



ارزیابی تحمل به خشکی در هیبریدهای تست کراس چغندر قند تحت شرایط تنش کم آبیاری

حسن حمیدی^۱، سیده ساناز رمضانپور^{۲*}، مسعود احمدی^۳، حسن سلطانلو^۲

۱. دانش آموخته‌ی دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

۲. دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

۳. دانشیار بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۱۷

چکیده

این آزمایش به منظور ارزیابی تحمل به خشکی هیبریدهای تست کراس چغندر قند (۵۷ هیبرید) به همراه هفت شاهد (ارقام IR7، ماندارین، جلگه، پایا، فتورا، (7112*SB36)*SC و جمعیت اصلاحی اولیه) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح لاتیس نامتعادل (۸×۸) با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ انجام شد. آبیاری‌ها تا مرحله تنک و وجین (استقرار بوته‌ها) به طور معمول انجام شد. آبیاری‌های بعدی در شرایط بدون تنش پس از ۹۰ میلی‌متر و در شرایط تنش کم آبیاری پس از ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد شکر، میزان سدیم، میزان پتاسیم، میزان نیتروژن مضره، ضریب قلیائیت، درصد قند ملاس، شکر قابل استحصال، عملکرد شکر سفید و ضریب استحصال شکر بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که از نظر کلیه صفات بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی و رژیم‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. بیشترین عملکرد شکر سفید در شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری به ترتیب در هیبرید (7112*SB36)*S1-73 به میزان ۱۳/۳۴ تن در هکتار و رقم شاهد ماندارین به میزان ۹/۳۷ تن در هکتار، مشاهده گردید. تجزیه همبستگی بیانگر رابطه مثبت و معنی‌دار بین عملکرد شکر سفید با عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد شکر، شکر قابل استحصال و ضریب استحصال شکر و همچنین همبستگی منفی و معنی‌دار با میزان سدیم، پتاسیم، ضریب قلیائیت و درصد قند ملاس تحت هر دو شرایط بود. بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات عملکرد شکر، ضریب استحصال شکر، عملکرد ریشه و درصد قند بیش از ۹۹ درصد تغییرات عملکرد شکر سفید را در هر دو شرایط (بدون تنش و تنش کم آبیاری) توجیه کردند. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش عملکرد ریشه (۱/۱۷) و در شرایط تنش نیز عملکرد شکر (۰/۸۹) بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد شکر سفید داشته‌اند. در نهایت، در بین هیبریدهای مورد مطالعه، هیبریدهای (7112*SB36)*S1-73، (7112*SB36)*S1-66 و (7112*SB36)*S1-72 که هم از لحاظ شاخص تحمل به تنش (STI) و هم از لحاظ صفات عملکردی در شرایط تنش برتر بودند به عنوان متحمل‌ترین هیبریدها به تنش خشکی معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص تحمل به تنش، عملکرد شکر سفید، هیبرید.

مقدمه

تا سال ۲۰۵۰ عملکرد محصولات کشاورزی را در ۵۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان با خطر جدی مواجه سازد که این امر موجب کاهش چشمگیر تولید محصولات غذایی خواهد شد (Ahmad et al., 2014).

گیاهان در مراحل مختلف رشد و نمو خود با تنش‌های زیستی و غیر زیستی مواجه می‌شوند. در این بین تنش خشکی مهم‌ترین عامل غیر زیستی است که با گرم شدن کره زمین و بیشتر شدن احتمال رخداد خشک‌سالی، پیش‌بینی می‌شود

همدان نشان دادند که قطع آبیاری در اواخر دوره رشد چغندر قند، باعث کاهش خصوصیات کیفی شامل عیار قند، عیار قند خالص و راندمان استحصال می‌شود. علاوه بر این تنش رطوبتی در اواخر دوره رشد چغندر قند باعث افزایش ناخالص‌های ریشه چغندر قند از جمله پتاسیم و سدیم شده و در نتیجه راندمان استحصال قند ریشه را به طور معنی‌داری کاهش و درصد قند ملاس را افزایش می‌دهد.

غفاری و همکاران (Ghafari et al., 2016) ۲۳ هیبرید جدید منوژرم چغندر قند را از نظر تحمل به خشکی مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها هفت هیبرید را که از لحاظ شاخص STI و هم از لحاظ صفات عملکردی در شرایط تنش (۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) برتر بودند، به عنوان متحمل‌ترین هیبریدها به تنش خشکی معرفی کردند.

صادق زاده حمایتی و فصاحت (Sadeghzadeh Hemayati and Fasahat, 2016) با ارزیابی تحمل به خشکی ۳۶ ژنوتیپ چغندر قند در کرج گزارش کردند که تحت تنش خشکی (۲۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، میانگین عملکرد ریشه، شکر خام و شکر سفید به ترتیب معادل ۵۹، ۷۲ و ۷۶ درصد کاهش یافت.

عبداللهیان نوقابی و همکاران (Abdollahian Noghabi et al., 2011) با ارزیابی تنوع ژنتیکی چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی شدید پس از استقرار بوته در کرج نشان دادند که بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، درصد قند و نیتروژن مضره تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. تجزیه رگرسیون خطی گام‌به‌گام نشان داد که چهار صفت عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد شکر و شکر قابل استحصال به طور معنی‌داری تغییرات عملکرد شکر سفید را توجیه می‌کند.

هدف از این پژوهش ارزیابی هیبریدهای تست کراس چغندر قند تحت شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری در شرایط آب و هوایی استان خراسان رضوی به منظور گزینش هیبریدهای امیدبخش و متحمل به خشکی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق (مشهد) طی دو آزمایش جداگانه در قالب طرح لاتیس نامتعادل (۸×۸) در چهار تکرار با استفاده از ۶۴ ژنوتیپ چغندر قند شامل ۵۷ هیبرید تست کراس چغندر قند

کم آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است. کم آبیاری اگرچه موجب کاهش عملکرد می‌گردد، اما بایستی در نظر داشت که کاهش عملکرد بستگی به زمان اعمال تنش کم آبیاری دارد. کم آبیاری ممکن است علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، باعث کاهش بیماری‌ها و آفات، به حداقل رساندن آبیاری کودها از منطقه ریشه و بهبود تهویه خاک گردد. گیاهان زراعی مختلف ممکن است عکس‌العمل‌های متفاوتی در مقابل کم آبیاری و در نتیجه تنش کم آبی از خود نشان دهند (Kheirabi, 1995).

گیاه چغندر قند معمولاً نسبت به تنش‌های رطوبتی در اوایل دوره رشد حساس است و اگر تنش رطوبتی در مراحل بعدی رشد حادث شود قادر است آن را تا حدی تحمل نماید، اگرچه این تنش‌ها نیز خسارت زیادی به محصول وارد می‌کنند (Hekamat Shoar, 1992). به طور کلی میزان حساسیت گیاه بستگی به گونه، رقم، روش و مدیریت آبیاری و مرحله‌ای از رشد گیاه که کم آبیاری اعمال می‌گردد، بستگی دارد (Kirda, 2002).

انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا می‌گردد (Gavuzzi et al., 1997). عروج نیا و همکاران (Oroojnia et al., 2012) در آزمایشی روی ۱۵ ژنوتیپ هاف‌سیب (خانواده نیمه خواهری) پلی‌ژرم دیپلوئید چغندر قند تحت شرایط بدون تنش (۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش خشکی (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A)، اختلاف معنی‌داری را بین سطوح مختلف آبیاری و ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از نظر صفات کمی و کیفی گزارش کردند. فروزش و همکاران (Feroozesh et al., 2012) در تحقیقی روی ۱۴ ژنوتیپ چغندر قند تحت شرایط تنش خشکی (۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و بدون تنش (۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) اظهار داشتند که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید تفاوت معنی‌داری ندارند اما از نظر صفت محتوای شکر سفید تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد. میرزایی و رضوانی (Mirzaee and Rezvani, 2007) با بررسی اثرات تنش خشکی (قطع یک تا چهار بار آبیاری) در مراحل مختلف رشد رویشی چغندر قند (مراحل رشد برگ، رشد ریشه و ذخیره‌سازی قند در ریشه) و استفاده بهینه از مصرف آب در

به منظور تعیین میزان تحمل ژنوتیپ‌های چغندر قند به تنش خشکی، تعداد ۶۴ ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش (۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و تنش کم آبیاری (۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) مورد ارزیابی قرار گرفتند (Ghafari et al., 2016). در مرحله ۶-۴ برگی به منظور ایجاد تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار، گیاهچه‌های سبز شده تنک شدند. تا مرحله تنک و وجین (استقرار بوته‌ها) آبیاری به طور معمول و به صورت نشتی انجام شد. با توجه به شرایط آب و هوایی مشهد و بافت خاک مزرعه، در شرایط بدون تنش هر ۹ روز یکبار و در شرایط تنش کم آبیاری هر ۱۸ روز یکبار آبیاری انجام شد. بر این اساس تعداد دفعات آبیاری در شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری به ترتیب ۱۴ و ۸ نوبت بود. مجموع میزان آب مصرفی در تیمار بدون تنش ۱۳۱۰۰ مترمکعب و در تیمار تنش کم آبیاری برابر ۸۳۰۰ مترمکعب در هکتار برآورد گردید. کوددهی (بر اساس آزمون خاک)، کنترل شیمیایی آفات و بیماری‌های (بر اساس بازدیدهای منظم) و وجین دستی علف‌های هرز به گونه‌ای انجام شد تا مزرعه عاری از هرگونه تنش کمبود عناصر غذایی و خسارت عوامل زنده محیطی باشد.

به همراه هفت شاهد (ارقام IR7، ماندارین، جلگه، پایا، فتورا، SC (7112*SB36) و جمعیت اصلاحی اولیه) انجام شد. در این تحقیق، ارقام شاهد IR7، ماندارین، پایا و فتورا به عنوان ارقام متحمل به خشکی و رقم جلگه به عنوان رقم حساس به خشکی مورد استفاده قرار گرفت. نام و کد ژنوتیپ‌های چغندر قند مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که هیبریدهای تست کراس مورد مطالعه از تلاقی SC (7112*SB36) به عنوان والد مادری مشترک با لاین-های مختلف به دست آمده‌اند که این لاین‌ها از یک توده مقاوم به خشکی (BP-Mashhad) و به صورت فامیل‌های فول سیب (S₁) تهیه شده بودند (Ahmadi et al., 2011).

ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق در شهر مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۹۹۹ متر واقع شده است. میانگین درازمدت دمای روزانه ۱۴/۱، میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۷/۱ و ۲۱/۱ درجه سانتی‌گراد با میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر در سال است. میزان بارندگی ماهانه در طول دوره رشد در جدول ۲ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. اسامی و کد ژنوتیپ‌های چغندر قند مورد مطالعه

Table 1. Names and code of studied sugar beet genotypes

کد ژنوتیپ Genotype code.	نام ژنوتیپ Genotype Name	کد ژنوتیپ Genotype code.	نام ژنوتیپ Genotype Name	کد ژنوتیپ Genotype code.	نام ژنوتیپ Genotype Name
1	(7112*SB36)*S1-28	23	(7112*SB36)*S1-31	45	(7112*SB36)*S1-63
2	(7112*SB36)*S1-55	24	(7112*SB36)*S1-2	46	(7112*SB36)*S1-90
3	(7112*SB36)*S1-49	25	(7112*SB36)*S1-5	47	(7112*SB36)*S1-84
4	(7112*SB36)*S1-12	26	(7112*SB36)*S1-6	48	(7112*SB36)*S1-61
5	(7112*SB36)*S1-48	27	(7112*SB36)*S1-94	49	(7112*SB36)*S1-15
6	(7112*SB36)*S1-45	28	(7112*SB36)*S1-93	50	(7112*SB36)*S1-4
7	(7112*SB36)*S1-44	29	(7112*SB36)*S1-56	51	(7112*SB36)*S1-73
8	(7112*SB36)*S1-39	30	(7112*SB36)*S1-8	52	(7112*SB36)*S1-16
9	(7112*SB36)*S1-21	31	(7112*SB36)*S1-22	53	(7112*SB36)*S1-71
10	(7112*SB36)*S1-42	32	(7112*SB36)*S1-7	54	(7112*SB36)*S1-70
11	(7112*SB36)*S1-77	33	(7112*SB36)*S1-89	55	(7112*SB36)*S1-3
12	(7112*SB36)*S1-86	34	(7112*SB36)*S1-19	56	(7112*SB36)*S1-72
13	(7112*SB36)*S1-40	35	(7112*SB36)*S1-37	57	(7112*SB36)*S1-88
14	(7112*SB36)*S1-38	36	(7112*SB36)*S1-32	58	SC (7112*SB36)
15	(7112*SB36)*S1-18	37	(7112*SB36)*S1-54	59	Paya
16	(7112*SB36)*S1-20	38	(7112*SB36)*S1-53	60	IR7
17	(7112*SB36)*S1-26	39	(7112*SB36)*S1-92	61	Mandarin
18	(7112*SB36)*S1-36	40	(7112*SB36)*S1-66	62	جمعیت اصلاحی اولیه Parental population
19	(7112*SB36)*S1-46	41	(7112*SB36)*S1-10	63	Fotora
20	(7112*SB36)*S1-69	42	(7112*SB36)*S1-76	64	Jolgeh
21	(7112*SB36)*S1-57	43	(7112*SB36)*S1-100		
22	(7112*SB36)*S1-17	44	(7112*SB36)*S1-13		

جدول ۲. مقدار بارندگی ماهانه در طول دوره رشد چغندر قند (بر حسب میلی‌متر) در سال ۱۳۹۵

فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور August	مهر September	آبان October
94.6	41.3	6.6	0	0	0	0	2

جدول ۳. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق - مشهد در سال ۱۳۹۵

Table 3. Physical and chemical properties of the experimental farm soil at the Agricultural and Natural Resources Research Station of Toroq-Mashhad in 2016

عمق خاک Soil depth	بافت خاک Soil texture	درصد اشباع Saturation percentage	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	نیترژن کل pH N.tot (%)	پتاسیم	فسفر	کربن آلی OC (%)	
					قابل جذب K.ava (mg/kg)	قابل جذب P.ava (mg/kg)		
0-30	Silty Loam	32.8	1.7	7.9	0.05	210	11.6	0.4
30-60	Loam	33.6	2.1	8	0.06	195	8.3	0.3

با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد شکر سفید و توجیه بهتر روابط تعیین شد. سپس برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد شکر سفید، تجزیه علیت انجام گردید. برای بررسی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های چغندر قند، شاخص‌های متفاوتی پیشنهاد شده است اما اکثر محققین اظهار داشته‌اند که شاخص تحمل به تنش (STI) به علت همبستگی معنی‌دار و مثبت با عملکرد شکر سفید در شرایط مطلوب و تنش خشکی و همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار با شاخص میانگین حساسی عملکرد (MP) نسبت به شاخص‌های دیگر پیشنهاد مناسب‌تری است (Sadeghian et al., 2000; Parvizi, 1997). به منظور برآورد شاخص تحمل تنش (STI) از عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (WSY_n) و عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کم‌آبایی (WSY_s) و با استفاده از فرمول ۷ استفاده گردید (Fernandez, 1992):

$$STI = (WSY_n \times WSY_s) / (\overline{WSY_n})^2 \quad [7]$$

در فرمول ذکر شده، $\overline{WSY_n}$ میانگین عملکرد شکر سفید کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش است.

تجزیه واریانس برای تمامی صفات به صورت طرح لاتیس انجام شد. به دلیل آنکه کارایی نسبی طرح لاتیس نسبت به طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای تمامی صفات نسبتاً برابر و در ضمن نیازی به تصحیح اثر تیمارها برای اثر بلوک‌های

عملیات برداشت با استفاده از دستگاه چغندرکن پشت تراکتوری انجام شد. خطوط حاشیه‌ی آزمایش و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف گردید. ریشه‌های چغندر قند پس از سرزنی و شست‌وشو توزین گردید و میزان عملکرد نهایی ریشه (بر اساس وزن تر) بر حسب تن در هکتار محاسبه شد. سپس با دستگاه اتوماتیک ونما (VENEMA) خمیر ریشه تهیه و صفات کیفی اندازه‌گیری شد. صفاتی از قبیل درصد قند یا عیار قند (SC) به روش پلاریمتری، مقدار پتاسیم (K) و سدیم (Na) به روش فلیم فتومتری و مقدار نیترژن مضره (a-N) به روش عدد آبی و بر حسب میلی‌اکی-والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه چغندر قند اندازه‌گیری شد. همچنین صفاتی از قبیل ضریب قلیائیت (Alc)، عملکرد شکر (SY)، قند ملاس (MS)، شکر قابل استحصال (WSC)، عملکرد شکر سفید (WSY) و ضریب استحصال شکر (ECS) نیز از طریق روابط زیر محاسبه گردید (Abdollahian, 2005; Noghahi et al., 2005):

$$Alc = (K + Na) \div (a - N) \quad [1]$$

$$SY = RY \times SC \quad [2]$$

$$MS = 0.343(K + Na) + 0.094(a - N) - 0.31 \quad [3]$$

$$WSC = SC - (MS + 0.6) \quad [4]$$

$$WSY = WSC \times RY \quad [5]$$

$$ECS = (WSC \div SC) \times 100 \quad [6]$$

جدول ۴ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مختلف (شرایط آبیاری) و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). به علت وجود اثرات متقابل معنی‌دار ژنوتیپ × محیط، اصلاح گیاهان زراعی برای سازگاری به دامنه وسیعی از شرایط آب و هوایی، اگرچه غیرممکن نیست، اما بسیار دشوار است. در برنامه‌های به‌نژادی به‌طور معمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (Yan and Kang, 2002). در این تحقیق از نظر کلیه صفات مورد بررسی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تنوع ژنتیکی کافی وجود داشت، لذا با توجه به تنوع موجود می‌توان به ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا دسترسی

ناقص نبود، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در قالب طرح بلو-ک‌های کامل تصادفی برای تمامی صفات و با استفاده از داده‌های اصلی انجام شد. لازم به ذکر است که تجزیه واریانس مرکب آزمایش‌های مورد مطالعه در دو محیط (عدم تنش و تنش کم آبیاری) پس از اطمینان از آزمون متجانس بودن واریانس خطاهای آزمایشی در محیط‌های مورد مطالعه از طریق آزمون بارتلت انجام شد. تجزیه واریانس، مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج و یک درصد، برآورد همبستگی‌ها و همچنین تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد. تجزیه علیت نیز با استفاده از نرم‌افزار Amos v19 انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های چغندر قند در شرایط تنش کم آبیاری، بدون تنش و مرکب در

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند در شرایط تنش کم آبیاری، بدون تنش و مرکب

Table 4. Results of analysis of variance (mean squares) for yield and yield components of different sugar beet genotypes under water deficit stress, normal and combined conditions

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد		عملکرد شکر Sugar yield	سدیم Na	پتاسیم K	
			ریشه Root yield	درصد قند Sugar content (%)				
مرکب Combined	Location (L)	محیط	1	45353.0 **	353.56 **	1111.4 **	85.764 **	27.574 **
	Replication (Location)	تکرار (محیط)	6	29.495	15.212	7.668	0.385	1.089
	Genotype (G)	ژنوتیپ	63	209.634 **	4.030 **	10.694 **	0.946 **	1.003 **
	L × G	ژنوتیپ × محیط	63	66.671 **	1.31 **	2.755 **	0.510 **	0.254 **
	Error	اشتباه آزمایشی	378	18.411	0.424	0.785	0.119	0.159
	CV (%)	ضریب تغییرات (%)		9.78	3.33	10.38	17.63	8.09
	بدون تنش Non-stress	Replication	تکرار	3	15.291 ns	30.256 ns	13.187 **	0.692 *
Genotype		ژنوتیپ	63	154.920 **	1.811 **	6.631 **	0.271 **	0.518 **
Error		اشتباه آزمایشی	189	21.688	0.580	0.861	0.175	0.239
CV (%)		ضریب تغییرات (%)		8.74	4.06	9.27	27.05	10.39
Efficiency		کارایی طرح لاتیس به بلوک		97.11	100.52	95.55	100.39	96.26
تنش کم آبیاری Water deficit stress	Replication	تکرار	3	43.099 ns	0.169 ns	2.149 *	0.078 ns	0.088 ns
	Genotype	ژنوتیپ	63	121.385 **	3.351 **	6.818 **	1.186 **	0.793 **
	Error	اشتباه آزمایشی	189	15.134	0.269	0.707	0.062	0.080
	CV (%)	ضریب تغییرات (%)		11.29	2.54	11.91	10.60	5.46
	Efficiency	کارایی طرح لاتیس به بلوک		96.95	96.85	95.15	94.42	102.26

