تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸
۱۰۷۵-۱۰۸۹
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1769.1406

مقاله پژوهشی

بررسی تنوع ژنتیکی لاین‌های S_1 گرده‌افشان چغندرقند تحت شرایط تنش کم‌آبیاری

حسن حمیدی[۱]، سیده ساناز رمضانپور[۲*]، مسعود احمدی[۳]، حسن سلطانلو[۲]

۱. دانشجوی دکتری رشته‌ی 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. استادیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۰۳

چکیده

این تحقیق به‌منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی تعداد ۳۴ ژنوتیپ چغندرقند (۳۰ لاین S_1 گرده‌افشان به همراه سه رقم شاهد شکوفا، مطهر، پایا و جمعیت اصلاحی اولیه) تحت دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. آبیاری‌ها تا مرحله تنک و وجین (استقرار بوته‌ها) به‌طورمعمول انجام شد. آبیاری‌های بعدی در شرایط نرمال پس از ۹۰ میلی‌متر و در شرایط تنش پس از ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. در این پژوهش صفاتی از قبیل عملکرد ریشه، درصد قند ناخالص، عملکرد قند ناخالص، کلروفیل، شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص سطح برگ، اختلاف دمای برگ و محیط، محتوی آب نسبی برگ، وزن ویژه برگ، شاخص شادابی و نشت الکترولیتی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبیاری بین ژنوتیپ‌ها ازنظر کلیه صفات موردمطالعه اختلاف بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نیز نشان داد که ازنظر اکثر صفات بین ژنوتیپ‌های موردبررسی و رژیم‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. در شرایط آبیاری نرمال، رقم شاهد مطهر و در شرایط تنش کم‌آبیاری، لاین S_1-15 از بیشترین مقدار عملکرد قند ناخالص (به ترتیب ۹/۰۹ و ۵/۱۰ تن در هکتار) برخوردار بودند. مطالعه ضرایب همبستگی نشان داد که در شرایط نرمال و تنش، عملکرد ریشه با عملکرد قند ناخالص و شاخص پوشش گیاهی NDVI همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری، تجزیه به عامل‌ها منجر به شناسایی چهار عامل گردید که به ترتیب ۶۹/۵۵ و ۷۴/۷۵ درصد تغییرات کل را توجیه کردند. نتایج حاصله نشان داد که لاین S_1-15 را که ازلحاظ اغلب صفات مهم ازجمله عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص تحت شرایط تنش در سطح بالایی قرار داشت، می‌توان به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش کم‌آبیاری معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: **تنش کم‌آبیاری، ژنوتیپ، عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص**

مقدمه

اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاکم بر کشور، کشت و تولید گیاهان زراعی تحت شرایط تنش‌های محیطی (خشکی، شوری و گرمایی) را اجتناب‌ناپذیر نموده است. گیاهان زراعی عکس‌العمل‌های متفاوتی در مقابل این تنش‌ها از خود نشان می‌دهند. بروز هرکدام از تنش‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها منجر به کاهش تولید می‌شود. چغندرقند یکی از گیاهان متحمل به این تنش‌ها به شمار می‌آید (Mohammadian, 2005). گیاه چغندرقند 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 (Hekmat Shoar, 1992). یکی از راهکارهای افزایش کارایی مصرف آب، اصلاح و تولید ارقام چغندرقند متحمل به خشکی

* نگارنده پاسخگو: سیده ساناز رمضانپور. پست الکترونیک: ramezanpours@gau.ac.ir

است که حساسیت کمتری به تنش خشکی و تنش کمبود آب داشته و با کاهش مصرف آب و اعمال روش‌های کم‌آبیاری افت محصول کمتری چه ازنظر کمیت و چه ازنظر کیفیت داشته باشند (Sadeghian et al., 2000). در چغندرقند یکی از عکس‌العمل‌های درونی گیاه به کمبود آب، علاوه بر کاهش رشد، افزایش غلظت قند در ریشه است. در بررسی اثرات تنش خشکی در اوایل فصل رشد در چغندرقند مشاهده‌شده که اعمال تنش خشکی در این دوره از رشد غلظت قند را ۱ تا ۵ درصد افزایش می‌دهد اما محصول شکر به علت کاهش عملکرد ریشه و افزایش ناخالصی‌های آن تا ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند (AbdollahianNoghabi, 1999).

تنش خشکی از مشکلات عمده تولید چغندرقند در ایران و جهان است. لذا بهنژادگران چغندرقند به دنبال شناسایی شاخص‌ها و خصوصیاتی هستند که بتوان از آن‌ها در انتخاب و اصلاح ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود. بنابراین از متخصصین فیزیولوژی و زراعت چغندرقند انتظار می‌رود که با اعمال شرایط مشخص و تعریف‌شده تنش خشکی خصوصیات و پارامترهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی لاین های مختلف چغندرقند را طی فصل رشد موردمطالعه دقیق قرار داده و درنهایت همبستگی و ارتباط این پارامترها را با عملکرد کمی و کیفی چغندرقند مشخص نمایند. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که بین لاین‌ها و توده‌های چغندرقند ازلحاظ تحمل به خشکی تنوع ژنتیکی وجود دارد (Rajabi et al., 2013; Ahmadi et al., 2011).

وحیدی و همکاران (Vahidi et al., 2012) دو توده چغندرقند به نام‌های ۱۱۱ و ۱۱۰ در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی مزرعه مورد آزمایش قرار دادند آنان اظهار داشتند در شرایط تنش ازلحاظ عملکرد ریشه، عملکرد قند و صفات کیفی از قبیل درصد قند در دو توده موردمطالعه اختلاف معنی‌داری وجود داشت. تنش رطوبتی موجب کاهش عملکرد ریشه در ژنوتیپ‌های هر دو توده شد اما درصد قند هر دو توده در اثر تنش رطوبتی افزایش یافت. بلوچ و هافمن (Bloch and Hoffman., 2005) گزارش نمودند تنش کم‌آبی درصد قند ناخالص چغندرقند را افزایش داده اما مقدار ماده خشک و وزن ریشه را کاهش خواهد داد.

