندر قند، SC درصد عیار قند برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم چغندر قند، WSY عملکرد قند خالص برحسب تن در هکتار و RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار می‌باشد.

پس از برآورد عملکرد خالص قند و بررسی نرمال بودن خطاها برای داده‌های عملکرد قند در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، شناسایی لاین‌های متحمل و حساس با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش به شرح زیر انجام شد:

$$(۴) \text{ درصد کاهش عملکرد ناشی از خشکی} \\ PYR = \frac{(Y_p - Y_s)}{Y_p} \times 100$$

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

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

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

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

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

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

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

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

(۹) شاخص عملکرد (Gavuzzi et al., 1997)

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

(۱۰) شاخص مقاومت به تنش (Lan, 1998)

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

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

$$TOL = Y_p - Y_s$$

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

حساس ۱۹۱ و یک ژنوتیپ از جمعیت اصلاحی اولیه با کد ۱۱۰ در ردیف‌های هشت متری با فاصله مناسب روی ردیف‌ها، فاصله ۵۰ سانتی‌متری بین ردیف‌ها و عمق کاشت ۳-۵ سانتی‌متری با استفاده از ماشین کشت آبیورد کشت شدند. طی مرحله داشت جهت مبارزه با علف‌های هرز، وجین دستی صورت پذیرفت. آبیاری هر دو آزمایش تا مرحله چهار برگگی به صورت یکسان انجام شد. از این مرحله به بعد، در شرایط مطلوب، آبیاری بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر 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 تعیین یافت. پس از شستشوی ریشه‌ها، به‌طور تصادفی از ریشه‌های هر کرت با استفاده از دستگاه خودکار و نما^۱ نمونه خمیر تهیه گردید و در آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند از نظر ویژگی‌های کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور نمونه‌های خمیر تهیه‌شده پس از خارج شدن از حالت انجماد، از هر یک از آن‌ها ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر سو استات سرب^۲ به مدت سه دقیقه در داخل همزن مخلوط گردید. پس از گذراندن محلول از صافی، مایع شفاف حاصل شد که از آن در دستگاه بتالایزر^۳ (سیستم خودکار تجزیه کیفیت چغندر قند) برای اندازه‌گیری درصد ناخالص قند، نیتروژن مضره و عنصرهای سدیم و پتاسیم به کار گرفته شد (Kunz et al., 2002) و در نهایت از مقادیر به‌دست‌آمده برای این ویژگی‌ها، جهت تخمین عملکرد خالص قند به ترتیب بر اساس روابط ۱ تا ۳ استفاده شد:

(۱) درصد قند ملاس^۴ (Cook and Scott, 1993):

$$MS = 0.0343(K^+ + Na^+) + 0.094(alpha \text{ amino N}) - 0.31$$

(۲) قند قابل استحصال^۵ (Reinfeld et al., 1974):

$$WSC = SC - (MS + 0.6)$$

(۳) عملکرد قند خالص^۶ (Cook and Scott, 1993):

1. Venema
2. Lead (II) hydroxide acetate
3. Betalyser
4. Molasses Sugar
5. White Sugar Content

پس از نرمال کردن داده‌ها، بهترین لاین از نظر هر شاخص به‌عنوان لاین ایده‌آل و ضعیف‌ترین لاین به‌عنوان لاین غیر ایده‌آل تعیین شد. در مرحله بعد به بررسی فاصله هر لاین از لاین ایده‌آل (d_i^+) و نیز لاین غیر ایده‌آل (d_i^-) بر اساس روابط ۲۰ و ۲۱ پرداخته شد.

(۲۰) فاصله هر لاین از لاین ایده‌آل

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^g (r_{ij} - r_i^+)^2}$$

(۲۱) فاصله هر لاین از لاین غیر ایده‌آل

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^g (r_{ij} - r_i^-)^2}$$

در این روابط r_{ij} مقدار نرمال شده شاخص i ام برای لاین j ام، r_i^+ و r_i^- به ترتیب مقدار نرمال شده لاین‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل برای شاخص i ام می‌باشد. با حصول فواصل هر لاین از لاین ایده‌آل و غیر ایده‌آل، شاخص SIIG برای هر لاین طبق رابطه ۲۲ محاسبه شد.

(۲۲) شاخص گزینش لاین ایده‌آل

$$SIIG = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)}$$

برای انجام تجزیه واریانس مرکب عملکرد قند در دو محیط نرمال و تنش خشکی، تجزیه واریانس ساده عملکرد قند در شرایط نرمال، عملکرد قند در شرایط تنش و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی، ضرایب همبستگی میان شاخص‌ها و تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار R استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش در جدول ۴ ارائه گردیده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده دو شرایط عدم تنش و تنش ناشی از خشکی باعث ایجاد پاسخ‌های بسیار متفاوتی در سطح احتمال یک درصد از نظر عملکرد قند لاین‌ها شدند. میان لاین‌ها نیز از نظر صفت مذکور تنوع قابل ملاحظه‌ای در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید. برهمکنش ژنوتیپ-محیط نیز باعث ایجاد تفاوت از نظر عملکرد قند در سطح احتمال یک درصد شد. این موضوع نشان می‌دهد که با توجه به شرایط مختلف محیطی، پاسخ لاین‌ها از لحاظ عملکرد قند متغیر می‌باشد؛ به بیان بهتر محیط سبب تغییر در رتبه عملکرد لاین‌ها

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{Y_s}{\bar{Y}_p}\right)}{1 - \left(\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}\right)}$$

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

(2008b)

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

(۱۴) شاخص پایداری عملکرد (Bousslama and)

(Schapaugh, 1984)

$$YSI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_p}$$

(۱۵) شاخص تنش نسبی (Fischer and Wood, 1979)

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

(۱۶) شاخص تحمل غیر زیستی (Mousavi *et al.*, 2008a)

$$ATI = \left[\frac{(Y_p - Y_s)}{\bar{Y}_p} \times \sqrt{\bar{Y}_p \times Y_s}\right]$$

(۱۷) شاخص بهره‌وری نسبی (Hossain *et al.*, 1990)

$$REI = \left(\frac{Y_s}{\bar{Y}_s}\right) \times \left(\frac{\bar{Y}_p}{Y_p}\right)$$

(۱۸) میانگین نسبی عملکرد (Hossain *et al.*, 1990)

$$MRP = \left(\frac{Y_s}{\bar{Y}_s}\right) + \left(\frac{\bar{Y}_p}{Y_p}\right)$$

در این روابط Y_p عملکرد قند لاین مورد نظر در محیط عدم

تنش، Y_s عملکرد قند لاین مورد نظر در شرایط تنش، \bar{Y}_s متوسط عملکرد قند کلیه لاین‌ها در شرایط تنش، \bar{Y}_p متوسط عملکرد قند کلیه لاین‌ها در محیط عدم تنش می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های کمی تحمل و حساسیت به تنش خشکی از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

به‌منظور بررسی بهتر و کارآمدتر تحمل به تنش خشکی لاین‌های گرده‌افشان با در نظر داشتن معیارهای ارائه‌شده توسط تک‌تک شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، شاخص SIIG با استفاده از نرم‌افزار Excel برآورد گردید. به این منظور ابتدا داده‌های اصلی بر اساس رابطه ۱۹ نرمال شدند (Zali *et al.*,) (2015).