Table 4. Continued

		جدول ۴. ادامه							
S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	نیترژن	ضریب	درصد قند	شکر قابل	عملکرد	ضریب استحصال	
			مضره N	قلیائیت Alkalinity	ملاس Molasses sugar (%)	استحصال White sugar content	شکر سفید White sugar yield	شکر Extraction coefficient of sugar	
مرکب Combined	Location (L)	محیط	1	37.579**	78.759**	30.850**	421.13**	1898.5**	1734.605**
	Replication (Location)	تکرار (محیط)	6	29.495	0.060	0.194	0.473	6.661	3.932
	Genotype (G)	ژنوتیپ	63	0.356**	3.640**	0.413**	6.247**	8.942**	22.634**
	L × G	ژنوتیپ × محیط	63	0.239**	1.178**	0.149**	1.711**	2.087**	8.452**
	Error	اشتباه آزمایشی	378	0.020	0.318	0.104	0.291	0.565	0.560
	CV (%)	ضریب تغییرات (%)		20.44	11.18	14.72	3.31	10.36	0.88
	Replication	تکرار	3	0.083 ^{ns}	0.148 ^{ns}	0.769**	13.195**	0.069 ^{ns}	8.352**
بدون تنش Non-stress	Genotype	ژنوتیپ	63	0.114 ^{ns}	2.487**	0.161**	2.697**	125.209**	7.453**
	Error	اشتباه آزمایشی	189	0.097	0.541	0.095	0.503	0.923	0.946
	CV (%)	ضریب تغییرات (%)		25.76	13.50	15.86	4.12	2.10	1.12
	Efficiency	کارایی طرح لاتیس به بلوک		95.74	97.13	93.11	102.25	99.84	100.04
	Replication	تکرار	3	0.038 ^{ns}	0.239 ^{ns}	0.176 ^{ns}	0.128 ^{ns}	1.357*	0.413 ^{ns}
کم آبیاری Water deficit stress	Genotype	ژنوتیپ	63	0.481**	2.332**	0.401**	5.262**	4.853**	23.633**
	Error	اشتباه آزمایشی	189	0.086	0.097	0.113	0.080	0.382	0.175
	CV (%)	ضریب تغییرات (%)		16.75	6.69	13.78	1.83	11.59	0.50
	Efficiency	کارایی طرح لاتیس به بلوک		101.32	103.06	98.38	101.79	94.86	93.58

ns, * and **: None significant and significant at 5 and 1%, Respectively. * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

کم‌آبیاری معادل ۱۱/۵۵ تن در هکتار در رقم شاهد ماندارین بود. هیبرید S1-56*(7112*SB36) و رقم شاهد جلگه دارای بیشترین میزان سدیم به ترتیب در شرایط بدون تنش (۲/۴۵ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم) و تنش کم‌آبیاری (۳/۶۹ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم) بودند. بالاترین مقادیر پتاسیم در هیبرید S1-69*(7112*SB36) در شرایط بدون تنش (۵/۸۰ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم) و تنش کم‌آبیاری (۶/۲۲ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم) مشاهده شد. در هیبرید S1-16*(7112*SB36) بالاترین مقادیر سدیم در شرایط بدون تنش به میزان ۱/۶۰ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم مشاهده شد در حالی که هیبرید S1-86*(7112*SB36) دارای بیشترین میزان سدیم (۲/۷۰ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم) در شرایط تنش کم‌آبیاری بود. در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبیاری، بیشترین ضریب قلیائیت در رقم شاهد جلگه

پیدا کرد. وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های چغندرقد تحت شرایط تنش خشکی از سوی سایر محققین نیز گزارش شده است (Hamidi et al., 2018; Abdollahian, 2018; Noghbi et al., 2011; Rajabi et al., 2013). مقایسه ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد ریشه نشان داد که هیبرید S1-73*(7112*SB36) با عملکرد ریشه ۷۲/۰۷ تن در هکتار در شرایط بدون تنش و رقم شاهد ماندارین با عملکرد ریشه ۵۰/۳۳ تن در هکتار در شرایط تنش کم‌آبیاری دارای بیشترین مقادیر بودند. بیشترین درصد قند در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبیاری نیز در رقم شاهد ماندارین به ترتیب به میزان ۲۰/۹۸ و ۲۲/۹۸ درصد وجود داشت. بیشترین میزان عملکرد شکر در شرایط بدون تنش معادل ۱۴/۲۰ تن در هکتار در هیبرید S1-73*(7112*SB36) بود در صورتی که بیشترین میزان عملکرد شکر در شرایط تنش

راندمان استحصال قند ریشه را به طور معنی داری کاهش و درصد قند ملاس را افزایش می دهد. نتایج تحقیقات فتوحی و همکاران (Fotouhi et al., 2008) و اوراضی زاده و همکاران (Orazizadeh et al., 2016) نیز نشان دهنده کاهش عملکرد ریشه و عملکرد شکر چغندر قند در اثر تنش کم آبیاری است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اعمال تنش کم آبیاری منجر به افزایش درصد قند گردید. افزایش درصد قند بر اثر اعمال تنش کم آبیاری در تحقیقات نورجو و همکاران (Nourjoo and Baghaee Kia, 2004)، فتوحی و همکاران (Fotouhi et al., 2008) و کوچکی و سلطانی (Koocheki and Soltani, 1996) گزارش شده است. درصد قند یکی از مهم ترین شاخص های کیفی در کشت چغندر قند است. درصد قند تحت تأثیر نوع ژنوتیپ و محیط آن می تواند مقادیر متفاوتی را داشته باشد (Khajehpur, 1998). با توجه به اینکه عملکرد قند تحت تأثیر دو صفت عملکرد ریشه و درصد قند است و افزایش هر یک از این صفات منجر به افزایش عملکرد قند خواهد شد، لذا تحقیقات نشان داده است که عملکرد ریشه بیشتر از درصد قند در تغییرات عملکرد قند نقش دارد (Orazizadeh et al., 2016). ذخیره قند و رشد ریشه به طور متناوب در طول دوره رشد صورت می گیرد. هر چند که اعمال تنش خشکی در برخی از موارد سبب افزایش درصد قند شده است ولی این قضیه کاملاً مرتبط با نوع ژنوتیپ، زمان تنش و اثرات متقابل آن است. در طول فصل رشد اگر رطوبت به اندازه کافی در دسترس گیاه نباشد، عملکرد محدود شده و نیتروژن مضره در ریشه افزایش می یابد (Koocheki et al., 2003). افزایش در مقادیر ساکارز و هگزوز به نظر می رسد به خاطر افزایش هیدرولیز نشاسته و سنتز ساکارز باشد. تجمع ساکارز و هگزوز به منظور ایفای نقش اسمزی در این گونه ها انجام می شود (Westage and Boyer, 1985).

میانگین عملکرد شکر سفید در شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری و همچنین مقدار عددی شاخص STI به عنوان شاخص تحمل به خشکی برای صفت مهم محصولی عملکرد شکر سفید برای ۵۷ هیبرید تست کراس و ارقام شاهد در جدول ۶ نشان داده شده است. هیبرید $(7112 * SB36)$ و $S1-73$ و رقم شاهد ماندارین دارای بیشترین میزان عملکرد شکر سفید به ترتیب در شرایط نرمال (۱۳/۳۴ تن در هکتار) و تنش کم آبیاری (۹/۳۷ تن در هکتار) بودند. به طوری که مشاهده می شود در بین کلیه ژنوتیپ های مورد مطالعه، رقم

به ترتیب به میزان ۸/۰۵ و ۷/۷۱ وجود داشت. بیشترین قند ملاس در شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری در هیبرید $(7112 * SB36) * S1-56$ و هیبرید $(7112 * SB36) * S1-69$ به ترتیب به میزان ۲/۶۱ و ۳/۱۶ درصد وجود داشت. از لحاظ شکر قابل استحصال، رقم شاهد ماندارین به ترتیب در شرایط بدون تنش (۱۹/۸۹ درصد) و تنش کم آبیاری (۱۸/۶۳ درصد) دارای بیشترین مقدار بود. رقم شاهد ماندارین در شرایط بدون تنش (۹۰/۴۲ درصد) و تنش کم آبیاری (۸۸/۷۶ درصد) دارای بیشترین میزان ضریب استحصال شکر بود (جدول ۵).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین ژنوتیپ ها (جدول ۵) نشان داد که در شرایط تنش کم آبیاری نسبت به شرایط بدون تنش برخی از صفات نظیر عملکرد ریشه، عملکرد شکر، ضریب قلیائیت، شکر قابل استحصال، عملکرد شکر سفید و ضریب استحصال شکر به ترتیب به میزان ۳۵/۱۴، ۲۹/۱۹، ۱۴/۵۷، ۱۰/۴۱، ۴۱/۷۰ و ۴/۱۸ درصد کاهش یافتند. در حالی که صفاتی از قبیل درصد قند، میزان سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره و قند ملاس در شرایط تنش کم آبیاری نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب معادل ۸/۹۵، ۵۲/۳۳، ۹/۸۲، ۴۴/۳۵ و ۲۴/۹۷ درصد افزایش یافتند.

به طور کلی نتایج نشان داد که هیچ کدام از هیبریدهای مورد مطالعه از نظر صفات عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد شکر، شکر قابل استحصال و ضریب استحصال شکر نسبت به رقم شاهد ماندارین در شرایط تنش کم آبیاری برتری نشان ندادند. در حالی که در بین هیبریدهای مورد مطالعه، هیبرید $S1-73 * (7112 * SB36)$ در هر دو شرایط آبیاری از نظر اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به سایر هیبریدها برتری نشان داد و به عبارتی دارای تحمل به خشکی بالاتری بود. لازم به ذکر است که هیبریدهای $S1-66 * (7112 * SB36)$ و $S1-72 * (7112 * SB36)$ نیز از نظر صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر در شرایط تنش و بدون تنش دارای مقادیر بیشتر از میانگین کل ژنوتیپ ها بوده و به عبارتی تحمل به خشکی بالایی نشان دادند (جدول ۵).