یکی از مکانیسم‌های گیاهان جهت مقاومت به خشکی کاهش پتانسیل اسمزی از طریق افزایش سنتز و تجمع کربوهیدرات‌هایی مانند ساکارز در شیره سلولی ریشه است که از این طریق پتانسیل اسمزی کمتر از پتانسیل اسمزی خاک شده و آب به داخل ریشه جریان پیدا می‌کند. البته چنین فرآیندی با صرف انرژی در گیاه همراه است و صرف این مقدار انرژی موجب کاهش رشد ریشه و درنتیجه کاهش عملکرد ریشه می‌شود (Rytter, 2005). اوراضی‌زاده و همکاران (Orazizadeh et al., 2016) با مطالعه تحمل به خشکی در فامیل‌های نیمه خواهری چغندرقند نشان دادند که بین فامیل‌ها ازنظر عملکرد شکر در دو آزمایش آبیاری نرمال و تنش خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. علاوه بر این به‌طور متوسط عملکرد شکر از ۱۵/۲۰ تن در هکتار در روش آبیاری نرمال به ۷/۱۰ تن در هکتار در تنش خشکی کاهش یافت. صادق زاده حمایتی و فصاحت (Sadeghzadeh Hemayati and Fasahat, 2016) با ارزیابی تحمل به خشکی ۳۶ ژنوتیپ چغندرقند در کمال شهر 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.

اسمیرنوف (Smirnoff, N. 1995) اظهار داشت تنش خشکی در مرحله اول رشد گیاه را کاهش داده، از رشد و توسعه برگ‌ها به‌واسطه کمبود آب و کاهش فشار تورژسانس ممانعت به عمل می‌آورد و در مرحله دوم فتوسنتز را به‌واسطه بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌دهد که درمجموع عوامل مذکور موجب کاهش عملکرد ریشه می‌شوند.

شاخص پوشش گیاهی NDVI به خصوصیات انعکاسی در باندهای سرخ و فروسرخ نزدیک است. این شاخص معرف سلامتی، شادابی و تراکم پوشش گیاهی است (Vina et al, 2011). شاخص مزبور برای نمایش توده زنده پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی بسیار مناسب است و در مسائل مرتبط با پوشش گیاهی مانند مدیریت‌های زراعی و آبی از آن استفاده می‌شود. دامنه تغییرات NDVI به‌صورت ۱+ و ۱- است و با افزایش پوشش گیاهی مقدار آن افزایش می‌یابد. کاهش اثر اتمسفری و توپوگرافی و همچنین تصحیح تغییرات تابش ورودی خورشید از قابلیت‌های این شاخص است (Nagler et al, 2001).

این تحقیق با هدف تعیین میزان تنوع ژنوتیپی لاین‌های S_1 گرده‌افشان چغندرقند در شرایط تنش کم‌آبیاری در مزرعه ازنظر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی انجام شد تا بتوان بر اساس نتایج آن الگویی برای مدیریت بهتر و مؤثرتر آب در مزارع ارائه کرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق (مشهد) طی دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از ۳۴ ژنوتیپ چغندرقند شامل ۳۰ لاین S_1 گرده‌افشان و سه رقم شاهد (شکوفا، مطهر و پایا) و جمعیت اصلاحی اولیه در سه تکرار انجام شد. لاین‌های موردمطالعه از یک توده مقاوم به خشکی (BP-Mashhad) و به‌صورت فامیل‌های فول سیب (S_1) تهیه شده بودند (Ahmadi et al., 2011). ارقام تجارتی شکوفا (رقم منوژرم) و مطهر (رقم پلی‌ژرم) به‌عنوان ارقام شاهد معمولی و رقم پایا به‌عنوان رقم شاهد مقاوم به خشکی استفاده شدند.

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

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physiochemical properties of the soil in the experimental site

عمق خاک	بافت خاک	درصد اشباع	هدایت الکتریکی		نیتروژن کل	پتاسیم قابل‌جذب	فسفر قابل‌جذب	کربن آلی
Soil depth	Soil texture	Saturation	EC	pH	N.tot	K.ava	P.ava	OC
		(%)	(dS/m)		(%)	(mg/kg)	(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

به‌منظور تعیین میزان تحمل ژنوتیپ‌های چغندرقند به تنش کم‌آبیاری، تعداد ۳۴ ژنوتیپ در دو شرایط آبیاری نرمال (۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و شرایط تنش کم‌آبیاری (۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) مورد ارزیابی قرار گرفتند (Ghafari et al., 2016). عملیات کاشت در ۷ اردیبهشت‌ماه با استفاده از بذرکار ردیفی صورت گرفت. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتیمتر، فاصله روی ردیف‌ها ۲۰ سانتیمتر (بعد از تنک) و عمق کاشت ۳-۲/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل دو خط با فاصله ۵۰ سانتی-متر و طول ۷ متر بود. در مرحله ۶-۴ برگی به‌منظور ایجاد تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار، گیاهچه‌های سبز شده تنک شدند. تا مرحله تنک و وجین (استقرار بوته‌ها) آبیاری به‌طورمعمول و به‌صورت نشتی با استفاده از سیفون انجام شد. آبیاری‌های بعدی تحت شرایط نرمال و تنش به ترتیب پس از ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. کوددهی (بر اساس آزمون خاک)، کنترل شیمیایی آفات و بیماری‌ها و وجین دستی علف‌های هرز به‌گونه‌ای انجام شد تا مزرعه عاری از هرگونه تنش کمبود عناصر غذایی و خسارت عوامل زنده محیطی باشد. عملیات برداشت در ۱۰ آبان ماه همان سال با استفاده از دستگاه چغندرکن پشت تراکتوری انجام شد. خطوط حاشیه‌ی آزمایش و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف گردید.