(۱۹) نرمال کردن داده‌ها

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum X_{ij}^2}}$$

داشت که مؤید تنوع بالا در بین لاین‌های تحت آزمایش است. برهمکنش ژنوتیپ- محیط ۲۰/۱۴ درصد از تغییرات کل داده‌های عملکرد قند 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 قند لاین‌ها داشته است.

از نظر عملکرد قند از محیطی به محیط دیگر شده است. نتایج تجزیه واریانس مرکب حاکی از آن بود که بیش‌ترین مجموع مربعات کل به‌وسیله محیط (۴۶/۱۱ درصد) تبیین می‌شود؛ لذا چنین استنباط می‌گردد که محیط‌ها تأثیر بسزایی در تغییرات داده‌های مربوط به ویژگی عملکرد قند داشته است. پس از آن بالاترین واریانس توجیه‌شده به اثر ژنوتیپ (۳۱/۱۹ درصد) تعلق

جدول ۳- نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایستگاه تحقیقات چغندر قند مهندس مطهری کرج

Table 3- Results of some physical and chemical properties of soil of Karaj Motahhari sugar beet research station

عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	سدیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	آمونیم	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	pH	کربن آلی OC (%)
		Na	K	P	N	NH ₄			
0-30	لومی-رسی Loam-clay	6.36	598.85	10.45	14.65	1.63	1.03	7.84	1.03

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

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

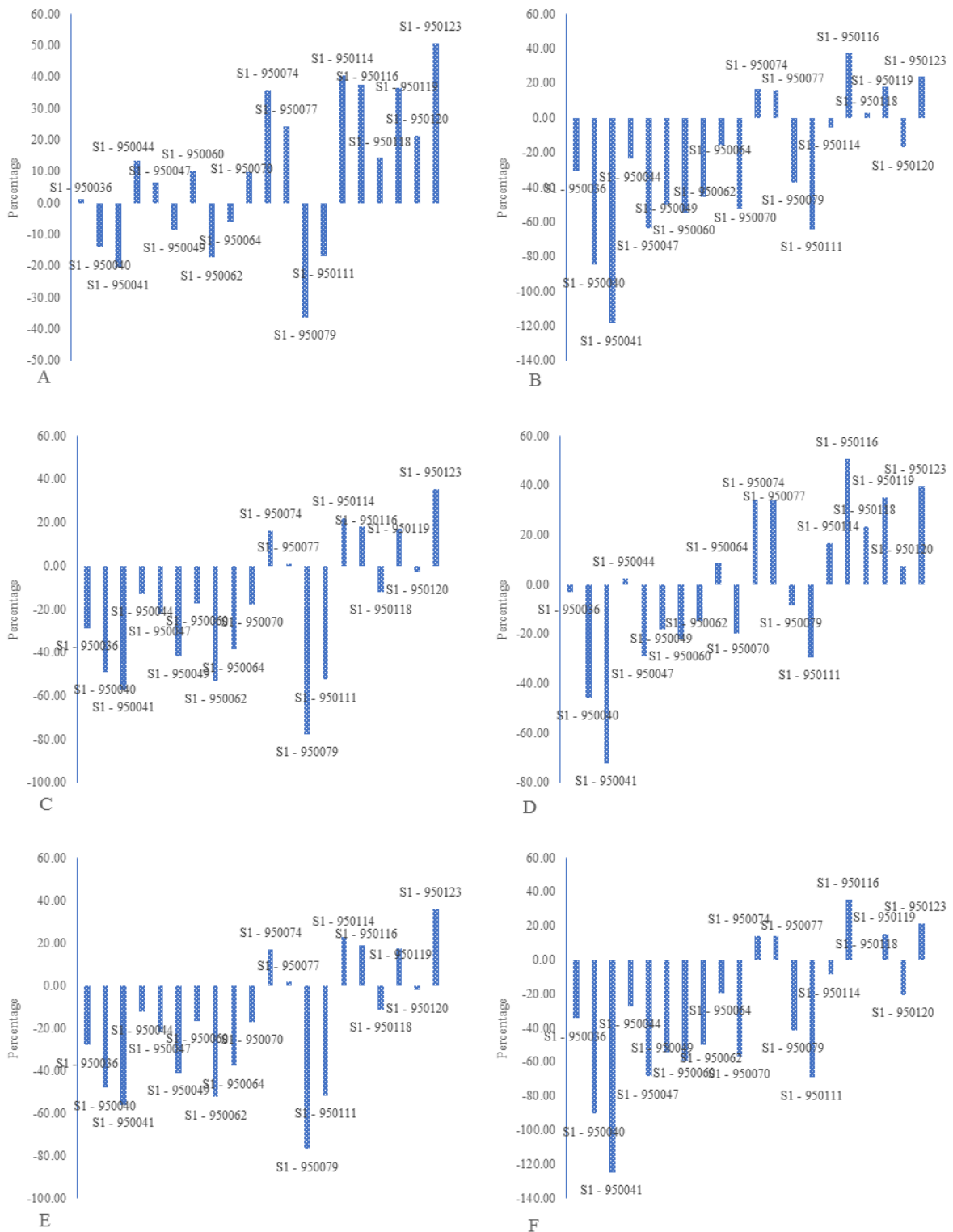
منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	واریانس توجیه شده SS explained (%)
محیط Environment	1	988.36	988.36**	46.11
خطا ۱ Error 1	4	16.92	4.23	0.79
ژنوتیپ Genotype	22	668.36	30.38**	31.19
برهمکنش ژنوتیپ-محیط Genotype-environment interaction	22	431.64	19.62**	20.14
خطا ۲ Error 2	88	37.84	0.43	1.77
ضریب تغییرات Coefficient of variation (percentage)			10.06	

** : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

** : Significant at 1% probability levels

بیشترین عملکرد را داشتند. با اعمال تنش خشکی نتایج بسیار متفاوتی مشاهده شد، به طوری که تنها شش لاین S1-950123، S1-950074، S1-950119، S1-950116، S1-950114 و S1-950077 نسبت به شاهد ۱۱۰ در بازه بین ۲/۹۰ تا ۳۷/۵۵ درصد برتری نشان دادند (شکل B). عملکرد شش لاین نام‌برده به ترتیب برابر با ۷/۵۱، ۶/۱۶، ۵/۷۲، ۵/۶۵، ۵/۶۲ و ۴/۸۳ تن در هکتار برآورد شد. دلیل اینکه شش لاین نام‌برده نسبت به والد عملکرد بالاتری داشتند، می‌تواند ناشی از پدیده هتروزیس باشد.