میرزایی و رضوانی (Mirzaee and Rezvani, 2007) نیز گزارش کردند که قطع آبیاری در اواخر دوره رشد چغندر قند، باعث کاهش خصوصیات کیفی شامل عیار قند، عیار قند خالص و راندمان استحصال می شود. علاوه بر این تنش رطوبتی در اواخر دوره رشد چغندر قند باعث افزایش ناخالصی های ریشه چغندر قند از جمله پتاسیم و سدیم شده و در نتیجه

در برنامه‌های اصلاح نباتات، انتخاب بر اساس تعداد زیادی صفت زراعی صورت می‌گیرد که ممکن است بین آن‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشته باشد. لذا روش-های تجزیه و تحلیل که بدون از بین بردن مقدار زیادی از اطلاعات مفید، تعداد صفات مؤثر بر عملکرد را کاهش دهد، برای پژوهشگر باارزش هستند. در این خصوص استفاده از همبستگی بین صفات متداول است (Farshadfar, 2000). عروج نیا و همکاران (Oroojnia et al., 2012) با بررسی اثر تنش خشکی بر روی ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند نشان دادند که عملکرد شکر سفید همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفاتی از قبیل درصد قند، درصد شکر سفید و ضریب استحصال شکر داشت در حالی که بین عملکرد شکر سفید و میزان سدیم همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد. عبداللهیان نوقایی و همکاران (AbdollahianNoghabi et al., 2011) بین صفت عملکرد شکر سفید و صفات عملکرد ریشه و عملکرد شکر همبستگی مثبت و معنی‌داری گزارش نمودند. در تحقیقی مشابه رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2013) در بررسی روابط بین صفات در لاین‌های چغندر قند بین عملکرد ریشه با صفت عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات میزان ازت مضره و پتاسیم ریشه همبستگی منفی و معنی‌داری گزارش نمودند. ایشان همچنین بین صفات عملکرد شکر سفید با درصد استحصال همبستگی مثبت و با صفات میزان ازت مضره و پتاسیم و قند ملاس همبستگی منفی و معنی‌دار گزارش نمودند.

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد شکر سفید به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در شرایط بدون تنش در جدول ۸ نشان داده شده است. بر اساس آن، صفات عملکرد شکر، ضریب استحصال شکر، درصد قند ملاس، عملکرد ریشه و درصد قند وارد مدل شده‌اند و در مدل باقی‌مانده و تغییرات عملکرد شکر سفید را تعیین نمودند و به عبارتی بهبود این صفات اثرات مثبتی بر عملکرد شکر سفید دارد. همچنین با توجه به جدول ۸ می‌توان وجود یک رابطه قوی بین عملکرد شکر سفید با صفات مزبور را مشاهده نمود که با همبستگی بالای میان آن‌ها و عملکرد شکر سفید نسبت دارد.

شاهد ماندارین در شرایط تنش در رتبه اول و در شرایط بدون تنش در جایگاه دوم قرار گرفت و دارای بالاترین مقدار STI (۱/۳۶) بود و به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. لازم به ذکر است که در بین هیبریدهای تست کراس مورد مطالعه، هیبرید تست کراس S1-73*(SB36*7112) دارای بالاترین میزان شاخص STI (۰/۹۵) بود و به عبارتی به‌عنوان هیبرید تست کراس متحمل به خشکی شناسایی شد. پس از هیبرید مزبور، هیبریدهای S1-66*(SB36*7112) و S1-72*(SB36*7112) به ترتیب دارای مقادیر STI معادل ۰/۸۸ و ۰/۸۹ بودند و در جایگاه‌های بعدی از نظر تحمل به خشکی قرار گرفتند (جدول ۶). محمدیان و همکاران (Mohammadian et al., 2003)، وزان (Vazan, 2002)، فضلی و همکاران (Fazli et al., 1998) نیز شاخص STI را به‌عنوان بهترین شاخص ارزیابی‌کننده تحمل به خشکی در مواد ژنتیکی چغندر قند معرفی کردند.

ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند تحت شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبیاری در جدول ۷ نشان داده شده است. مقایسه ضرایب همبستگی در شرایط بدون تنش نشان داد که بین عملکرد شکر سفید و صفاتی از قبیل عملکرد ریشه $(r=0/93^{**})$ ، درصد قند $(r=0/51^{**})$ ، عملکرد شکر $(r=0/95^{**})$ ، شکر قابل استحصال $(r=0/52^{**})$ و ضریب استحصال شکر $(r=0/60^{**})$ همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. علاوه بر این بین عملکرد شکر سفید و صفات میزان سدیم $(r=-0/32^{**})$ ، پتاسیم $(r=-0/44^{**})$ ، ضریب قلیائیت $(r=-0/45^{**})$ و درصد قند ملاس $(r=-0/41^{**})$ همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. لازم به ذکر است که در این شرایط بیشترین همبستگی $(r=0/98^{**})$ بین درصد قند و شکر قابل استحصال وجود داشت (جدول ۷). در شرایط تنش کم‌آبیاری، بین عملکرد شکر سفید و صفات عملکرد ریشه $(r=0/93^{**})$ ، درصد قند $(r=0/65^{**})$ ، عملکرد شکر $(r=0/99^{**})$ ، شکر قابل استحصال $(r=0/67^{**})$ و ضریب استحصال شکر $(r=0/47^{**})$ همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. در حالی که بین عملکرد شکر سفید و میزان سدیم $(r=-0/53^{**})$ ، پتاسیم $(r=-0/53^{**})$ ، ضریب قلیائیت $(r=-0/41^{**})$ و درصد قند ملاس $(r=-0/57^{**})$ همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد زوتیپ‌های مختلف چغندر قند تحت شرایط بدون تنش (نرمال) و تنش کم آبیاری

Table 5. Mean comparison of yield and yield components of different sugar beet genotypes under normal and water deficit stress conditions

ژنوتیپ Genotype	عملکرد ریشه Root yield (t.ha ⁻¹)		درصد قند Sugar content (%)		عملکرد شکر Sugar yield (t.ha ⁻¹)		سدیم Na (Meq/100 g)		پتاسیم K (Meq/100 g)	
	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش
	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress
(7112*SB36)*S1-28	64.51	35.07	18.80	21.30	12.15	7.47	1.53	1.60	4.15	4.46
(7112*SB36)*S1-55	51.87	28.08	18.99	22.41	9.86	6.32	1.50	2.40	4.50	5.83
(7112*SB36)*S1-49	50.00	32.79	18.50	19.35	9.25	6.34	1.63	2.26	4.80	4.73
(7112*SB36)*S1-12	51.38	39.39	18.74	20.53	9.62	8.11	1.36	2.13	4.57	5.60
(7112*SB36)*S1-48	51.84	28.18	18.28	19.41	9.47	5.47	1.48	2.30	4.83	5.51
(7112*SB36)*S1-45	40.18	35.20	17.80	20.44	7.15	7.20	1.67	1.89	5.24	5.68
(7112*SB36)*S1-44	59.13	36.10	18.70	21.45	11.07	7.75	1.63	1.93	4.72	4.76
(7112*SB36)*S1-39	50.53	30.16	18.61	21.14	9.35	6.38	1.51	1.77	4.66	4.50
(7112*SB36)*S1-21	47.19	32.07	19.44	21.04	9.19	6.77	1.38	1.99	4.66	4.94
(7112*SB36)*S1-42	56.74	36.48	18.88	20.71	10.68	7.55	1.70	2.12	4.55	5.21
(7112*SB36)*S1-77	50.86	29.54	18.95	19.21	9.65	5.67	1.36	2.72	4.87	5.50
(7112*SB36)*S1-86	53.39	34.27	19.00	19.51	10.15	6.68	1.70	2.80	4.75	5.10
(7112*SB36)*S1-40	50.52	31.71	18.25	20.28	9.22	6.44	1.56	2.50	4.64	5.08
(7112*SB36)*S1-38	47.34	31.28	17.78	20.04	8.42	6.26	1.55	2.62	4.82	5.02
(7112*SB36)*S1-18	56.74	43.12	18.33	21.53	10.41	9.31	1.47	1.97	4.76	4.83
(7112*SB36)*S1-20	51.32	38.18	18.88	20.38	9.66	7.77	1.42	2.41	4.65	5.19
(7112*SB36)*S1-26	46.16	33.71	18.09	19.74	8.35	6.67	1.84	3.10	5.16	5.15
(7112*SB36)*S1-36	67.41	32.43	18.95	21.23	12.81	6.88	1.45	1.72	4.65	4.82
(7112*SB36)*S1-46	47.96	27.36	18.41	19.78	8.83	5.41	1.56	2.38	4.64	5.44
(7112*SB36)*S1-69	47.93	30.62	18.13	19.00	8.68	5.82	1.78	3.26	5.80	6.22
(7112*SB36)*S1-57	44.50	30.53	18.98	21.38	8.49	6.53	1.62	3.19	4.76	5.77
(7112*SB36)*S1-17	49.69	33.52	19.30	19.74	9.64	6.62	1.23	2.85	4.65	5.42
(7112*SB36)*S1-31	51.50	33.54	18.95	20.73	9.78	6.95	1.42	2.11	4.67	4.83
(7112*SB36)*S1-2	49.09	28.68	19.10	19.70	9.33	5.65	1.44	2.52	4.48	5.14
(7112*SB36)*S1-5	49.93	35.34	18.40	20.43	9.17	7.24	2.10	2.37	4.48	5.16
(7112*SB36)*S1-6	46.64	32.26	18.89	20.51	8.80	6.62	1.40	2.25	4.59	5.06
(7112*SB36)*S1-94	50.26	31.62	18.55	19.53	9.36	6.17	1.54	2.61	4.79	5.57
(7112*SB36)*S1-93	51.71	32.56	18.45	20.88	9.53	6.80	1.63	1.94	4.90	5.56
(7112*SB36)*S1-56	57.00	26.22	17.45	20.13	9.94	5.27	2.45	2.41	5.62	5.58
(7112*SB36)*S1-8	63.30	41.07	18.88	19.95	11.92	8.19	1.47	2.61	4.54	5.09
(7112*SB36)*S1-22	52.98	33.21	19.04	20.30	10.06	6.74	1.55	2.66	5.04	5.48
(7112*SB36)*S1-7	47.00	36.55	18.59	22.03	8.73	8.04	1.54	1.23	4.39	4.35
(7112*SB36)*S1-89	51.93	27.35	18.89	20.89	9.82	5.72	1.50	2.28	5.12	4.82
(7112*SB36)*S1-19	58.50	29.72	18.55	20.49	10.80	6.09	1.75	1.75	4.71	4.94
(7112*SB36)*S1-37	51.10	31.30	18.46	20.04	9.44	6.29	1.68	2.46	5.02	5.41
(7112*SB36)*S1-32	51.46	32.02	17.76	18.84	9.15	6.04	1.89	3.52	5.19	5.66
(7112*SB36)*S1-54	51.46	31.67	18.94	19.98	9.77	6.33	1.55	2.63	4.42	5.37