در این آزمایش عملکرد ریشه و برخی از صفات فیزیولوژیکی چغندرقند شامل درصد قند ناخالص، عملکرد قند ناخالص، کلروفیل، شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص سطح برگ، اختلاف دمای برگ و محیط، محتوی آب نسبی برگ، وزن ویژه برگ، شاخص شادابی و نشت الکترولیتی اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری درصد قند ریشه، از میان هر ردیف پنج ریشه (۱۰ ریشه در هر کرت) به‌تصادف انتخاب و با استفاده از دستگاه رفرکتومتر میزان قند موجود در هر ریشه اندازه گیری و ثبت شد. سپس درصد قند با استفاده از رابطه [۱] و عملکرد قند ناخالص (عملکرد شکر) با استفاده از رابطه [۲] محاسبه شد (Abdollahian Noghabi et al., 2005).

[۱] درصد قند =(عدد قرائت‌شده - 2.73) /1.03

[۲] عملکرد شکر = عملکرد ریشه × درصد قند

اندازه‌گیری کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج مدل SPAD-502 در نقطه وسط برگ پنج بوته چغندرقند از هر ردیف، در یک‌طرف رگبرگ اصلی پهنک‌برگ در مرحله ۱۵-۱۲ برگی انجام گرفت. همچنین برای اندازه-گیری شاخص پوشش گیاهی NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) از دستگاه GreenSeeker (Handheld Crop Sensor, Trimble,

India) استفاده شد. برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI)، سطح برگ گیاهانی که در یک مترمربع زمین قرار دارند را با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) اندازه‌گیری کرده و بر اندازه سطح زمین تقسیم گردید (Ahmadi, 2012). اندازه‌گیری دمای برگ توسط دماسنج مادون‌قرمز قابل‌حمل با گسیلندگی ۰/۹۴ بین ساعات ۱۵- ۱۱ روی ۱۰ برگ وسط ۱۰ بوته نماینده انجام گرفت. درزمان اندازه‌گیری دمای برگ، درجه حرارت محیط از واحد هواسنجی مستقر در ایستگاه و تفاوت دمای محیط و دمای برگ به‌عنوان شاخص خشکی برگ در زمان تنش منظور شد.

محتوی آب نسبی برگ (RWC) با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Barrs and Weatherly, 1962):

$$RWC= (FW–DW)/(TW–DW) \times 100 \quad [۳]$$

وزن ویژه برگ (SLW) از فرمول، (مجموع سطح برگ دیسک‌ها)/SLW = DW، شاخص شادابی (SUCI) از فرمول ۴ محاسبه شد:

$$SUCI= (DW – FW)/ \text{(مجموع سطح برگ دیسک‌ها)} \quad [۴]$$

در این محاسباتFW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ آماس کرده است.

نشت الکترولیتی برای هر تکرار و در هر سطح تیماری در جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته از هر بوته (پنج برگ از هر ردیف) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا در شیشه‌های درب دار ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته سپس از برگ‌ها دیسک هایی به قطر شش میلی‌متر تهیه و به تعداد ۱۵ دیسک در شیشه ریخته شد. در سه شیشه نیز آب مقطر (۱۰ میلی‌لیتر) ریخته و به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار داده و هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی اندازه‌گیری و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و پس از سرد شدن میزان هدایت الکتریکی آن‌ها را دوباره اندازه‌گیری کرده و نشت الکترولیتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Hu et al., 2009):

$$\text{نشت الکترولیتی} = (EC_0/EC_1)\times100 \quad [۵]$$

که در آن EC_0: هدایت الکتریکی محلول قبل از اتوکلاو و EC1: هدایت الکتریکی محلول بعد از اتوکلاو هستند.

تجزیه واریانس به‌صورت تجزیه مرکب دو محیط (عدم تنش و تنش کم‌آبیاری) انجام شد. تجزیه به عامل‌ها به‌منظور پیدا کردن علت وجود همبستگی و توصیف رابطه صفات برحسب تعداد کمتری شاخص یا عامل به روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد و عوامل به‌دست‌آمده با روش وریماکس دوران داده شدند.

پس از نمونه‌برداری و ثبت اطلاعات در برنامه Excel نسبت به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS v.9.1 اقدام شد. برای مقایسه میانگین صفات موردمطالعه از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد استفاده شد. با استفاده از ضرایب همبستگی بین صفات روابط آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. تجزیه به عامل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statgraphics18 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جداول ۲ و ۳). نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که ازنظر کلیه صفات بین ژنوتیپ‌های موردبررسی تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد (جدول ۴). همچنین بین رژیم‌های مختلف آبیاری ازنظر کلیه صفات به‌استثنای وزن ویژه برگ تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. علاوه بر این اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای تمامی صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، این بدین مفهوم است که ژنوتیپ-های مختلف در دو شرایط محیطی (آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری) مختلف واکنش متفاوتی نشان داده‌اند؛ به‌عبارت‌دیگر پاسخ ژنوتیپ‌ها به دو محیط یکسان نیست. به دلیل اثرات متقابل شدید 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 به‌طورمعمول، ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان سازگار شناخته می‌شوند که واریانس اثر متقابل آن‌ها با محیط اندک باشد (Yan and Kang, 2002)؛ بنابراین ازنظر عملکرد کمی و کیفی بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه، تنوع ژنتیکی کافی وجود دارد. لذا با توجه به تنوع موجود می‌توان به لاین‌های با عملکرد بالا دسترسی پیدا کرد. سایر محققین نیز وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های چغندرقند تحت شرایط تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Abdollahian Noghabi et al., 2011; Rajabi et al., 2013; Sadeghzadeh Hemayati et al., 2017; Hamidi et al., 2018).