در شکل ۱ به مقایسه عملکرد قند هر یک از لاین‌ها با هر یک از شاهد‌های به‌کاررفته در آزمایش در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی پرداخته شده است. مقایسه لاین‌ها با شاهد ۱۱۰ که یکی از والدین لاین‌های گرده‌افشان است، نشان داد که در شرایط نرمال ۶۵ درصد از لاین‌های اصلاحی (۱۳ لاین) بین ۱/۴۵ تا ۵۰/۷۳ درصد نسبت به شاهد ۱۱۰ برتری دارند (شکل A). در این بین به ترتیب پنج لاین S1-950123، S1-950114، S1-950116، S1-950119 و S1-950074 با عملکرد قند ۹/۶۴، ۷/۹۸، ۷/۶۱، ۷/۴۸ و ۷/۴۳ تن در هکتار



شکل ۱- درصد تغییر عملکرد لاین‌ها در برابر شاهد ۱۱۰ در شرایط نرمال (A)، در برابر شاهد ۱۱۰ در شرایط خشکی (B)، در برابر شاهد ۱۹۱ در شرایط نرمال (C)، در برابر شاهد ۱۹۱ در شرایط خشکی (D)، در برابر شاهد IR7 در شرایط نرمال (E) و در برابر شاهد IR7 در شرایط خشکی (F)

Figure 1- Percentage change of line performance against control 110 in normal conditions (A), against control 110 in drought conditions (B), against control 191 in normal conditions (C), against control 191 in drought conditions (D), Against IR7 control under normal conditions (E) and against IR7 control under drought conditions (F)

al., 2002; Sánchez-Blanco *et al.*, 2004; Saremirad and Mostafavi, 2020) گزارش شده است. 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 اتفاق می‌افتد، 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 آلل‌های مطلوب می‌شود و نهایتاً لاین‌های با پتانسیل عملکرد بالا انتخاب می‌گردند (Richards, 1996).

به‌کارگیری شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش سبب گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم بر اساس صفات اندازه‌گیری شده تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی می‌شود. در بین صفات مختلف، عملکرد معیار مورد اطمینانی برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی به شمار می‌رود (Singh *et al.*, 2001). نتایج تجزیه واریانس ساده عملکرد قند در شرایط نرمال، عملکرد قند در شرایط تنش خشکی و هر یک از شاخص‌های SSPI, SSI, TOL, DI, YI, HM, STI, GMP, MP, PYR, RDI, ATI, REI و MRP نشان داد که در بین لاین‌های گرده‌افشان از نظر تمامی موارد ذکر شده به‌جز شاخص YSI تنوع قابل ملاحظه‌ای در سطوح احتمال یک و پنج درصد وجود دارد (جدول ۵). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۶)، در شرایط آبیاری نرمال لاین گرده‌افشان S1- 950123 حائز بیشترین عملکرد قند با میانگین ۹/۶۴ تن در هکتار بود و پایین‌ترین میزان عملکرد قند به لاین گرده‌افشان S1- 950079 با متوسط عملکرد قند ۳/۴۹ تن در هکتار تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی عملکرد قند لاین‌ها در محدوده ۲/۱۵ تن در هکتار تا

در شرایط آبیاری نرمال لاین‌های S1- 950123, S1- 950114, 950116, S1- 950119, S1- 950074 و S1- 950077 نسبت به شاهد ۱۹۱ بیشترین و مابقی لاین‌ها که در حدود ۶۵ درصد ژرم‌پلاسما را تشکیل می‌دهند، کمترین میزان عملکرد قند را نسبت به شاهد ۱۹۱ داشتند (شکل D۱). با تغییر رژیم آبیاری و بروز تنش خشکی، ۱۰ لاین نسبت به شاهد مذکور عملکرد قند بیشتری نشان دادند. علت اینکه با اعمال تنش تعداد لاین‌های برتر افزایش داشت، کاهش بسیار قابل ملاحظه عملکرد قند شاهد ۱۹۱ در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری نرمال بود؛ زیرا در شاهد ۱۹۱ ژن‌های مقاومت در برابر تنش خشکی حضور ندارند و تحت عنوان ژنوتیپ حساس به خشکی شناخته می‌شود. بیشترین میزان برتری با ۵۰/۷۳ درصد به لاین S1- 950123 و کمترین آن با ۲/۴۳ درصد به لاین S1- 950060 متعلق بود (شکل D۱). ۱۰ لاینی که در شرایط تنش از شاهد حساس عملکرد قند کمتری بروز دادند، در شرایط نرمال نیز جز لاین‌های ضعیف به لحاظ عملکرد قند بودند، لذا بهتر است که از برنامه‌های اصلاحی کنار گذاشته شوند.

مقایسه لاین‌ها با شاهد IR7 در هر دو شرایط آبیاری نرمال (شکل E۱) و تنش خشکی (شکل F۱) نشان داد که فقط لاین‌های S1- 950123, S1- 950114, S1- 950116, S1- 950119, 950116, S1- 950074 و S1- 950077 طی هر دو شرایط با رتبه یکسان نسبت به شاهد مذکور دارای عملکرد قند برتری بودند و مابقی لاین‌ها عملکرد قند کمتری را نسبت به این شاهد داشتند. در مجموع شش لاین S1- 950123, S1- 950114, S1- 950116, S1- 950119, S1- 950074 و S1- 950077 به ترتیب با عملکرد قند ۹/۶۴، ۷/۹۸، ۷/۶۱، ۷/۴۸، ۷/۴۳ و ۶/۲۸ تن در هکتار در شرایط آبیاری نرمال و ۷/۵۱، ۶/۱۶، ۵/۷۲، ۵/۶۵، ۵/۶۲ و ۴/۸۳ تن در هکتار در شرایط تنش خشکی در قیاس با هر سه شاهد به‌کاررفته در آزمایش و به‌خصوص شاهد متحمل به خشکی برتری نشان دادند که از آن‌ها می‌توان به‌عنوان والد گرده‌افشان در برنامه‌های به‌نژادی با هدف تولید هیبرید متحمل به خشکی استفاده نمود. تأثیرات ناشی از تنش خشکی در صفات مختلف به‌ویژه عملکرد قند در چغندر قند (Bazrafshan *et al.*, 2009; Mohammadian *et al.*, 2002) و نیز گیاهان دیگر (Earl and Davis, 2003; Nabipour *et al.*)

هکتار به‌عنوان لاین‌های متحمل در برابر تنش معرفی کردند. بر اساس شاخص DI لاین گرده‌افشان S1- 9501116، شاخص RDI لاین گرده‌افشان S1- 950079 و شاخص ATI لاین گرده‌افشان S1- 950123 متحمل شناخته شد. اگرچه لاین‌های آزمایشی از نظر شاخص YSI دارای تفاوت معنی‌داری نبودند، اما بر اساس نتایج، لاین گرده‌افشان S1- 950079 بیشترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داد و لاین متحمل بر اساس شاخص مذکور منظور شد. گروه دیگر شاخص‌های محاسبه‌شده شامل شاخص‌های TOL، SSI و SSPI بودند. از نظر این شاخص‌ها، هر اندازه مقادیر به‌دست‌آمده برای لاینی کم‌تر باشد، تحمل خشکی آن لاین/ها بیشتر است. لذا بر اساس این شاخص‌ها، لاین گرده‌افشان S1- 950079 به‌عنوان لاین متحمل انتخاب شد. محققین (Rosielle and Hamblin, 1981) اذعان داشتند، هر اندازه شاخص تحمل کوچک‌تر باشد، حساسیت به خشکی ژنوتیپ کمتر و مطلوب‌تر است؛ اما مهم‌ترین نکته قابل توجه آن است که این شاخص‌ها تفاوت عملکرد را در دو شرایط مدنظر قرار می‌دهد و به میزان عملکرد توجهی ندارند و این موضوع باعث می‌شود تا گاهی ضعیف‌ترین لاین از نظر عملکرد مانند S1- 950079، به‌عنوان لاین متحمل شناخته شود.