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

ژنوتیپ Genotype	عملکرد ریشه Root yield (t.ha ⁻¹)		درصد قند Sugar content (%)		عملکرد شکر Sugar yield (t.ha ⁻¹)		سدیم Na(Meq/100 g)		پتاسیم K (Meq/100 g)	
	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش
	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress
(7112*SB36)*S1-53	48.24	34.07	19.40	20.61	9.33	7.03	1.19	2.17	4.45	5.11
(7112*SB36)*S1-92	55.37	32.17	18.51	19.44	10.27	6.24	1.60	2.80	4.95	5.07
(7112*SB36)*S1-66	63.95	45.75	17.84	20.53	11.39	9.38	1.41	2.36	4.28	4.80
(7112*SB36)*S1-10	58.23	30.06	19.09	19.85	11.12	5.98	1.25	2.53	4.56	5.17
(7112*SB36)*S1-76	46.94	35.19	19.55	20.35	9.21	7.17	1.22	1.65	4.15	5.08
(7112*SB36)*S1-100	54.80	38.12	18.15	19.98	9.91	7.62	1.75	2.74	4.96	5.09
(7112*SB36)*S1-13	60.96	36.78	18.71	20.71	11.39	7.63	1.65	1.70	4.68	5.18
(7112*SB36)*S1-63	46.07	30.12	18.86	20.75	8.69	6.25	1.75	2.64	4.66	4.32
(7112*SB36)*S1-90	43.82	27.50	19.40	20.48	8.52	5.63	1.36	2.64	4.84	5.10
(7112*SB36)*S1-84	54.62	30.96	18.04	19.81	9.86	6.14	1.73	2.77	5.17	5.55
(7112*SB36)*S1-61	52.42	29.93	18.55	21.41	9.70	6.41	1.65	1.43	4.49	4.99
(7112*SB36)*S1-15	53.85	40.44	18.76	20.74	10.12	8.38	1.47	2.97	4.53	5.49
(7112*SB36)*S1-4	57.32	28.96	19.21	20.45	11.02	5.92	2.21	2.91	5.12	5.70
(7112*SB36)*S1-73	72.07	39.80	19.74	20.10	14.20	8.00	1.14	2.21	4.13	5.13
(7112*SB36)*S1-16	56.35	44.27	18.70	19.55	10.53	8.66	1.78	3.54	4.95	5.53
(7112*SB36)*S1-71	57.55	39.60	18.79	20.94	10.82	8.29	1.34	1.73	4.55	5.04
(7112*SB36)*S1-70	56.35	39.60	18.06	19.91	10.21	7.88	1.43	2.57	5.05	5.79
(7112*SB36)*S1-3	56.29	41.07	19.13	20.18	10.77	8.28	1.22	1.67	4.48	5.19
(7112*SB36)*S1-72	64.93	45.38	18.53	19.90	12.03	9.04	1.91	2.10	5.06	5.15
(7112*SB36)*S1-88	53.13	30.80	18.65	20.20	9.86	6.22	1.46	2.64	4.92	5.84
SC(7112*SB36)	50.38	37.79	19.48	20.74	9.83	7.83	1.23	2.47	3.86	4.53
Paya	59.93	41.38	17.68	19.70	10.57	8.15	1.83	1.99	5.01	5.35
IR7	56.92	46.86	20.85	22.89	11.86	10.72	1.21	1.57	4.57	4.87
Mandarin	61.28	50.33	20.98	22.98	12.85	11.55	1.10	1.62	3.82	3.96
Parental population	46.22	30.56	18.70	20.35	8.65	6.22	1.18	2.78	4.20	5.37
Fotora	58.67	42.36	20.75	22.94	12.15	9.71	1.08	1.45	4.19	4.31
Jolgeh	42.55	29.14	18.28	19.04	7.78	5.55	1.90	3.69	5.00	5.57
Mean میانگین	53.29	34.56	18.77	20.44	10.01	7.08	1.54	2.35	4.71	5.17
LSD 0.05	6.496	5.426	1.063	0.724	1.295	1.173	0.583	0.349	0.683	0.394
LSD 0.01	8.569	7.158	1.402	0.955	1.708	1.547	0.769	0.461	0.900	0.520

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

ژنوتیپ Genotype	نیترژن مضره N(Meq/100 g)		ضرب قلیائیت Alkalinity		قند ملاس Molasses sugar (%)		شکر قابل استحصال White sugar content (%)		ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar (%)	
	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش
	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress
(7112*SB36)*S1-28	1.23	1.38	4.69	4.40	1.75	1.90	17.45	16.81	88.04	87.04
(7112*SB36)*S1-55	1.28	1.84	4.76	4.92	1.87	2.69	17.52	17.13	87.61	83.09
(7112*SB36)*S1-49	1.11	1.28	6.26	5.78	2.00	2.21	16.90	14.55	86.64	84.09
(7112*SB36)*S1-12	1.20	1.65	5.16	4.82	1.83	2.50	17.31	15.43	87.63	83.29
(7112*SB36)*S1-48	0.95	1.25	6.83	6.28	1.95	2.49	16.73	14.33	86.76	82.23
(7112*SB36)*S1-45	1.12	1.63	6.19	4.67	2.17	2.44	16.03	15.40	84.99	83.49
(7112*SB36)*S1-44	1.38	1.50	4.66	4.60	2.00	2.12	17.10	16.68	86.65	85.94
(7112*SB36)*S1-39	1.26	1.24	5.17	5.28	1.93	1.96	17.09	16.58	86.96	86.64
(7112*SB36)*S1-21	1.16	1.55	5.46	4.66	1.87	2.21	17.97	16.23	87.78	84.96
(7112*SB36)*S1-42	1.57	1.79	4.38	4.30	1.98	2.37	17.30	15.72	86.67	84.01
(7112*SB36)*S1-77	1.03	1.59	6.20	5.57	1.92	2.66	17.43	14.46	87.26	80.75
(7112*SB36)*S1-86	1.29	2.70	5.10	3.16	2.02	2.65	17.38	14.26	86.89	81.26
(7112*SB36)*S1-40	1.03	1.81	6.25	4.55	1.91	2.46	16.74	15.21	86.81	83.04
(7112*SB36)*S1-38	0.98	1.52	6.57	5.11	1.97	2.45	16.21	14.99	86.23	82.53
(7112*SB36)*S1-18	1.29	1.36	5.43	5.07	1.95	2.15	16.78	16.78	86.66	85.85
(7112*SB36)*S1-20	1.47	2.36	4.19	3.58	1.91	2.52	17.37	15.26	87.36	82.79
(7112*SB36)*S1-26	1.19	2.06	6.61	4.22	2.20	2.72	16.29	14.42	85.31	81.03
(7112*SB36)*S1-36	1.23	1.43	5.11	4.67	1.90	2.07	17.46	16.56	87.46	86.09
(7112*SB36)*S1-46	1.16	1.59	5.77	5.18	1.93	2.52	16.89	14.65	86.95	82.23
(7112*SB36)*S1-69	1.09	2.34	6.96	4.15	2.39	3.16	16.14	13.24	84.25	77.67
(7112*SB36)*S1-57	1.54	1.86	4.31	5.17	2.02	2.94	17.35	15.84	86.87	81.57
(7112*SB36)*S1-17	1.01	1.85	5.83	4.64	1.80	2.70	17.90	14.44	88.10	81.19
(7112*SB36)*S1-31	1.23	1.37	5.44	5.26	1.89	2.20	17.46	15.93	87.44	84.88
(7112*SB36)*S1-2	1.03	1.74	5.75	5.15	1.81	2.48	17.69	14.62	87.94	82.09
(7112*SB36)*S1-5	1.37	1.79	4.83	4.58	2.07	2.44	16.73	15.41	86.18	83.33
(7112*SB36)*S1-6	1.13	1.51	5.84	4.92	1.85	2.34	17.44	15.57	87.66	84.03
(7112*SB36)*S1-94	1.33	2.66	5.33	3.31	1.99	2.74	16.97	14.18	86.64	80.95
(7112*SB36)*S1-93	1.38	1.64	5.00	4.65	2.06	2.42	16.79	15.86	86.16	83.98
(7112*SB36)*S1-56	1.60	1.87	5.15	4.53	2.61	2.60	15.24	14.92	82.49	82.05
(7112*SB36)*S1-8	1.28	1.86	4.68	4.55	1.87	2.50	17.41	14.85	87.50	82.42
(7112*SB36)*S1-22	1.17	2.24	5.72	3.63	2.06	2.69	17.38	15.01	86.61	81.86
(7112*SB36)*S1-7	1.27	1.23	5.39	4.59	1.83	1.72	17.16	17.71	87.32	88.37
(7112*SB36)*S1-89	1.12	1.71	6.29	4.34	2.07	2.29	17.22	16.00	86.42	84.67
(7112*SB36)*S1-19	1.52	1.54	4.46	4.89	2.05	2.13	16.91	15.76	86.31	84.97
(7112*SB36)*S1-37	1.07	1.73	6.78	4.92	2.09	2.55	16.78	14.89	86.07	82.32
(7112*SB36)*S1-32	1.45	1.75	4.94	5.39	2.25	3.00	15.91	13.24	84.50	78.56
(7112*SB36)*S1-54	1.30	2.10	4.62	4.08	1.86	2.66	17.48	14.72	87.65	81.85