مقایسه ژنوتیپ‌ها ازلحاظ عملکرد ریشه نشان داد که لاین S_1-45 (۴۷/۲۹ تن در هکتار) در شرایط نرمال و S_1-3 (۲۵/۶۲ تن در هکتار) در شرایط تنش کم‌آبیاری دارای بیشترین عملکرد ریشه بودند به‌طوری‌که لاین‌های مذکور برتری معنی‌داری نسبت به رقم شاهد مقاوم پایا نشان دادند. بیشترین درصد قند در شرایط نرمال و تنش کم‌آبیاری نیز به ترتیب در لاین‌های S_1-7 (۲۱/۳۸ درصد) و S_1-10 (۲۳/۷۵ درصد) وجود داشت. بیشترین میزان عملکرد قند ناخالص در شرایط آبیاری نرمال ۹/۰۹ تن در هکتار در رقم شاهد مطهر بود درصورتی‌که بیشترین میزان عملکرد قند ناخالص در شرایط تنش کم‌آبیاری ۵/۱۰ تن در هکتار در لاین S_1-15 بود. رقم شاهد مطهر و لاین S_1-80 دارای بیشترین میزان کلروفیل به ترتیب در شرایط نرمال و تنش کم‌آبیاری بودند.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط آبیاری نرمال در مزرعه

Table 2. Results of analysis of variance (mean squares) of yield and physiological traits of different sugar beet genotypes under normal irrigation in field condition

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد ریشه Root yield	درصد قند Sugar content	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	کلروفیل Chlorophyll	شاخص پوشش گیاهی NDVI
Replication	تکرار	2	3.622 ns	0.654 ns	0.443 ns	0.247 ns	0.0008 ns
Genotype	ژنوتیپ	33	122.887**	5.066 **	4.967 **	117.115 **	0.008 **
Error	خطای آزمایش	66	2.958	0.207	0.159	0.289	0.0009
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		*5.07*	*2.39*	*6.18*	*1.94*	*4.56*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V.	منابع تغییرات	شاخص سطح برگ Leaf Area Index	اختلاف دمای برگ و محیط Leaf–air temperature difference	محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content	وزن ویژه برگ Specific leaf weight	شاخص شادابی Succulence index	نشت الکترولیتی Electrolyte leakage
Replication	تکرار	0.128 ns	0.790 ns	0.149 ns	0.020 ns	0.069 ns	0.427 ns
Genotype	ژنوتیپ	1.066 **	1.453 **	34.184 **	1.820**	125.209 **	41.820 **
Error	خطای آزمایش	0.0166	0.1218	0.455	0.057	0.923	0.317
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)	*4.39*	*5.09*	*4.39*	*3.81*	*2.10*	*1.47*

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and**: No significant and significant at 1%, Respectively

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط تنش کم‌آبیاری در مزرعه

Table 3. Results of analysis of variance (mean squares) of yield and physiological traits of different sugar beet genotypes under water deficit stress in field condition

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد ریشه Root yield	درصد قند Sugar content	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	کلروفیل Chlorophyll	شاخص پوشش گیاهی NDVI
Replication	تکرار	2	0.432 ns	0.039 ns	0.017 ns	0.265 ns	0.0001 ns
Genotype	ژنوتیپ	33	53.628**	7.819 **	2.450 **	114.482 **	0.009 **
Error	خطای آزمایش	66	1.283	0.202	0.072	0.194	0.0008
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		*7.36*	*2.15*	*8.34*	*1.51*	*5.04*

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

S.O.V.	منابع تغییرات	شاخص سطح برگ Leaf Area Index	اختلاف دمای برگ و محیط Leaf–air temperature difference	محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content	وزن ویژه برگ Specific leaf weight	شاخص شادابی Succulence index	نشت الکترولیتی Electrolyte leakage
Replication	تکرار	0.003 ns	0.735 ns	0.022 ns	0.0009 ns	2.788 ns	0.886 ns
Genotype	ژنوتیپ	0.378 **	2.264 **	33.307 **	3.489**	233.984 **	31.807 **
Error	خطای آزمایش	0.002	0.187	0.384	0.068	2.612	1.544
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)	*2.99*	*17.91*	*0.87*	*4.17*	*3.90*	*3.05*

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and**: No significant and significant at 1%, Respectively

جدول ۴. نتایج تجزیه مرکب (میانگین مربعات) عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت تنش کم‌آبیاری

Table 4. Results of combined analysis (mean squares) for yield and physiological traits of different sugar beet genotypes under water deficit stress

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد ریشه Root yield	درصد قند Sugar content	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	کلروفیل Chlorophyll	شاخص پوشش گیاهی NDVI
Location	محیط	1	17467.7 **	187.33 **	531.30 **	120.137 **	0.968 **
Replication (Location)	تکرار (محیط)	4	2.027	0.346	0.229	0.256	0.0005
Genotype	ژنوتیپ	33	116.358 **	7.586 **	4.521 **	179.768 **	0.009 **
Location × Genotype	ژنوتیپ × محیط	33	60.157**	5.299 **	2.896 **	51.827 **	0.008 **
Error	اشتباه آزمایشی	132	2.120	0.204	0.115	0.241	0.0009
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		5.91	2.26	7.03	1.73	4.78

جدول ۴. ادامه

Table 4. Continued

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ Leaf Area Index	اختلاف دمای برگ و محیط Leaf–air temperature difference	محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content	وزن ویژه برگ Specific leaf weight	شاخص شادابی Succulence index	نشت الکترولیتی Electrolyte leakage
Location	محیط	1	102.992 **	1007.57 **	1402.906 **	0.015 ns	995.738 **	324.828 **
Replication (Location)	تکرار (محیط)	4	0.0659	0.763	0.085	0.010	1.428	0.657
Genotype	ژنوتیپ	33	0.576 **	2.070 **	39.680 **	2.218 **	215.888 **	30.357 **
Location × Genotype	ژنوتیپ×محیط	33	0.868 **	1.647 **	27.810 **	3.091**	143.305 **	43.271 **
Error	اشتباه آزمایشی	132	0.009	0.154	0.419	0.062	1.768	0.931
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		4.34	8.48	0.87	3.99	3.05	2.44

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**: Significant at 1%.