به‌منظور ارزیابی کلی پاسخ لاین‌های گرده‌افشان و شناسایی ساده‌تر لاین‌ها از نظر تحمل به خشکی از شاخص SIIG استفاده شد. شاخص SIIG به‌طور هم‌زمان تمامی شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی را مدنظر قرار داده و ژنوتیپ ایده‌آل را مشخص می‌کند. در واقع این شاخص نتایج حاصل از بررسی همه شاخص‌ها را باهم در نظر گرفته و تبدیل به یک شاخص واحد می‌کند. لذا بررسی لاین‌ها و گزینش لاین‌های متحمل به‌راحتی انجام می‌شود. در جدول ۷ مقادیر و رتبه شاخص SIIG، فاصله لاین‌ها از ژنوتیپ ایده‌آل و غیر ایده‌آل آورده شده است. مقدار شاخص SIIG بین صفر و یک متغیر است. هر اندازه مقدار این شاخص برای لاین/هایی به سمت یک میل کند، نشان‌دهنده فاصله زیاد آن از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (لاین حساس) و فاصله کم آن با ژنوتیپ ایده‌آل (لاین مقاوم) می‌باشد، بنابراین آن لاین/ها از تحمل تنش بالایی برخوردار خواهند بود. در مقابل لاین/هایی که مقدار SIIG آن نزدیک به صفر باشد، جز ضعیف‌ترین لاین‌ها در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس و نیز

۷/۵۱ تن در هکتار قرار داشت. دو لاین گرده‌افشان S1- 9501116 و S1- 950123 به ترتیب با میانگین عملکرد قند ۷/۵۱ و ۶/۱۶ تن در هکتار بیشترین میزان و لاین گرده‌افشان S1- 950040 با میانگین عملکرد قند ۲/۱۵ تن در هکتار کمترین میزان عملکرد را به خود اختصاص دادند. محاسبه درصد کاهش که در نتیجه تنش خشکی در عملکرد قند لاین‌ها ایجاد شده است، مبین کاهش در دامنه ۱/۲۶ درصدی برای میانگین عملکرد قند شاهد ۱۱۰ تا ۴۵/۵۷ درصدی برای میانگین عملکرد قند ریشه لاین S1- 950041 بود. بیشترین کاهش پس از لاین S1- 950041 به لاین‌های S1- 950114 و S1- 950047 به ترتیب با ۴۴/۲۴ و ۴۳/۵۰ درصد تعلق داشت (جدول ۶). در لاین S1- 950116 با ۱/۳۱ درصد کاهش، پایین‌ترین میزان کاهش عملکرد قند اتفاق افتاد که مبین تحمل بالای این لاین گرده‌افشان در برابر تنش خشکی می‌باشد. از طرفی لاین مذکور از نظر پتانسیل عملکرد قند نیز در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به ترتیب در رتبه‌های سوم و اول قرار داشت که نشان‌دهنده این موضوع است که علاوه بر تحمل زیاد از عملکرد قند بالایی نیز برخوردار است. نظر به رتبه لاین‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی، چنین استنباط می‌شود که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد قند با میزان مشخص در همه لاین‌های تحت بررسی نشده است و تغییری بالایی در رتبه لاین‌ها نسبت به شرایط نرمال ایجاد کرده است. تغییر در رتبه لاین‌ها از نظر پتانسیل عملکرد قند در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال و عدم تأثیرپذیری یکسان آن‌ها، می‌تواند نشان‌دهنده حضور و عدم حضور ژن/هایی باشد که در تحمل به تنش دخیل هستند؛ بنابراین می‌توان اذعان نمود، لاین/هایی که تحت شرایط تنش خشکی افت عملکرد قند پایینی نشان دادند، حامل ژن/هایی می‌توانند باشند که از والد متحمل به خشکی به ارث رسیده است.

به‌طور کلی شاخص‌های محاسبه‌شده در دو گروه قرار می‌گیرند. گروهی شامل شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، SI، YSI، RSI، ATI، REI و MRP که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده تحمل لاین‌ها در برابر تنش است. بر اساس نتایج حاصله برای این گروه، شاخص‌های MP، GMP، STI، HM، YI، REI و MRP لاین‌های گرده‌افشان S1- 9501116 و S1- 950123 به ترتیب با میانگین عملکرد قند ۷/۵۱ و ۶/۱۶ تن در

جدول ۵- تجزیه واریانس ساده عملکرد قند در شرایط نرمال، عملکرد قند در شرایط تنش و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند

منابع تغییر	درجه آزادی	Yp	Ys	PYR	MP	GMP	STI	HTI	HM	YI	DI	TOL	SSI	SSPI	YSI	RDI	ATI	REI	MRP		
Source of variation	df																				
بلوک	2	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	18.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.8 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.9 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	0.0 ^{ns}	
ژنوتیپ	22	2.5 ^{**}	1.8 ^{**}	220.7 ^{**}	1.9 ^{**}	1.9 ^{**}	0.2 ^{**}	1.9 ^{**}	0.1 ^{**}	0.2 ^{**}	0.2 ^{**}	1.0 ^{**}	0.3 ^{**}	74.6 ^{**}	0.03 ^{ns}	0.04 [*]	75.4 ^{**}	0.4 ^{**}	0.4 ^{**}	0.3 ^{**}	
خطا	46	0.3	0.2	26.2	0.2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	1.8	0.03	0.0	1.8	0.1	0.1	0.1	
Error																					
ضریب تغییرات		9.7	10.8	19.5	9.1	9.3	20.2	11.5	24.4	25.0	29.8	29.8	28.2	10.0	23.4	19.08	13.1	29.5	15.8		
Coefficient of variation (percentage)																					

^{ns}, * and **: Non-significant and Significant at 5% and 1% probability levels, respectively
 *^{ns} و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