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

ژنوتیپ Genotype	نیتروژن مضره N(Meq/100 g)		ضریب قلیائیت Alkalinity		قند ملاس Molasses sugar (%)		شکر قابل استحصال White sugar content (%)		ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar (%)	
	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش
	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress	Normal	Stress
(7112*SB36)*S1-53	0.94	2.04	6.03	3.74	1.71	2.38	18.09	15.64	88.59	83.75
(7112*SB36)*S1-92	1.15	1.73	5.99	5.34	2.04	2.55	16.87	14.29	86.39	81.72
(7112*SB36)*S1-66	1.09	1.79	5.53	4.32	1.75	2.31	16.49	15.61	87.59	84.27
(7112*SB36)*S1-10	1.11	2.00	5.53	4.08	1.79	2.54	17.70	14.70	88.12	82.12
(7112*SB36)*S1-76	1.01	1.57	5.42	4.64	1.63	2.15	18.33	15.61	89.14	85.39
(7112*SB36)*S1-100	1.40	2.25	5.23	3.75	2.12	2.58	16.43	14.80	85.67	82.08
(7112*SB36)*S1-13	1.32	1.39	5.23	5.03	1.98	2.18	17.13	15.94	86.77	85.13
(7112*SB36)*S1-63	1.44	1.63	4.84	4.42	2.03	2.15	17.24	16.01	86.76	85.11
(7112*SB36)*S1-90	0.94	1.68	6.67	4.98	1.90	2.51	17.90	15.38	87.66	82.50
(7112*SB36)*S1-84	1.12	1.58	6.37	5.53	2.16	2.69	16.28	14.52	85.40	81.29
(7112*SB36)*S1-61	1.16	1.32	5.52	5.07	1.91	2.01	17.05	17.02	87.18	88.15
(7112*SB36)*S1-15	1.21	2.08	5.08	4.25	1.86	2.79	17.30	15.35	87.36	81.93
(7112*SB36)*S1-4	1.26	1.80	5.81	5.15	2.32	2.82	17.29	15.04	85.40	81.34
(7112*SB36)*S1-73	1.02	1.91	5.32	3.94	1.59	2.39	18.55	15.12	89.43	83.37
(7112*SB36)*S1-16	1.60	2.45	4.49	3.97	2.15	3.03	16.95	13.92	86.01	78.51
(7112*SB36)*S1-71	1.06	1.39	5.62	5.17	1.81	2.14	17.38	16.20	87.78	85.46
(7112*SB36)*S1-70	1.20	2.26	5.72	4.18	2.02	2.77	16.44	14.55	86.02	81.06
(7112*SB36)*S1-3	1.24	1.46	4.85	4.92	1.76	2.18	17.76	15.40	88.24	84.57
(7112*SB36)*S1-72	1.22	1.36	5.85	5.29	2.19	2.31	16.73	15.00	85.61	83.06
(7112*SB36)*S1-88	1.10	2.01	5.96	5.00	1.98	2.79	17.07	15.14	86.76	83.60
SC (7112*SB36)	1.18	2.23	4.39	3.42	1.55	2.30	18.33	15.84	89.46	84.18
Paya	1.42	1.74	4.93	4.26	2.17	2.37	15.91	14.73	85.12	83.38
IR7	1.23	1.79	4.92	4.05	1.79	2.07	19.46	18.22	88.94	87.17
Mandarin	1.22	1.60	4.04	3.54	1.49	1.75	19.89	18.63	90.42	88.76
Parental population	1.18	1.58	4.60	5.33	1.65	2.63	17.46	15.12	88.56	82.36
Fotora	1.20	1.86	4.49	3.15	1.61	1.83	19.54	18.51	89.74	88.37
Jolgeh	0.86	1.27	8.05	7.71	2.14	2.99	16.54	13.45	85.63	78.22
Mean میانگین	1.21	1.75	5.44	4.65	1.95	2.43	17.22	15.43	86.98	83.34
LSD 0.05	0.436	0.410	1.206	0.435	0.431	0.469	0.989	0.394	1.356	0.583
LSD 0.01	0.575	0.541	1.353	0.574	0.568	0.618	1.305	0.520	1.789	0.769

جدول ۶. میانگین عملکرد شکر سفید (تن در هکتار) ژنوتیپ‌های چغندر قند تحت شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری
 Table 6. Mean white sugar yield (t.ha⁻¹) of sugar beet genotypes under normal and water deficit stress conditions

نام ژنوتیپ Genotype name	بدون تنش (Normal)	رتبه ژنوتیپ Genotype rank	تنش (Stress)	رتبه ژنوتیپ Genotype rank	شاخص تحمل به تنش (STI)
Mandarin	12.19	2	9.37	1	1.36
IR7	11.08	6	8.53	2	1.12
Fotora	11.46	4	7.84	3	1.07
(7112 * SB36) * S1-73	13.34	1	6.01	16	0.95
(7112 * SB36) * S1-66	10.53	9	7.14	5	0.89
(7112 * SB36) * S1-72	10.87	8	6.80	6	0.88
(7112 * SB36) * S1-18	9.53	19	7.25	4	0.82
(7112 * SB36) * S1-8	10.97	7	6.10	12	0.79
(7112 * SB36) * S1-28	11.28	5	5.89	18	0.79
(7112 * SB36) * S1-71	10.01	14	6.41	8	0.76
(7112 * SB36) * S1-36	11.81	3	5.37	27	0.75
(7112 * SB36) * S1-3	10.01	13	6.33	9	0.75
(7112 * SB36) * S1-13	10.45	10	5.87	19	0.73
(7112 * SB36) * S1-44	10.10	12	6.01	15	0.72
(7112 * SB36) * S1-16	9.55	18	6.16	11	0.70
Paya	9.52	20	6.08	13	0.69
(7112 * SB36) * S1-15	9.31	22	6.21	10	0.69
(7112 * SB36) * S1-42	9.77	17	5.73	22	0.67
SC (7112*SB36)	9.24	25	5.99	17	0.66
(7112 * SB36) * S1-12	8.88	37	6.08	14	0.64
(7112 * SB36) * S1-70	9.29	23	5.75	21	0.63
(7112 * SB36) * S1-7	8.07	56	6.47	7	0.62
(7112 * SB36) * S1-20	8.88	38	5.82	20	0.61
(7112 * SB36) * S1-100	9.00	30	5.64	23	0.60
(7112 * SB36) * S1-31	8.99	31	5.34	28	0.57
(7112 * SB36) * S1-76	8.64	43	5.49	24	0.56
(7112 * SB36) * S1-53	8.70	39	5.32	29	0.55
(7112 * SB36) * S1-19	9.89	16	4.68	45	0.55
(7112 * SB36) * S1-22	9.19	26	4.99	35	0.54
(7112 * SB36) * S1-10	10.32	11	4.41	53	0.54
(7112 * SB36) * S1-61	8.91	34	5.10	32	0.54
(7112 * SB36) * S1-86	9.28	24	4.89	36	0.54
(7112 * SB36) * S1-93	8.67	42	5.17	31	0.53
(7112 * SB36) * S1-21	8.49	48	5.21	30	0.52
(7112 * SB36) * S1-55	9.11	27	4.81	42	0.52
(7112 * SB36) * S1-17	8.92	33	4.85	38	0.51
(7112 * SB36) * S1-4	9.92	15	4.35	55	0.51
(7112 * SB36) * S1-92	9.37	21	4.60	50	0.51
(7112 * SB36) * S1-39	8.60	45	5.01	34	0.51
(7112 * SB36) * S1-88	9.06	28	4.66	48	0.50
(7112 * SB36) * S1-54	9.02	29	4.67	46	0.50
(7112 * SB36) * S1-6	8.11	53	5.02	33	0.48
(7112 * SB36) * S1-40	8.45	49	4.82	40	0.48
(7112 * SB36) * S1-49	8.45	50	4.77	43	0.48
(7112 * SB36) * S1-84	8.90	35	4.51	51	0.48
(7112 * SB36) * S1-37	8.57	46	4.66	47	0.47
(7112 * SB36) * S1-89	8.93	32	4.38	54	0.46
(7112 * SB36) * S1-94	8.56	47	4.49	52	0.46
(7112 * SB36) * S1-63	7.95	57	4.82	41	0.45
(7112 * SB36) * S1-77	8.89	36	4.27	56	0.45

جدول ۶. ادامه

Table 6. Continued

نام ژنوتیپ Genotype name	بدون تنش (Non-Stress)	رتبه ژنوتیپ Genotype rank	تنش (Stress)	رتبه ژنوتیپ Genotype rank	شاخص تحمل به تنش (STI)
(7112 * SB36) * S1-57	7.76	59	4.84	39	0.45
Parental population	8.07	55	4.62	49	0.44
(7112 * SB36) * S1-26	7.52	62	4.87	37	0.43
(7112 * SB36) * S1- 2	8.63	44	4.19	59	0.43
(7112 * SB36) * S1-38	7.66	61	4.69	44	0.43
(7112 * SB36) * S1-45	6.46	64	5.42	26	0.42
(7112 * SB36) * S1-48	8.67	41	4.04	61	0.42
(7112 * SB36) * S1-32	8.20	52	4.25	57	0.41
(7112 * SB36) * S1-56	8.68	40	3.91	64	0.40
(7112 * SB36) * S1-5	8.33	51	5.48	25	0.40
(7112 * SB36) * S1-90	7.86	58	4.23	58	0.39
(7112 * SB36) * S1-46	8.09	54	4.01	62	0.38
(7112 * SB36) * S1-69	7.73	60	4.06	60	0.37
Jolgeh	7.01	63	3.93	63	0.33

جدول ۷. ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند تحت شرایط بدون تنش (بالای قطر اصلی ماتریس) و تنش کم آبیاری (پایین قطر اصلی ماتریس)

Table 7. Correlation coefficients of studied traits in different sugar beet genotypes under normal (top of the main diagonal of the matrix) and water deficit stress (bottom of the main diagonal of the matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 عملکرد ریشه Root yield	-	0.17 ^{ns}	0.95 ^{**}	-0.06 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	0.22 ^{ns}	-0.37 ^{**}	-0.14 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.93 ^{**}	0.16 ^{ns}
2 درصد قند Sugar content	0.35 ^{**}	-	0.45 ^{**}	-0.64 ^{**}	-0.61 ^{**}	-0.14 ^{ns}	-0.35 ^{**}	-0.67 ^{**}	0.98 ^{**}	0.51 ^{**}	0.81 ^{**}
3 عملکرد شکر Sugar yield	0.97 ^{**}	0.56 ^{**}	-	-0.24 [*]	-0.37 ^{**}	0.15 ^{ns}	-0.44 ^{**}	-0.32 ^{**}	0.45 ^{**}	0.95 ^{**}	0.38 ^{**}
4 سدیم Na	-0.30 [*]	-0.66 ^{**}	-0.43 ^{**}	-	0.68 ^{**}	0.45 ^{**}	0.16 ^{ns}	0.90 ^{**}	-0.74 ^{**}	-0.32 ^{**}	-0.88 ^{**}
5 پتاسیم K	-0.34 ^{**}	-0.55 ^{**}	-0.44 ^{**}	0.58 ^{**}	-	0.12 ^{ns}	0.51 ^{**}	0.93 ^{**}	-0.73 ^{**}	-0.44 ^{**}	-0.90 ^{**}
6 نیتروژن مضره N	0.09 ^{ns}	-0.25 [*]	0.01 ^{ns}	0.49 ^{**}	0.35 ^{**}	-	-0.73 ^{**}	0.35 ^{**}	-0.20 ^{ns}	0.11 ^{ns}	-0.32 ^{**}
7 ضریب قلیائیت Alkalinity	-0.41 ^{**}	-0.29 [*]	-0.43 ^{**}	0.16 ^{ns}	0.23 ^{ns}	-0.71 ^{**}	-	0.33 ^{**}	-0.37 ^{**}	-0.45 ^{**}	-0.35 ^{**}
8 درصد قند ملاس Molasses sugar	-0.33 ^{**}	-0.67 ^{**}	-0.46 ^{**}	0.91 ^{**}	0.86 ^{**}	0.56 ^{**}	0.14 ^{ns}	-	-0.80 ^{**}	-0.41 ^{**}	-0.97 ^{**}
9 شکر قابل استحصال White sugar content	0.36 ^{**}	0.98 ^{**}	0.57 ^{**}	-0.77 ^{**}	-0.66 ^{**}	-0.36 ^{**}	-0.25 [*]	-0.81 ^{**}	-	0.52 ^{**}	0.90 ^{**}
10 عملکرد شکر سفید White sugar yield	0.93 ^{**}	0.65 ^{**}	0.99 ^{**}	-0.53 ^{**}	-0.53 ^{**}	-0.06 ^{ns}	-0.41 ^{**}	-0.57 ^{**}	0.67 ^{**}	-	0.47 ^{**}
11 ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	0.32 ^{**}	0.81 ^{**}	0.49 ^{**}	-0.91 ^{**}	-0.77 ^{**}	-0.50 ^{**}	-0.19 ^{ns}	-0.95 ^{**}	0.91 ^{**}	0.60 ^{**}	-

ns, * and **: None significant and significant at 5 and 1%, Respectively.