بالاترین مقادیر شاخص پوشش گیاهی NDVI مشترکاً در لاین‌های S_1-13 و S_1-71 در شرایط نرمال به میزان ۰/۷۷ مشاهده شد درحالی‌که رقم شاهد مطهر دارای بیشترین میزان شاخص پوشش گیاهی NDVI (۰/۶۸) در شرایط تنش کم‌آبیاری بود. در لاینS_1-10 بالاترین مقادیر شاخص سطح برگ در شرایط نرمال به میزان ۴/۲۶ مشاهده شد درحالی‌که

لاینS_1-8 دارای بیشترین میزان شاخص سطح برگ (۲/۳۲) در شرایط تنش کم‌آبیاری بود. در شرایط نرمال و تنش کم‌آبیاری، بیشترین اختلاف دمای برگ و محیط در لاین‌های S_1-81 و S_1-70 به ترتیب به میزان ۸/۶۷ و ۴/۵۰ درجه سانتی‌گراد وجود داشت. بیشترین محتوی آب نسبی برگ در شرایط نرمال و تنش کم‌آبیاری در لاین S_1-94 و جمعیت اصلاحی اولیه به ترتیب به میزان ۸۲/۰۷ و ۷۹/۸۶ درصد وجود داشت. ازلحاظ وزن ویژه برگ، لاین‌های S_1-37 و S_1-15 به ترتیب در شرایط نرمال (۸/۶۲ میلی‌گرم بر

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری

Table 5. Mean comparison of yield and physiological traits 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 قند ناخالص Sugar yield (t.ha^{-1})		کلروفیل Chlorophyll (SPAD)		شاخص پوشش گیاهی NDVI		شاخص سطح برگ Leaf Area Index	
	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress
S1-21	29.42	13.72	18.50	22.00	5.44	3.02	17.55	22.30	0.66	0.45	1.95	1.40
S1-7	32.00	11.17	21.38	20.75	6.84	2.32	16.70	20.55	0.73	0.46	2.67	1.23
S1-64	30.71	15.43	16.00	21.25	4.91	3.28	28.65	33.50	0.69	0.53	3.20	1.92
S1-32	36.29	12.57	21.25	21.25	7.71	2.67	30.10	35.80	0.74	0.44	3.65	1.37
S1-10	37.86	10.43	19.75	23.75	7.48	2.48	20.90	22.00	0.69	0.58	4.26	0.88
S1-80	34.71	20.71	20.75	18.63	7.20	3.86	38.25	46.45	0.76	0.60	3.03	2.05
S1-57	31.43	17.00	20.00	23.25	6.29	3.95	35.10	31.20	0.74	0.55	2.81	1.16
S1-44	37.76	18.86	16.92	18.50	6.39	3.49	34.15	28.10	0.69	0.53	2.11	1.40
S1-95	30.71	18.00	21.00	22.00	6.45	3.96	22.95	22.95	0.73	0.56	2.85	1.65
S1-96	36.29	11.57	18.88	23.25	6.85	2.69	18.90	25.40	0.63	0.57	3.28	1.46
S1-94	23.29	9.43	19.75	20.75	4.59	1.96	22.75	25.43	0.72	0.43	2.88	1.62
S1-89	33.86	12.71	19.13	22.13	6.48	2.81	33.25	26.95	0.74	0.54	3.56	1.42
S1-6	37.71	15.00	19.75	19.50	7.45	2.92	22.65	29.10	0.71	0.53	3.01	1.55
S1-45	47.29	18.57	19.00	21.75	8.98	4.04	26.15	21.90	0.74	0.57	2.74	1.58
S1-15	29.52	24.04	19.00	21.25	5.60	5.10	28.90	31.90	0.65	0.57	2.28	2.03
S1-26	31.71	13.29	18.50	19.75	5.87	2.62	19.40	27.25	0.63	0.53	2.41	1.74
S1-81	36.00	11.43	20.63	20.00	7.43	2.28	23.75	35.40	0.67	0.58	3.00	1.41
S1-86	25.29	21.00	18.38	20.88	4.65	4.38	24.75	21.70	0.59	0.58	3.90	1.06
S1-82	42.19	10.00	18.50	18.13	7.80	1.81	26.00	20.75	0.73	0.62	4.24	1.89
S1-37	25.57	10.57	18.00	21.25	4.60	2.24	32.10	21.20	0.68	0.56	2.36	1.37
S1-70	42.14	16.86	16.50	17.08	6.96	2.88	30.90	32.80	0.71	0.66	2.24	1.23
S1-39	31.14	14.00	19.75	19.88	6.15	2.78	31.40	31.45	0.69	0.52	2.60	0.98
S1-3	39.95	25.62	17.83	20.08	7.12	5.15	24.90	33.50	0.69	0.62	2.97	1.94
S1-13	37.76	18.76	18.08	20.33	6.83	3.82	34.90	30.25	0.77	0.57	3.84	1.28
S1-8	37.38	18.10	18.17	19.75	6.80	3.58	27.45	31.35	0.68	0.60	2.17	2.32
S1-55	19.86	10.71	18.25	21.17	3.62	2.27	37.45	30.35	0.63	0.50	3.05	1.11
S1-31	25.14	11.29	19.13	19.25	4.81	2.17	21.55	25.65	0.63	0.58	3.43	1.42
S1-20	27.71	11.43	18.50	20.63	5.13	2.36	20.45	28.50	0.62	0.51	3.12	1.42
S1-63	27.86	14.14	18.50	23.75	5.15	3.37	32.80	28.75	0.55	0.57	2.71	1.57
S1-71	35.38	12.95	20.08	21.58	7.12	2.80	25.15	22.45	0.68	0.56	3.02	1.16
Motahar	46.86	19.21	19.38	22.25	9.09	4.27	41.00	36.50	0.77	0.68	2.14	1.89
Shokoufa	33.57	17.57	17.63	22.25	5.92	3.91	32.60	36.60	0.70	0.53	2.33	1.14
Paya	39.43	21.00	18.75	23.25	7.40	4.88	28.05	40.95	0.68	0.56	2.78	2.19
Original Population	38.71	16.14	20.75	20.25	8.04	3.27	26.55	31.35	0.72	0.53	3.22	1.64
میانگین Mean	33.90	15.39	19.01	20.93	6.45	3.22	27.59	29.13	0.69	0.55	2.93	1.51
LSD 0.05	*2.804*	*1.846*	*0.741*	*0.732*	*0.649*	*0.438*	*0.876*	*0.718*	*0.051*	*0.045*	*0.210*	*0.074*
LSD 0.01	*3.725*	*2.453*	*0.985*	*0.973*	*0863*	*0.582*	*1.164*	*0.953*	*0.068*	*0.060*	*0.279*	*0.098*