همان‌طور که در نتایج جدول ۷ مشاهده می‌گردد، لاین گرده‌افشان S1- 950116 کم‌ترین فاصله را از لاین ایده‌آل (۰/۵۶) و بیشترین فاصله را از لاین غیر ایده‌آل (۱/۱۲) در مقایسه با سایر لاین‌ها دارد، لذا بر همین اساس لاین S1- 950116 با بیش‌ترین مقدار SIIG (۰/۶۶) متحمل‌ترین لاین گرده‌افشان معرفی شد. پس از لاین نامبرده، لاین‌های S1- 950123، S1- 950077 و S1- 950119 به ترتیب با داشتن مقدار SIIG برابر با ۰/۵۷، ۰/۵۶ و ۰/۵۶ در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و جز لاین‌های مطلوب دسته‌بندی شدند. لاین گرده‌افشان S1- 950041 بیشترین فاصله از لاین ایده‌آل (۱/۱۳) و کمترین فاصله از لاین غیر ایده‌آل (۰/۳۱) و کمترین مقدار SIIG برابر با ۰/۲۱ را به خود اختصاص داد؛ بنابراین به‌عنوان حساس‌ترین لاین نسبت به تنش خشکی شناخته شد. شاخص SIIG اولین بار برای گزینش ژنوتیپ ایده‌آل بر اساس نتایج آماره‌های پارامتری و ناپارامتری به‌منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های کلزا به کار برده شد و بر پایه اطلاعات به‌دست‌آمده، ژنوتیپ پایدار مشخص گردید (Zali et al., 2015). پس از مطالعه مذکور، شاخص SIIG در مطالعه‌های مختلف برای شناسایی ژنوتیپ‌های ایده‌آل به کار گرفته شد. از این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در تجزیه پایداری گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018)، ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در گندم نان (Yaghutipoor et al., 2017) و عدس (Amiri et al., 2021)، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش فلزات سنگین در گندم دوروم (Ramzi et al., 2018) و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش سرمایی در کلزا (Abdollahi Hesar et al., 2021) استفاده شده است. در مجموع با توجه به نتایج پژوهش حاضر و نتایج مطالعات مذکور می‌توان بیان نمود که به‌کارگیری شاخص SIIG باعث می‌شود تا با ادغام آماره‌های مختلف و رتبه‌بندی ژرم‌پلاسما آزمایشی، گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب تسهیل شده و به شکل کارآمدتری انجام شود. از همبستگی میان شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش با عملکرد قند 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 قند در هر دو شرایط نرمال و تنش برخوردار باشند، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تعیین لاین‌های متحمل هستند.

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین عملکرد قند در شرایط نرمال، عملکرد قند در شرایط تنش و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند

Table 6- Comparison results of mean sugar yield under normal conditions, sugar yield under stress conditions and stress tolerance and sensitivity indices in sugar beet pollinator lines

لاین / شاهد Line/ Control	Yp	Ys	PY R	M P	GM P	ST I	H M	YI	DI	TO L	SS I	SSP I	YS I	RD I	ATI	RE I	MR P
S1- 950036	4.82	3.60	25.31	4.21	4.17	0.55	4.12	0.87	0.65	1.22	0.95	10.83	0.75	1.02	6.93	0.75	1.73
S1- 950040	4.17	2.54	39.09	3.36	3.25	0.33	3.16	0.61	0.37	1.63	1.47	14.48	0.61	0.83	7.23	0.46	1.36
S1- 950041	3.95	2.15	45.57	3.05	2.91	0.27	2.78	0.52	0.28	1.80	1.71	15.99	0.54	0.74	7.15	0.37	1.22
S1- 950044	5.49	3.80	30.78	4.65	4.57	0.66	4.49	0.92	0.64	1.69	1.15	15.01	0.69	0.94	10.52	0.90	1.90
S1- 950047	5.08	2.87	43.50	3.98	3.82	0.46	3.67	0.69	0.39	2.21	1.63	19.63	0.56	0.77	11.50	0.63	1.60
S1- 950049	4.38	3.14	28.31	3.76	3.71	0.43	3.66	0.76	0.55	1.24	1.06	11.01	0.72	0.98	6.27	0.59	1.54
S1- 950060	5.29	3.04	42.53	4.17	4.01	0.51	3.86	0.74	0.42	2.25	1.59	19.98	0.57	0.78	12.30	0.69	1.68
S1- 950062	4.05	3.23	20.25	3.64	3.62	0.41	3.59	0.78	0.62	0.82	0.76	7.28	0.80	1.09	4.04	0.56	1.50
S1- 950064	4.48	4.05	9.60	4.27	4.26	0.57	4.25	0.98	0.89	0.43	0.36	3.82	0.90	1.23	2.50	0.78	1.78
S1- 950070	5.27	3.09	41.37	4.18	4.04	0.51	3.90	0.75	0.44	2.18	1.55	19.36	0.59	0.80	11.99	0.70	1.68
S1- 950074	7.43	5.65	23.96	6.54	6.48	1.32	6.42	1.37	1.04	1.78	0.90	15.81	0.76	1.04	15.72	1.81	2.69
S1- 950077	6.28	5.62	10.51	5.95	5.94	1.11	5.93	1.36	1.22	0.66	0.39	5.86	0.89	1.22	5.35	1.52	2.48
S1- 950079	3.49	3.42	2.05	3.46	3.45	0.38	3.45	0.84	0.86	0.07	0.08	0.62	1.02	1.39	0.33	0.51	1.45
S1- 950111	4.07	2.86	29.73	3.47	3.41	0.37	3.36	0.69	0.49	1.21	1.11	10.75	0.70	0.96	5.63	0.50	1.42
S1- 950114	7.98	4.45	44.24	6.22	5.96	1.12	5.71	1.08	0.60	3.53	1.66	31.35	0.56	0.76	28.68	1.53	2.49
S1- 950116	7.61	7.51	1.31	7.56	7.56	1.80	7.56	1.82	1.79	0.10	0.05	0.89	0.99	1.35	1.03	2.46	3.17
S1- 950118	5.55	4.83	12.97	5.19	5.18	0.84	5.17	1.17	1.02	0.72	0.49	6.39	0.87	1.19	5.08	1.15	2.16
S1- 950119	7.48	5.72	23.53	6.60	6.54	1.35	6.48	1.38	1.06	1.76	0.88	15.63	0.76	1.04	15.69	1.84	2.71
S1- 950120	6.04	4.01	33.61	5.03	4.92	0.76	4.82	0.97	0.64	2.03	1.26	18.03	0.66	0.91	13.62	1.04	2.04
S1- 950123	9.64	6.16	36.10	7.90	7.71	1.87	7.52	1.49	0.95	3.48	1.35	30.91	0.64	0.87	36.56	2.55	3.20
110	4.75	4.69	1.26	4.72	4.72	0.70	4.72	1.14	1.12	0.06	0.05	0.53	0.99	1.35	0.39	0.96	1.98
191	6.20	3.70	40.32	4.95	4.79	0.72	4.63	0.90	0.53	2.50	1.51	22.20	0.60	0.81	16.32	0.99	2.00
IR7	6.17	4.83	21.72	5.50	5.46	0.94	5.42	1.17	0.92	1.34	0.81	11.90	0.78	1.07	9.97	1.28	2.27
LSD 5%	1.65	1.54	5.16	1.56	1.55	0.90	1.55	0.75	0.79	1.32	0.99	3.93	0.51	0.60	3.94	1.05	1.00
LSD 1%	2.25	2.09	1.01	2.12	2.11	1.22	2.11	1.03	1.07	1.79	1.35	5.34	0.70	0.81	5.36	1.43	1.36

بسیار معنی‌داری با عملکرد قند 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 قند در شرایط نرمال و منفی و غیر معنی‌دار با عملکرد قند در شرایط تنش خشکی داشتند. شاخص ATI در هر دو شرایط همبستگی مثبت با عملکرد قند نشان داد، اما در شرایط تنش این همبستگی غیر معنی‌دار و در شرایط نرمال معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد بود. شاخص‌های RDI و YSI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد قند در شرایط تنش خشکی از خود بروز دادند، درحالی‌که

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی پیرسون بین عملکرد قند در دو محیط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های مورد بررسی در شکل ۲ قابل مشاهده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده، میان عملکرد قند لاین‌های گرده‌افشان در شرایط نرمال و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۱ درصد وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که اگر لاینی دارای عملکرد قند مطلوب، متوسط و یا نامطلوب در شرایط نرمال باشد، بالطبع در شرایط تنش نیز از عملکرد قند مطلوب، متوسط و یا نامطلوب برخوردار خواهد شد. با توجه به اینکه شاخص‌های GMP, MP, HM, STI, YI, DI, REI, MRP و SIIG همبستگی مثبت و

(*al.*, 1992). شاخص SIIG با تمامی شاخص‌ها به‌جز چهار شاخص PYR، TOL، SSI و SSPI همبستگی مثبت نشان داد. همبستگی منفی با چهار شاخص مذکور به دلیل آن است که از نظر شاخص‌های نام‌برده لاین ایده‌آل لاینی است که مقادیر پایینی را به خود اختصاص دهد، لذا در نظر گرفتن این موضوع در محاسبه شاخص SIIG منجر به همبستگی منفی میان SIIG با شاخص‌های مذکور شد.