می‌توان از آن به‌عنوان یکی از شاخص‌های انتخاب استفاده نمود (جدول ۱۱). همبستگی معنی‌دار و مثبت عملکرد شکر سفید در شرایط تنش با عملکرد شکر نشان‌دهنده‌ی تأثیر بیشتر این صفت در میزان عملکرد شکر سفید است. عبدالهیان نوقایی و همکاران (Abdollahian Noghahi et al., 2011)، گزارش کردند که چهار صفت عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد شکر و شکر قابل استحصال به‌طور معنی‌داری تغییرات عملکرد شکر سفید را توجیه می‌کند. غفاری و همکاران (Ghafari et al., 2016) نشان دادند که بر اساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات عملکرد ریشه، درصد قند، میزان سدیم و میزان پتاسیم بیش از ۹۹ درصد تغییرات عملکرد شکر سفید را در شرایط تنش خشکی توجیه کردند. نصری و همکاران (Nasri et al., 2012) نیز گزارش نمودند که عملکرد ریشه به‌تنهایی ۹۱ درصد از تغییرات عملکرد شکر سفید را تحت شرایط تنش شوری در ژنوتیپ‌های مورد بررسی توجیه کرد. اودا سوهیر (Ouda, 2005) نیز گزارش کرد که عملکرد شکر و درصد قند دارای بیشترین اثر بر روی عملکرد شکر سفید می‌باشند. در پژوهش حاضر، با توجه به متغیرهای ورودی به مدل چنین برمی‌آید که انتخاب برای عملکرد شکر، ضریب استحصال شکر، عملکرد ریشه و درصد قند به افزایش عملکرد شکر سفید منجر شود. به‌طور کلی بررسی همبستگی بین صفات، رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت نشان داد که عملکرد شکر، ضریب استحصال شکر، عملکرد ریشه و درصد قند مناسب‌ترین شاخص‌های انتخاب برای بهبود ژنتیکی عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند در هر دو شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری می‌باشند که این امر می‌تواند باعث تسریع در امر انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گردد؛ به‌عبارت‌دیگر ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد شکر می‌تواند خیلی راحت‌تر از انتخاب آن‌ها بر اساس عملکرد شکر خالص باشد. علاوه بر این از مقایسه روابط بین صفات در دو محیط تنش و بدون تنش کم آبیاری می‌توان دریافت که شرایط محیطی تأثیر زیادی بر این روابط داشته و لذا تعیین شاخص‌های انتخاب مؤثر در بهبود عملکرد شکر سفید برای هر محیط بایستی با توجه به شرایط آن صورت گیرد.

نتایج رگرسیون گام‌به‌گام در شرایط تنش کم آبیاری در جدول ۹ آورده شده است. در این شرایط پنج صفت عملکرد شکر، ضریب استحصال شکر، عملکرد ریشه، درصد قند و شکر قابل استحصال وارد مدل شده که بیش از ۹۹ درصد از تغییرات عملکرد شکر سفید را توجیه نمودند که چنین رابطه قوی بین عملکرد شکر سفید و صفات مذکور را می‌توان به رابطه مستقیم این صفات نسبت داد. سایر صفات مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر مدل نداشته و اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر صفت عملکرد شکر سفید را می‌توان به تفاوت در صفات فوق نسبت داد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، صفات عملکرد شکر، ضریب استحصال شکر، عملکرد ریشه و درصد قند در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی وارد مدل شدند، در نتیجه به‌عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد شکر سفید چغندر قند در شرایط بدون تنش و تنش در نظر گرفته می‌شوند و احتمالاً گزینش به‌منظور افزایش عملکرد شکر سفید از طریق صفات عملکرد شکر، ضریب استحصال شکر، عملکرد ریشه و درصد قند مؤثر خواهد بود. بررسی ضرایب تبیین (R^2) نشان داد که بیش از ۹۹ درصد از تغییرات موجود در عملکرد شکر سفید در شرایط بدون تنش و تنش کم آبیاری توسط متغیرهای مستقل قابل توجیه بود (جدول ۸ و ۹).

نتایج تجزیه علیت نشان داد که اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد شکر سفید تحت شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی متفاوت است (جدول ۱۰ و ۱۱). در شرایط عدم تنش، عملکرد ریشه (۱/۱۷) بیش‌ترین اثر مستقیم را روی عملکرد شکر سفید داشت. هماهنگی علامت و معنی‌دار بودن اثر مستقیم این صفت با همبستگی ساده آن با عملکرد شکر سفید بیانگر این مطلب است که این صفت می‌تواند جهت گزینش ارقام پر محصول مؤثر باشند. در شرایط عدم تنش عملکرد شکر که اولین صفت وارد شده در مدل است با تأثیر غیرمستقیم عملکرد ریشه بیش‌ترین اثر را روی عملکرد شکر سفید داشت (جدول ۱۰)؛ بنابراین در شرایط عدم تنش، عملکرد ریشه بیش‌ترین اثر را در افزایش عملکرد شکر سفید دارد.

در شرایط تنش کم آبیاری، عملکرد شکر بالاترین اثر مستقیم را بر عملکرد شکر سفید داشت، لذا به دلیل اثرات مستقیم و مثبت زیادی که این صفت بر عملکرد شکر سفید دارد

جدول ۸. ضرایب رگرسیون صفات مؤثر بر عملکرد شکر سفید در شرایط بدون تنش بر اساس مدل رگرسیونی گام‌به‌گام

Table 8. Regression coefficients of traits affecting white sugar yield under normal conditions based on stepwise regression model

Traits	صفات	ضریب رگرسیون Regression coefficient	ضریب تبیین مدل Model R-Square	ضریب تبیین جزء Partial R-Square
Sugar yield	عملکرد شکر	1.130**	0.9903	0.9903
Extraction coefficient of sugar	ضریب استحصال شکر	-0.013 ^{ns}	0.9996	0.0093
Molasses sugar	درصد قند ملاس	-0.606**	0.9996	0.0001
Root yield	عملکرد ریشه	-0.039**	0.9998	0.0001
Sugar content	درصد قند	-0.063 ^{ns}	0.9998	0.0000
Intercept	عرض از مبدأ	3.449 ^{ns}		

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns, *and**: None significant and significant at 5 and 1%, Respectively.

جدول ۹. ضرایب رگرسیون صفات مؤثر بر عملکرد شکر سفید در شرایط تنش کم آبیاری بر اساس مدل رگرسیونی گام‌به‌گام

Table 9. Regression coefficients of traits affecting white sugar yield under water deficit stress conditions based on stepwise regression model

Traits	صفات	ضریب رگرسیون Regression coefficient	ضریب تبیین مدل Model R-Square	ضریب تبیین جزء Partial R-Square
Sugar yield	عملکرد شکر	1.252**	0.9804	0.9804
Extraction coefficient of sugar	ضریب استحصال شکر	0.003 ^{ns}	0.9974	0.0170
Root yield	عملکرد ریشه	-0.102**	0.9986	0.0012
Sugar content	درصد قند	-0.407**	0.9992	0.0007
Sugar content White	شکر قابل استحصال	0.320**	0.9998	0.0005
Intercept	عرض از مبدأ	3.165**		

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns, *and**: None significant and significant at 5 and 1%, Respectively.

جدول ۱۰. تجزیه علیت همبستگی عملکرد شکر سفید در شرایط بدون تنش با صفات باقی‌مانده در مدل رگرسیونی گام‌به‌گام

Table 10. Path coefficient analysis of white sugar yield with the remaining characters in the stepwise reregression model under normal conditions

Trait	صفت	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق by Indirect effect					ضریب همبستگی با عملکرد شکر سفید Correlation coefficient with yield
			1	2	3	4	5	
1	عملکرد شکر	-0.325	-	0.176	-0.027	1.112	0.012	0.95**
2	ضریب استحصال شکر	0.463	-0.124	-	-0.080	0.187	0.021	0.47**
3	درصد قند ملاس	0.081	0.103	-0.450	-	-0.164	0.017	-0.41**
4	عملکرد ریشه	1.170	-0.309	0.074	-0.012	-	0.004	0.93**
5	درصد قند	0.026	-0.146	0.375	0.054	0.199	-	0.51**
			Residual effect=0.145		اثر باقیمانده=0.145			

** : Significant at 1%.

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ۱۱- تجزیه علیت همبستگی عملکرد شکر سفید در شرایط تنش کم آبیاری با صفات باقی مانده در مدل رگرسیون گام به گام

Table 11. Path coefficient analysis of white sugar yield with the remaining characters in the stepwise reression model under water deficit stress conditions

Trait	صفت	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق by Indirect effect					ضریب همبستگی با عملکرد شکر سفید Correlation coefficient with yield
			1	2	3	4	5	
1	عملکرد شکر Sugar yield	0.895	-	-0.310	0.002	-0.183	0.304	0.99**
2	ضریب استحصال شکر Extraction coefficient of sugar	-0.062	0.438	-	0.000	-0.264	0.485	0.60**
3	عملکرد ریشه Root yield	0.002	0.868	-0.020	-	-0.114	0.192	0.93**
4	درصد قند Sugar content	-0.326	0.501	-0.050	0.000	-	0.522	0.65**
5	شکر قابل استحصال White Sugar content	0.533	0.510	-0.057	0.000	-0.320	-	0.67**
Residual effect=0.042			اثر باقیمانده= ۰/۰۴۲					

** : Significant at 1%.

** : معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد شکر سفید با عملکرد ریشه، درصد قند، عملکرد شکر، شکر قابل استحصال و ضریب استحصال شکر نشان می دهد که از این صفات می توان به عنوان فاکتورهای انتخاب ژنوتیپ های چغندر قند متحمل به تنش کم آبیاری استفاده نمود. در نهایت، در بین هیبریدهای مورد مطالعه، هیبریدهای -S1*(7112*SB36) و -S1-72*(7112*SB36) که هم از لحاظ شاخص تحمل به تنش (STI) و هم از لحاظ صفات عملکردی در شرایط تنش برتر بودند، به ترتیب به عنوان متحمل ترین هیبریدها به تنش کم آبیاری معرفی شدند.