جدول ۵. ادامه **Table 5. Continued**

ژنوتیپ Genotype	اختلاف دمای برگ و محیط Leaf–air temperature difference		محتوی آب نسبی برگ Leaf relative water content (%)		وزن ویژه برگ Specific leaf weight ($mg.cm^{-2}$)		شاخص شادابی Succulence index ($mg.cm^{-2}$)		نشت الکترولیتی Electrolyte leakage (%)	
	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress
S1-21	6.67	2.83	72.54	67.40	5.54	5.93	44.72	35.35	28.94	38.83
S1-7	6.33	1.50	74.57	71.27	5.31	6.67	35.76	40.26	37.64	40.78
S1-64	6.00	1.83	75.47	65.24	5.79	5.63	44.93	38.84	37.26	42.60
S1-32	7.17	1.50	78.49	74.85	5.13	6.96	42.57	44.75	42.56	39.12
S1-10	7.67	2.33	74.12	64.83	6.44	5.84	43.54	33.66	41.49	29.30
S1-80	6.83	0.83	79.49	71.14	6.18	6.62	51.46	51.96	31.68	42.67
S1-57	6.00	2.50	73.07	72.24	6.69	8.19	44.43	48.79	40.49	44.35
S1-44	7.11	3.00	79.88	73.94	6.92	5.37	48.42	38.44	43.46	41.76
S1-95	7.50	3.33	78.31	69.65	5.14	5.54	34.44	33.74	40.34	38.12
S1-96	6.83	2.33	78.27	71.68	6.02	5.47	48.74	36.17	37.78	42.37
S1-94	6.17	2.17	82.07	70.99	6.42	5.55	49.79	33.38	40.66	37.69
S1-89	7.83	3.17	81.37	73.97	7.20	6.01	49.74	36.30	37.57	43.73
S1-6	7.17	1.50	72.51	73.65	6.82	6.13	47.05	46.23	33.21	34.65
S1-45	5.83	3.50	77.52	65.28	4.92	5.43	44.85	33.66	34.25	45.40
S1-15	7.89	1.83	80.42	74.08	5.79	9.87	44.45	69.03	41.24	36.04
S1-26	7.00	1.67	72.07	69.16	6.52	5.75	43.53	40.98	37.14	42.90
S1-81	8.67	1.17	72.43	71.67	5.45	7.00	43.11	47.38	39.49	39.54
S1-86	5.83	1.00	74.58	66.01	7.00	5.10	43.85	27.69	40.27	38.51
S1-82	6.00	1.83	72.24	67.75	5.75	4.54	39.53	29.80	30.48	41.20
S1-37	6.67	2.67	77.21	67.67	8.62	5.05	54.71	30.98	37.40	43.09
S1-70	8.11	4.50	78.86	73.13	7.16	6.08	51.08	54.70	38.10	38.91
S1-39	6.50	2.00	79.57	67.92	7.17	6.13	45.14	33.69	38.70	43.93
S1-3	6.89	2.50	74.07	69.76	5.91	4.84	38.77	29.15	36.32	44.46
S1-13	6.78	1.83	78.65	73.33	5.98	6.45	53.55	38.35	37.05	42.73
S1-8	6.78	3.00	73.01	75.40	6.04	6.80	45.89	49.11	41.53	40.48
S1-55	7.50	3.83	79.06	69.74	7.17	5.19	52.30	43.10	40.39	42.74
S1-31	6.33	1.67	70.20	69.70	5.81	6.17	33.63	38.02	41.58	37.30
S1-20	6.17	3.17	80.96	73.47	5.78	6.47	56.80	47.11	40.34	41.51
S1-63	6.50	2.17	80.09	73.03	7.06	6.30	65.93	47.15	40.80	43.05
S1-71	7.56	2.33	75.00	72.07	5.69	6.11	43.57	41.58	34.08	41.51
Motahar	6.50	2.67	79.31	72.38	6.82	7.19	44.20	45.34	46.32	41.89
Shokoufa	6.17	4.00	71.18	72.94	6.47	8.07	42.96	52.58	35.13	43.92
Paya	7.17	2.83	76.88	73.81	5.72	7.54	39.45	38.97	39.32	40.15
Original Population	7.00	3.00	73.88	79.86	6.22	7.25	45.52	51.97	36.69	40.27
میانگین Mean	6.86	2.41	76.39	71.15	6.25	6.27	45.84	41.42	38.23	40.75
LSD 0.05	*0.569*	*0.704*	*1.099*	*1.010*	*0.388*	*0.426*	*1.566*	*2.635*	*0.918*	*2.027*
LSD 0.01	*0.756*	*0.936*	*1.461*	*1.342*	*0.516*	*0.566*	*2.081*	*3.500*	*1.219*	*2.692*

سانتیمترمربع) و تنش کم‌آبیاری (۹/۸۷ میلی‌گرم بر سانتیمترمربع) دارای بیشترین مقدار بودند. لاین‌های S_1-63 و S_1-15 دارای بیشترین میزان شاخص شادابی به ترتیب در شرایط نرمال (۶۵/۹۳ میلی‌گرم بر سانتیمترمربع) و تنش کم‌آبیاری (۶۹/۰۳ میلی‌گرم بر سانتیمترمربع) بودند. رقم شاهد مطهر در شرایط آبیاری نرمال دارای بیشترین میزان نشت الکترولیتی (۴۶/۳۲ درصد) بود درحالی‌که در اینشرایط، لاین S_1-21 دارای کمترین میزان نشت الکترولیتی (۲۸/۹۴ درصد) بود. در شرایط تنش کم‌آبیاری، لاین S_1-45 دارای بیشترین میزان نشت الکترولیتی (۴۵/۴۰ درصد) و لاین S_1-10 دارای کمترین میزان نشت الکترولیتی (۲۹/۳۰ درصد) بود (جدول ۶). به‌طورکلی نتایج حاصل از مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها (جدول ۵) نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبیاری نسبت به شرایط آبیاری نرمال برخی از صفات نظیر عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص سطح برگ، اختلاف دمای برگ و محیط، محتوی آب

نسبی برگ و شاخص شادابی به ترتیب به میزان ۵۴/۶۰، ۵۰/۰۷، ۲۰/۱۲، ۴۸/۴۲، ۶۴/۸۲، ۶/۸۷ و ۹/۶۴ درصد کاهش یافتند. درحالی‌که صفاتی از قبیل درصد قند، میزان کلروفیل، وزن ویژه برگ و نشت الکترولیتی در شرایط تنش کم‌آبیاری نسبت به شرایط آبیاری نرمال به ترتیب معادل ۱۰/۰۸، ۵/۵۶، ۰/۲۸ و ۶/۶۰ درصد افزایش یافتند.