این همبستگی با عملکرد قند در محیط نرمال مثبت ولی غیر معنی‌دار شد؛ دو شاخص PYR و SSI با عملکرد قند در شرایط تنش خشکی همبستگی منفی و معنی‌دار و با عملکرد قند در شرایط نرمال همبستگی مثبت و غیر معنی‌دار داشتند. به‌طور کلی با توجه به نتایج تجزیه همبستگی، گزینش لاین‌ها بر اساس شاخص‌های TOL، SSPI، ATI، PYR، SSI، RDI و YSI با خطا همراه خواهد بود، لذا شاخص‌های مذکور برای شناسایی لاین‌های متحمل سودمند نخواهند بود (Schneider *et al.*, 1997; Schneiter *et*)

جدول ۷- مقادیر و رتبه شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، فاصله لاین‌ها از ژنوتیپ ایده‌آل و غیر ایده‌آل در لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند

Table 7- Values and ranks of selection index of ideal genotype (SIIG), distance of lines from ideal and non-ideal genotype in sugar beet pollinator lines

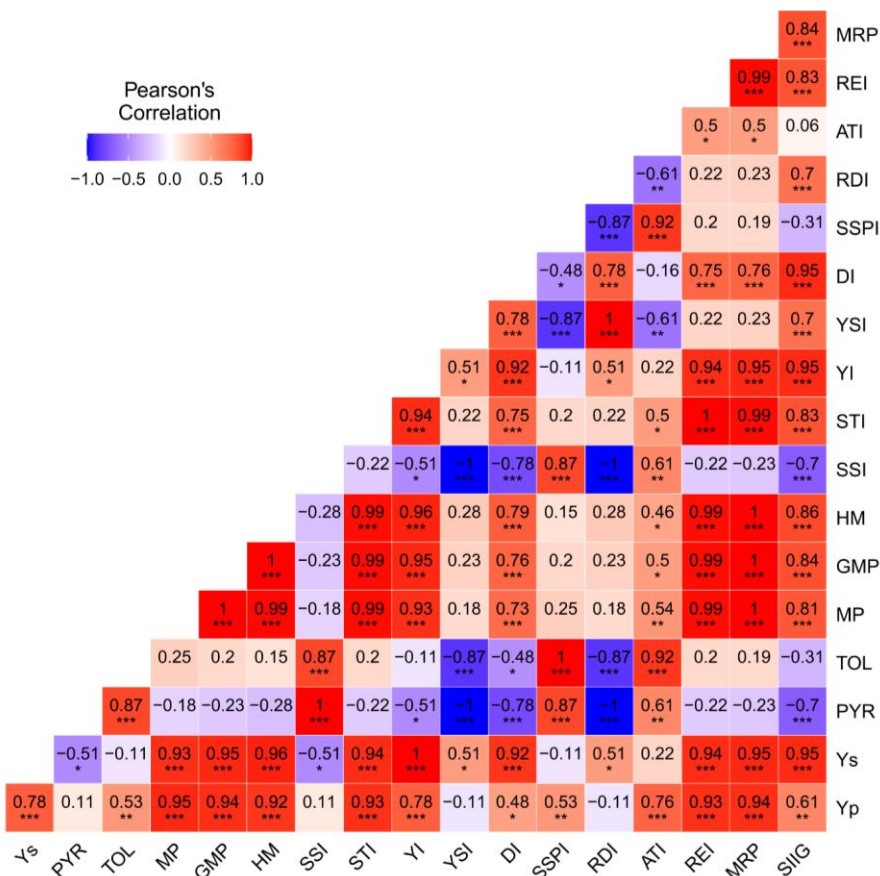
لاین / شاهد Line/Control	فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل d ⁺		فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل d ⁻		شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل SIIG	
	ارزش	رتبه	ارزش	رتبه	ارزش	رتبه
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank
S1- 950036	0.88	13	0.49	13	0.36	13
S1- 950040	1.06	19	0.34	22	0.25	20
S1- 950041	1.13	23	0.31	23	0.21	23
S1- 950044	0.86	15	0.45	11	0.34	15
S1- 950047	1.03	22	0.31	21	0.23	22
S1- 950049	0.95	16	0.45	17	0.32	16
S1- 950060	1.00	21	0.32	20	0.24	21
S1- 950062	0.94	12	0.54	16	0.37	12
S1- 950064	0.84	9	0.69	10	0.45	9
S1- 950070	0.99	20	0.33	18	0.25	19
S1- 950074	0.59	7	0.72	3	0.55	5
S1- 950077	0.63	4	0.79	4	0.56	3
S1- 950079	0.93	5	0.76	15	0.45	10
S1- 950111	0.99	17	0.44	19	0.31	18
S1- 950114	0.88	10	0.63	12	0.42	11
S1- 950116	0.56	1	1.12	1	0.66	1
S1- 950118	0.72	8	0.70	7	0.49	7
S1- 950119	0.58	6	0.73	2	0.56	4
S1- 950120	0.84	14	0.46	9	0.35	14
S1- 950123	0.72	2	0.96	6	0.57	2
110	0.79	3	0.82	8	0.51	6
191	0.91	18	0.41	14	0.31	17
IR7	0.70	11	0.62	5	0.47	8

MP، GMP، STI، HM، YI، DI، REI و MRP نیز مقادیر بالاتری داشت، به‌تنهایی در گروه اول قرار گرفت، لذا می‌توان این لاین گرده‌افشان را برای تولید هیبریدهای مقاوم به خشکی جهت کشت در مناطق مختلف که احتمال روبه‌رو شدن با تنش ناشی از کم‌آبی وجود دارد، استفاده کرد. در گروه دوم لاین‌های گرده‌افشان S1- 950077، S1- 950118، S1- 950074، S1-

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۳)، ۲۰ لاین گرده‌افشان و سه شاهد مورد استفاده در پنج گروه اصلی و عملکرد قند در شرایط نرمال، عملکرد قند در شرایط تنش خشکی و ۱۶ شاخص برآورد شده در ۴ گروه اصلی جای گرفتند. لاین S1- 950116 که نه‌تنها از نظر عملکرد قند در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بلکه از نظر شاخص‌های