به طور کلی نتایج نشان داد که تنش کم آبیاری اثر بسیار معنی داری بر کلیه صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ های تست کراس چغندر قند داشت. بین ۱۱ صفت مرتبط با تحمل به کم آبیاری که در این تحقیق بررسی گردید صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، ضریب قلیانیت، شکر قابل استحصال، عملکرد شکر سفید و ضریب استحصال شکر در اثر تنش کم آبیاری کاهش یافت. در حالی که تنش کم آبیاری باعث افزایش صفاتی از قبیل درصد قند، میزان سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره و قند ملاس شد. ژنوتیپ های مورد مطالعه در این تحقیق اختلاف کاملاً معنی دار از نظر همه صفات مورد مطالعه نشان دادند که بیانگر وجود تنوع کافی در بین آنها است. وجود

منابع

- Abdollahian Noghbi, M., Radaei-al-amoli, Z., Akbari, G.A., Sadat Nuri, S.A., 2011. Effect of sever water stress on morphological, quantitative and qualitative characteristics of 20 sugar beet genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences. 42, 453-464. [In Persian with English Summary].
- Abdollahian Noghbi, M., Sheikholeslami, R., Babaei, B., 2005. Terms and definitions of technological quantity and quality of sugar beet. Journal of Sugar Beet. 21, 101-104. [In Persian with English Summary].
- Ahmad, P., Jamsheed, S., Hameed, A., Saima, R., Sharma, S., Azooz, M.M., Hasanuzzaman, M. 2014. Drought Stress Induced. In: Ahmad, P. (ed.), Oxidative Damage and Antioxidants in Plants Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling, Drought Stress Induced Oxidative Damage and Antioxidants in Plants. Academic Press, Massachusetts, USA, pp. 345-367.
- Ahmadi, M., Majidi Heravan, E., Sadeghian, S.Y., Mesbah, M., Darvish, F., 2011. Drought tolerance variability in S1 pollinator lines

- developed from a sugar beet open population. *Euphytica*. 178, 339-349.
- Farshadfar, A., 2000. Principal and Method of Multivariate Statistic. University of Razi Kermanshah Press. [In Persian].
- Fazli, H., Sadeghian, S.Y., Mohammadian, R., 1998. Importance of quantitative and qualitative characters of sugar beet in breeding for drought tolerance. The 5th Iranian Crop Science Congress. Karaj. pp. 246-247. [In Persian].
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance, In: Kuo CG (Ed.), *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water-Stress*, VRDC, Shanhuah, Taiwan. pp. 257-270.
- Fotouhi, K., Ali Ahmad, J., Nourjou, A., Pedram, A., Khorshid, A., 2008. Irrigation management based on allowed water depletion at different growth stages of sugar beet in Miyandoab region. *Journal of Sugar Beet*. 24, 43-60. [In Persian with English Summary].
- Foroozesh, P., Majidi Heravan, E., Bihamta, M.R., Fatollah Taleghani, D., Habibi, D., 2012. Physiological evaluation of sugar beet genotypes under drought stress. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*. 12, 820-826.
- Gavuzzi, P.R., Palumbo, M., Campanile, R.G., Ricciarid, G.L., Borgh, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictor of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77, 523-531.
- Ghafari, E., Rajabi, A., Izadi Darbandi, A., Rozbeh, F., Amiri, R., 2016. Evaluation of new sugar beet monogerm hybrids for drought tolerance. *Journal of Crop Breeding*. 8, 8-16. [In Persian with English Summary].
- Hamidi, H., Ahmadi, M., Ramezanzpour, S., Masoumi, A., Khorramian, S., 2018. Estimation of heterosis and heritability of drought stress tolerance in test cross genotypes of sugar beet. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11, 275-288. [In Persian with English Summary].
- Hekamat Shoar, H., 1992. *Plant physiology in difficult situation*. Tabriz University Press. [In Persian with English Summary].
- Khajepur, M.R., 1998. *Industrial crops*. SID publishers. Industrial University of Isfahan. pp. 450. [In Persian with English Summary].
- Kheirabi J., 1995. Analysis of low irrigation. Define and explained. *Journal of Water, Soil and Machine*. 13, 16-24.
- Kirda, C., 2002. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: *Deficit Irrigation Practices*. FAO.
- Koocheiki, A., Soltani, A., 1996. *Sugar beet Agronomy*. Jihade-Daneshgahi Press of Mashhad. 200p. [In Persian].
- Koocheiki, A., Soltani, A., Azizi, M., 2003. *Plant ecophysiology*. Publications University of Mashhad. pp. 272. [In Persian].
- Mirzaee, M.R., and Rezvani, S.M.A., 2007. Effects of water deficit on quality of sugar beet at different growth stages. *Journal of Sugar Beet*. 23, 29-42. [In Persian with English Summary].
- Mohammadian, R., Sadeghian, S.Y., Moghadam, M., Rahimian, H., 2003. Evaluation of drought tolerance indices in determining sugar beet genotypes early season drought conditions. *Journal of Sugar Beet*. 18, 29-49. [In Persian with English Summary].
- Nasri, R., Kashani, A., Paknejad, F., Sadeghi-Shojae, M., Ghorbani, S., 2012. Correlation and path analysis of qualitative and quantitative yield in sugar beet in transplant and direct sowing methods in saline lands. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8, 213-226. [In Persian with English Summary].
- Nourjoo, A., Baghaee Kia, M., 2004. Study on the irrigation cut-off effects at different growth stages on quantity and quality of sugar beet in Khoy region. *Journal of Sugar Beet*. 20, 27-38. [In Persian with English Summary].
- Orazizadeh, M.R., Rajabi, A., Ahmadi, M., 2016. Selection of drought-tolerant half-sib families in sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 32, 1-12. [In Persian with English Summary].
- Oroojnia, S., Habibi, D., Taleghani, D.F., Safari Dolatabadi, S., Pazoki, A., Moaveni, P., Rahmani, M., Farshidi, M., 2012. Evaluation of yield and yield components of different sugar beet genotypes under drought stress. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8, 127-144. [In Persian with English Summary].
- Ouda Sohier, M.M., 2005. Yield and quality of sugar beet as affected by planting density and nitrogen fertilizer levels in the newly reclaimed soil. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 32, 701-715.

- Parvizi Almani, M., Abd-Mishani, C., Yazdi Samadi, B., 1997. Study on drought resistance in sugar beet genotypes. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 288, 15-25. [In Persian].
- Rajabi, A., Vahidi, H., Haj Seyed Hadi, M.R., Fathollah Taleghani, D., 2013. Study on drought tolerance and interrelationships among some agronomic and morphophysiological traits in sugar beet lines. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5, 761-768.
- Sadeghian, S.Y., Fazli, H., Mohammadian, R., Talaghani, D.F., Mesbah, M., 2000. Genetic variation for drought stress in sugar beet. *Journal of Sugar Beet Research*. 37, 55-77.
- Sadeghzadeh Hemayati, S., Fasahat, P., 2016. Evaluation of drought tolerance indices and their correlation in sugar beet lines. *Journal of Sugar Beet*. 32, 13-27. [In Persian with English Summary].
- Vazan, S., 2002. Study on the effect of drought stress on the rate of abscisic acid accumulation and other physiological traits in sugar beet. Ph.D thesis. Science and Research Branch of Islamic Azad University, Tehran. 212p. [In Persian].
- Westage, M., Boyer, J., 1985. Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize. *Planta*. 164, 459-540.
- Yan, W., Kang, M.S., 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC press, Florida, USA, 267p.



Original article

Evaluation of drought tolerance in sugar beet test cross hybrids under water deficit stress

H. Hamidi¹, S.S. Ramezanzpour^{2*}, M. Ahmadi³, H. Soltanloo²

1. Ph.D. Graduate of Plant Breeding, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3. Associate Professor, Sugar Beet Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

Received 10 February 2019; Accepted 6 April 2019

Abstract

This experiment was conducted to evaluate the drought tolerance of sugar beet test cross hybrids (57 hybrids) with seven controls including IR7, Mandarin, Jolgeh, Paya, Fatora, SC (7112*SB36) and origin population) in Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center in two separate experiments under field conditions with unbalanced lattice design (8×8) with four replications in 2016. Irrigation was done routinely up to the thinning. Subsequent irrigations were done after 90 mm and 200 mm evaporation from the class A evaporation pan in non-stress and water deficit stress conditions, respectively. In this research, traits such as root yield, sugar content, sugar yield, Na, K, N, alkalinity, molasses sugar, white sugar content, white sugar yield and extraction coefficient of sugar were measured. Combined analysis of variance showed that there was a significant difference ($p \leq 0.01$) among studied genotypes and different irrigation regimes for all traits. The highest white sugar yield in non-stress and water deficit stress conditions were observed in (7112*SB36)*S1-73 (13.34 ton.ha⁻¹) and Mandarin (9.37 ton.ha⁻¹), respectively. Correlation analysis revealed that the relationship between white sugar yield with root yield, sugar content, sugar yield, white sugar content and extraction coefficient of sugar was significantly positive in two conditions, while its correlation with Na, K, alkalinity and molasses sugar was significantly negative. According to the results of the stepwise regression analysis, more than 99 percent of white sugar yield variation was explained by sugar yield, extraction coefficient of sugar, root yield and sugar content in non-stress and drought stress conditions. Also the results showed that in non-stress, root yield (1.17) and in stress conditions, sugar yield (0.89) had the most direct effect on white sugar yield. Finally, (7112*SB36)*S1-73, (7112*SB36)*S1-66 and (7112*SB36)*S1-72, which were superior in terms of stress tolerance index (STI) and also in terms of yield traits in stress condition, were introduced as the most drought tolerant hybrids.

Keywords: Drought stress, Hybrid, Stress tolerance index, White sugar yield