نتایج تحقیقات فتوحی و همکاران (Fotouhi et al., 2008) و اوراضی‌زاده و همکاران (Orazizadeh et al., 2016) نیز نشان‌دهنده کاهش عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص چغندرقند در اثر تنش کم‌آبیاری است. در شرایط تنش خشکی، گیاه به‌سختی می‌تواند آب را از خاک جذب نماید، درنتیجه آب موردنیاز به‌طور کامل تأمین نمی‌شود و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه مختل شده و منجر به کاهش محصول می‌گردد. میلفورد و همکاران (Milford et al., 1985) بیان داشتند که تفاوت عملکرد بین شرایط آبیاری (نرمال و تنش) مربوط به کاهش فشار پتانسیل، هدایت روزنه‌ای و میزان آب نسبی برگ در شرایط تنش است که به علت کاهش رشد سلول‌ها و درنهایت کاهش رشد برگ‌ها و ریشه می‌گردد. هافمن (Hoffmann, 2005) نتیجه گرفت که تنش خشکی ازنظر فیزیولوژیکی ذخیره و تجمع کربوهیدرات‌ها و فتوآسمیلات‌ها را در ریشه محدود می‌نماید.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اعمال تنش کم‌آبیاری منجر به افزایش درصد قند گردید. افزایش درصد قند بر اثر اعمال تنش کم‌آبیاری 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. افزایش در مقادیر ساکارز و هگزوز به نظر می‌رسد به خاطر افزایش هیدرولیز نشاسته و سنتز ساکارز باشد. تجمع ساکارز و هگزوز به‌منظور ایفای نقش اسمزی در این گونه‌ها انجام می‌شود (Westage and Boyer, 1985). علاوه بر این احمدی (Ahmadi, 2012) با مطالعه و ارزیابی خصوصیات مرتبط با تحمل به کم‌آبیاری در توده اصلاحی چغندرقند نشان داده است که تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، شاخص سطح برگ، اختلاف دمای برگ و محیط، محتوی آب نسبی برگ و شاخص شادابی می‌گردد.

در تحقیق حاضر در شرایط تنش کم‌آبیاری محتوای کلروفیل برگ چغندرقند افزایش یافت که با نتایج تحقیقات نادعلی و همکاران (Nadali et al., 2014) مطابقت دارد. با توجه به اینکه خشکی سبب کوچک شدن سلول‌ها و برگ‌ها می‌شود و مقدار سلول‌ها در سطح برگ نمونه‌برداری در این حالت بیشتر است، پس افزایش مقدار کلروفیل منطقی به نظر می‌رسد (Nadali et al., 2010).

با توجه به نتایج حاصله، تنش کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ گردید که با مطالعات سایر محققین مطابقت دارد. محققین بیان کرده‌اند که تنش خشکی از طریق کاهش تولید و رشد برگ‌ها (Cakir, 2004) و افزایش پیری آن‌ها (Wolf et al., 1988) شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد.

درجه حرارت هوا یکی از پارامترهای مهم در تعیین نوع و شدت فعالیت‌های گیاه است و گیاهان بسته به برخی خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک خود پتانسیل‌های متفاوتی برای جذب درجه حرارت هوا دارند (Koccheki, 1996). هر چه سطح برگ و به دنبال آن، نسبت سطح برگ و سطح ویژه برگ بیشتر باشند، به دلیل بالا بودن سطح تعرق‌کننده، دمای برگ نسبت به دمای محیط بیشتر کاهش می‌یابد. در مقابل، بسته شدن روزنه برای مدت طولانی باعث افزایش دمای برگ دمای می‌شود (Kashiwagi et al., 2008). در تحقیق حاضر نیز با توجه به کاهش سطح برگ در اثر تنش کم‌آبیاری، اختلاف دمای برگ و محیط کاهش یافته است.

محتوای نسبی آب برگ معیاری از مقاومت به خشکی است. در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. (Bahavar et al., 2009). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان‌دهنده کاهش محتوی نسبی آب برگ چغندرقند در اثر تنش کم‌آبیاری است.

رینالدی (Rinaldi, 2003) گزارش کرد که اختلاف‌های معنی‌داری ازنظر وزن ویژه برگ در شرایط بدون تنش و شرایط کم‌آبیاری وجود دارد و تنش باعث افزایش وزن ویژه برگ می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. وزن ویژه برگ به‌وسیله محیط و مرحله رشد تحت تأثیر قرار می‌گیرد لذا وسیله مفیدی برای مشخص کردن تکامل دستگاه فتوسنتزی گیاهان زراعی است. تحقیقات متعدد در تیپ‌های مختلف گیاهی نشان داده است که وزن ویژه برگ ارتباط نزدیکی با مقدار نیتروژن برگ و ظرفیت فتوسنتزی دارد (Pierce et al., 1994).