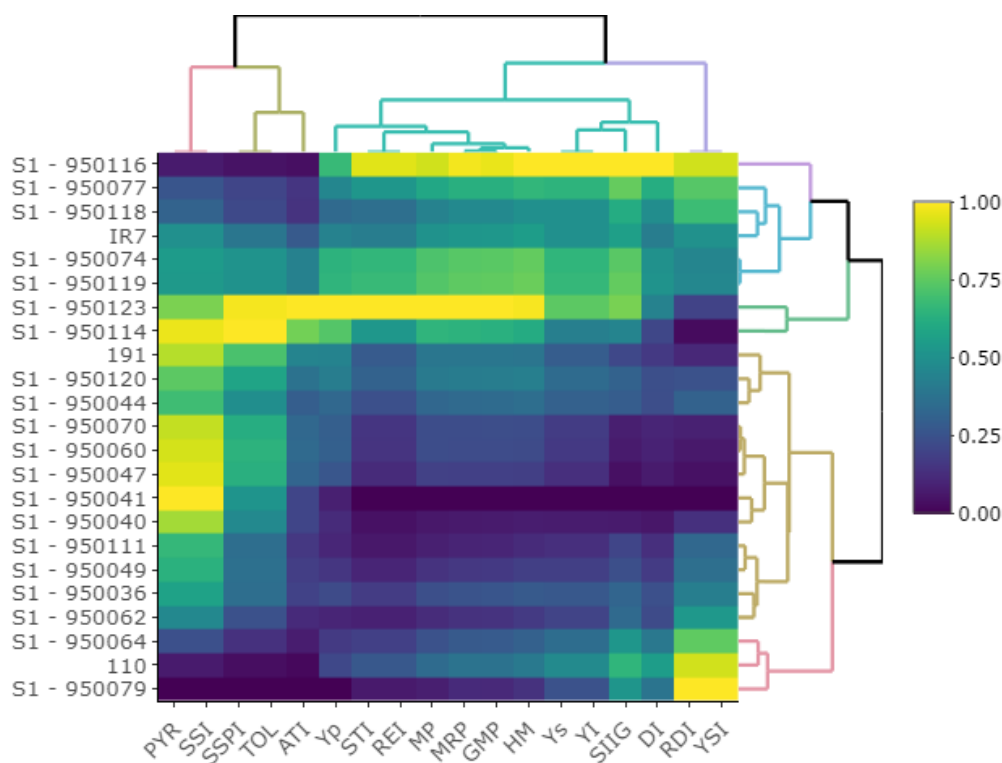
پایین و از نظر شاخص‌های حساسیت مقادیر متوسطی را داشتند. با توجه به اینکه این لاین‌ها با شاهد حساس در یک گروه طبقه‌بندی شده‌اند، خود گواه بر حساسیت بالای این لاین‌ها در برابر تنش خشکی است. لاین‌های 950064 S1- و 950079 S1- و نیز لاین والدی ۱۱۰ گروه پنجم را تشکیل دادند. این گروه اگرچه از عملکرد قند پایینی در هر دو شرایط برخوردار بودند، اما با بروز تنش کمترین میزان کاهش عملکرد را تجربه کردند. با توجه به نتایج این گروه پیش‌بینی می‌شود که در ژنوتیپ‌های جای گرفته در این گروه، ژن‌های تحمل به تنش خشکی مفید و مؤثری وجود دارد که با عملکرد قند پایین همراه شده‌اند. اگر برنامه‌های به‌نژادی به‌گونه‌ای طراحی شود که ضمن حفظ این ژن‌ها، عملکرد قند افزایش یابد، می‌توان به هیبریدهای متحمل در برابر تنش خشکی مطلوبی دست یافت.

950119 و شاهد متحمل IR7 حضور یافتند. این گروه در هر دو شرایط و نیز از نظر شاخص‌های تحمل به تنش مقادیر به نسبت بالایی نشان دادند، لذا در برابر تنش خشکی متحمل بوده و می‌توانند عملکرد قند مطلوبی را در هیبریدهای حاصل از تلاقی آن‌ها به همراه داشته باشند. لاین‌های 950123 S1- و 950114 S1- گروه‌بندی شده در گروه سوم، لاین‌هایی هستند که در شرایط آبیاری نرمال عملکرد بالایی داشتند، اما با تغییر رژیم آبیاری و بروز تنش خشکی، کاهش عملکرد قند بالایی نشان دادند، بنابراین از نظر شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص درصد کاهش عملکرد قند مقادیر بسیار بالایی را داشتند. لاین‌های مذکور را می‌توان برای کشت در شرایط آبیاری معمول توصیه نمود. گروه چهارم شامل ۱۲ لاین گرده‌افشان و شاهد حساس به تنش ۱۹۱ بود که از نظر شاخص‌های تحمل مقادیر



شکل ۲- نتایج تجزیه همبستگی عملکرد قند در شرایط نرمال، عملکرد قند در شرایط تنش، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و شاخص SIIG در لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند (*، ** و ***: معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد)

Figure 2- Results of correlation analysis of sugar yield under normal conditions, sugar yield under stress conditions, stress tolerance and sustainability indices and SIIG index in sugar beet pollinator lines (*, ** and ***: significant at the probability level of 5, 1 and 0.1 percent)



شکل ۳- تجزیه خوشه‌ای عملکرد قند در شرایط نرمال، عملکرد قند در شرایط تنش، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و شاخص SIIG در لاین‌های گرده‌افشان چغندر قند

Figure 3- Clusters analysis of sugar yield under normal conditions, sugar yield under stress conditions, stress tolerance and sustainability indices and SIIG index in sugar beet pollinator lines

(SIIG) نزدیک به یک نیز به‌عنوان لاین‌های متحمل شناخته شدند. لاین‌های نام‌برده تحت هر دو شرایط نرمال و تنش از بالاترین پتانسیل عملکرد قند و نیز عملکرد نسبتاً یکسان برخوردار بودند که می‌تواند ناشی از حضور ژن‌های تحمل به خشکی در آن‌ها باشد 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.

نتیجه‌گیری کلی

شاخص‌های REI, DI, YI, STI, HM, GMP, MP و MRP بر اساس نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌های تحت مطالعه، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش لاین‌های با پتانسیل عملکرد قند بالا و متحمل در محیط تنش خشکی شناخته شدند. در میان ۲۰ لاین گرده‌افشان، طبق این شاخص‌ها لاین‌های S1- 950116 و S1- 950123 دارای بیش‌ترین تحمل در مقایسه با سایر لاین‌ها از نظر تنش خشکی بودند. هم-چنین لاین‌های مذکور با مقادیر شاخص گزینش ژنوتیپ ایده‌آل

References

- Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A. and Zali, H. 2021. Investigation of frost stress tolerance in some promising rapeseed genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2): 271-288.
- Amiri, R., Pezeshkpour, P. and Karami, I. 2021. Identification of lentil desirable genotypes using multivariate statistical methods and selection index of ideal genotype under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 13(39): 140-151. (In Persian).

- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.-c., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W.** 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9): 2026-2032.
- Anonymous.** 1999. Agribusiness Handbooks, Sugar Beets/ White Sugar, vol 4.
- Anonymous.** 2021. Climatic features of Karaj. Albourz Meteorological Administration, Albourz, Iran. (In Persian).
- 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).
- Bouslama, 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
- Cook, D. and Scott, R.** 1993. The sugar beet crop: science into practice. Champan and Hall Press, New York, USA.
- Diatta, A.A., Fike, J.H., Battaglia, M.L., Galbraith, J.M. and Baig, M.B.** 2020. Effects of biochar on soil fertility and crop productivity in arid regions: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(14): 1-17.
- 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. and Himmelbauer, H.** 2014. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*, 505(7484): 546-549.
- 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.
- Crops production and area harvested.** 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- 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.
- Gupta, A., Rico-Medina, A. and Caño-Delgado, A.I.** 2020. The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368(6488): 266-269.
- Hossain, A., Sears, R., Cox, T.S. and Paulsen, G.** 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30(3): 622-627.
- Hwang, C.L. and Yoon, K.** 1981. Multiple attributes decision making methods and applications. Springer, Berlin Heidelberg.
- Kunz, M., Martin, D. and Puke, H.** 2002. Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zuckerindustrie*, 127(1): 13-21.
- Lan, J.** 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7(1): 85-87.
- 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).

- Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J. and Romeiras, M.M. 2018. Genetic and genomic tools to assist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in Plant Science*, 9: 74-85.
- Mousavi, S., Yazdi Samadi, 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).
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. and Zali, H. 2018. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. *Journal of Crop Breeding*, 10(28): 1-12. (In Persian).
- O'Connell, E. 2017. Towards adaptation of water resource systems to climatic and socio-economic change. *Water Resources Management*, 31(10): 2965-2984.
- Okorie, V.O., Mphambukeli, T.N. and Amusan, S.O. 2019. Exploring the political economy of water and food security nexus in BRICS. *Africa Insight*, 48(4): 21-38.
- Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldán, A. and Azcón, R. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of Plant Physiology*, 174: 87-96.
- Ramzi, E., Asghari, A., Khomari, S. and Mohammaddouste Chamanabad, H. 2018. Investigation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* Desf) lines for tolerance to aluminum stress condition. *Journal of Crop Breeding*, 10(25): 63-72. (In Persian).
- 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.
- Reinfeld, E., Emmerich, G., Baumgarten, C., Winner and Beiss, U. 1974. Zur Voraussage des Melassezuckers aus Ruben analysen Zucker. The sugar beet crop. Chapman & Hall, World Crop Series, London, UK.
- Ribeiro, I.C., Pinheiro, C., Ribeiro, C.M., Veloso, M.M., Simoes-Costa, M.C., Evaristo, I., Paulo, O.S. and 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.
- 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.
- Sánchez-Blanco, M.J., Rodríguez, P., Olmos, E., Morales, M.A. and Torrecillas, A. 2004. Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, salt content, and leaf ultrastructure of Rock-Rose plants. *Journal of Environmental Quality*, 33(4): 1369-1375.
- 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 annuus* L.) genotypes for agro-morphological traits under normal and drought stress conditions. *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.

- Schneider, A., Johnson, B. and Henderson, T.** 1992. Rooting depth and water use of different sunflower phenotypes. Paper presented at the Proc. Int. Sunflower Conf., 13th. Pisa, Italy.
- 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.
- Singh, S.P., Terán, H. and Gutierrez, J.A.** 2001. Registration of SEA 5 and SEA 13 drought tolerant dry bean germplasm. *Crop Science*, 41(1): 276-276.
- Verma, A. and Deepti, S.** 2016. Abiotic stress and crop improvement: current scenario. *Adv Plants Agric Res*, 4(4): 345-346.
- Yaghutipoor, A., Farshadfar, E. and Saeedi, M.** 2017. Investigation of bread wheat genotypes for drought tolerance using suitable combination method. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(1): 247-256.
- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., Asgharii, A. and Hoseini, S.M.** 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. *Biological Forum-An International Journal*, 7(2): 425-436.

Drought impacts on the reaction of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) pollinator lines in terms of sugar

Dariush Taleghani^{1*}, Ali Saremirad¹

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

*Corresponding Author: d.taleghani@areeo.ac.ir

Received: 21 December 2021 Accepted: 7 February 2022 DOI: 10.22034/CSRAR.2022.321003.1173

Abstract

Introduction: Drought is one of the most significant abiotic stresses that reduce crop yield. The primary objective of breeding programs is to increase the yield of plants under drought stress, as these plants are vital to food security. This study was conducted to evaluate the drought tolerance of sugar beet pollinator lines and to identify drought tolerant lines.

Materials and Methods: 20 sugar beet lines were planted in two conditions of normal irrigation and drought stress in the randomized complete block design with three replications in the 2014 crop year in Motahhari Sugar Beet Research Station, Karaj, Alborz, Iran. These lines were produced by crossing a drought tolerant fodder beet (7221) with an O-type monogerm variety over the course of several years in order to produce a pollinator parent for the development of drought tolerant sugar beet hybrids. Sugar yield under normal conditions (Y_p) and drought stress (Y_s) were estimated. On the basis of these two yields, tolerance and sustainability indices were subsequently calculated.

Results and Discussion: Results revealed that the effects of environment, genotype, and their interaction were statistically significant. The MP, GMP, STI, HM, YI, REI, and MRP indices of lines S1- 9501116 and S1- 950123, the DI index of line S1- 9501116, the ATI index of line S1- 950123, and the RDI, TOL, SSI, and SSPI line indices S1- 950079 were introduced as drought tolerant lines. Among the lines introduced by the aforementioned indices, the SIIG index designated line S1- 950116 as the most tolerant pollinator line due to its short distance from the ideal line (0.56), its greatest distance from the non-ideal line (1.12), and the highest value of SIIG (0.66). After the mentioned line, the lines S1- 950123, S1- 950077, and S1- 950119 followed with SIIG values of 0.57, 0.56, and 0.56, respectively. Cluster analysis showed, 20 pollinator lines and three controls were categorized into five main groups, while sugar yield under normal conditions, sugar yield under drought stress conditions, and 16 estimated indices were categorized into four main groups. The S1-950116 line was placed in the first group alone due to its superior sugar yield under both normal irrigation and drought stress conditions, as well as its superior MP, GMP, STI, HM, YI, DI, REI, and MRP indices. So, this pollinator line can be used to produce drought-tolerant hybrids for cultivation in various regions where water scarcity stress is a possibility. In the second group, S1-950077, S1-950118, S1-950074 and S1-950119 pollinator lines and IR7 tolerant control were present. This group exhibited relatively high values in both conditions and stress tolerance indices, indicating that they are drought-tolerant and capable of producing hybrids with a high sugar yield.

Conclusion: MP, GMP, HM, STI, YI, DI, REI and MRP indices were found to be the most suitable indices for selecting lines with high sugar yield potential and tolerance to drought stress environment based on the results of correlation analysis of the studied indices. Among 20 pollinator lines, according to these indices, lines S1-9501116 and S1-950123 had the highest tolerance compared to other lines in terms of drought stress. Additionally, the aforementioned lines with SIIG values close to one were identified as tolerant lines. Under both normal and stress conditions, the aforementioned lines had the highest sugar production potential and yield, which may be due to the transfer of drought tolerance genes from their tolerant maternal parent; consequently, these lines can be suggested as the parent for the production of drought-tolerant hybrids.

Keywords: Abiotic tolerance index, Drought stress, Ideal genotype, White sugar yield