میزان هدایت الکتریکی در محیط آبی خسارت تنش خشکی و یا تنش گرمایی را به غشاء سلولی نشان می‌دهد و میزان پایداری غشاء سلولی به‌خوبی با تحمل سایر فرآیندهای گیاهی به تنش ازجمله فتوسنتز مرتبط است و به‌عنوان شاخصی از تحمل به تنش ارائه شده است (Sairam et al., 2002). خزاعی (Khazaie, 2002) گزارش کرده است که میزان صدمه به غشاهای سلولی بر اثر تنش خشکی ممکن است از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها از سلول سنجیده شود، ایشان همچنین خاطرنشان نموده است که در شرایط تنش رطوبتی، پایداری غشاء سلولی جزء اصلی تحمل به تنش خشکی در گندم است. در طی بررسی اثر تنش خشکی بر روی چهار رقم سورگوم مشخص شد که میزان پایداری غشا پلاسمایی در بین ارقام مختلف متفاوت بود و با افزایش تنش آب کاهش یافت و نیز مشخص شد که پایداری غشا سیتوپلاسمی تحت تأثیر میزان موم اپی کوتیکولی، ضخامت کوتیکول و پتانسیل آب برگ‌ها قرار گرفت (Premachandra et al., 1992). در تحقیق حاضر نیز نشت الکترولیتی در اثر تنش کم‌آبیاری در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند افزایش یافت (جدول ۵). ضرایب همبستگی صفات موردمطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری در جدول ۶ نشان داده شده است. مقایسه ضرایب همبستگی در شرایط آبیاری نرمال نشان داد که بین عملکرد ریشه و صفاتی از قبیل عملکرد قند ناخالص ($r=۰/۹۴^{**}$) و شاخص پوشش گیاهی NDVI ($r=۰/۵۵^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. لازم به ذکر است که در این شرایط بین عملکرد ریشه و سایر صفات موردمطالعه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). در شرایط تنش کم‌آبیاری، بین عملکرد ریشه و صفاتی نظیر عملکرد قند ناخالص ($r=۰/۹۶^{**}$)، کلروفیل ($r=۰/۴۶^{**}$)، شاخص پوشش گیاهی NDVI ($r=۰/۴۳^{*}$)، شاخص سطح برگ ($r=۰/۴۴^{**}$) و وزن ویژه برگ ($r=۰/۳۳^{*}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت اما بین عملکرد ریشه و سایر صفات موردبررسی همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۶).

جدول ۶. ضرایب همبستگی صفات موردمطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط آبیاری نرمال (بالای قطر اصلی ماتریس) و تنش کم‌آبیاری (پایین قطر اصلی ماتریس)

Table 6. Correlation coefficients of studied traits in different genotypes of sugar beet under normal irrigation (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
1	عملکرد ریشه Root yield	-	0.01^{ns}	0.94^{**}	0.12^{ns}	0.55^{**}	0.01^{ns}	0.12^{ns}
2	درصد قند Sugar content	-0.05^{ns}	-	0.36^{*}	-0.19^{ns}	0.30^{ns}	0.21^{ns}	0.17^{ns}
3	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	0.96^{**}	0.22^{ns}	-	0.05^{ns}	0.61^{**}	0.08^{ns}	0.17^{ns}
4	کلروفیل Chlorophyll	0.46^{**}	-0.11^{ns}	0.42^{*}	-	0.32^{ns}	-0.15^{ns}	0.03^{ns}
5	شاخص پوشش گیاهی NDVI	0.43^{*}	-0.18^{ns}	0.37^{*}	0.20^{ns}	-	0.06^{ns}	0.02^{ns}
6	شاخص سطح برگ LAI	0.44^{**}	-0.16^{ns}	0.40^{*}	0.40^{*}	0.29^{ns}	-	-0.06^{ns}
7	اختلاف دمای برگ و محیط Leaf–air temperature difference	0.05^{ns}	0.12^{ns}	0.08^{ns}	-0.04^{ns}	0.09^{ns}	-0.11^{ns}	-
8	محتوی آب نسبی برگ Leaf relative water content	0.17^{ns}	-0.10^{ns}	0.14^{ns}	0.43^{*}	-0.04^{ns}	0.23^{ns}	0.17^{ns}
9	وزن ویژه برگ Specific leaf weight	0.33^{*}	0.23^{ns}	0.40^{*}	0.51^{**}	-0.01^{ns}	0.16^{ns}	-0.02^{ns}
10	شاخص شادابی Succulence index	0.25^{ns}	-0.09^{ns}	0.22^{ns}	0.55^{**}	0.10^{ns}	0.21^{ns}	0.10^{ns}
11	نشت الکترولیتی Electrolyte leakage	0.16^{ns}	-0.01^{ns}	0.16^{ns}	0.20^{ns}	0.06^{ns}	0.10^{ns}	0.21^{ns}

جدول ۶. ادامه

Table 6. Continued

		8	9	10	11
1	عملکرد ریشه **Root yield**	-0.10^{ns}	-0.28^{ns}	-0.21^{ns}	-0.14^{ns}
2	درصد قند **Sugar content**	-0.02 ^{ns}	-0.35*	-0.31^{ns}	0.03^{ns}
3	عملکرد قند ناخالص **Sugar yield**	-0.11 ^{ns}	-0.38*	-0.29^{ns}	-0.12^{ns}
4	کلروفیل **Chlorophyll**	0.41*	0.46**	0.39*	0.25^{ns}
5	شاخص پوشش گیاهی **NDVI**	0.09^{ns}	-0.18^{ns}	-0.28^{ns}	-0.15^{ns}
6	شاخص سطح برگ **LAI**	-0.09^{ns}	-0.17^{ns}	-0.10^{ns}	-0.08^{ns}
7	اختلاف دمای برگ و محیط **Leaf–air temperature difference**	0.13ns	0.02^{ns}	0.01^{ns}	0.13^{n}s
8	محتوی آب نسبی برگ **Leaf relative water content**	-	0.21^{ns}	0.55**	0.35*
9	وزن ویژه برگ **Specific leaf weight**	0.55**	-	0.53**	0.18^{ns}
10	شاخص شادابی **Succulence index**	0.63**	0.81**	-	0.04^{ns}
11	نشت الکترولیتی **Electrolyte leakage**	0.05^{ns}	-0.11^{ns}	-0.08^{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.

اصلاح برای صفات عملکرد در شرایط تنش کم‌آبیاری، کاری بسیار پیچیده و مشکل است. بررسی ارتباط این صفت با صفات دیگر و یافتن صفات دارای همبستگی بالا با عملکرد و وراثت‌پذیری بالا درعین‌حال دارای هزینه کم می‌تواند به گزینش ارقام برتر در شرایط تنش کمک شایانی نماید (Abdollahian Noghabi et al., 2011). ازاین‌رو صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص سطح برگ و وزن ویژه برگ در این آزمایش به‌عنوان صفات مؤثر در گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌باشند که می‌توانند در گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط تنش کم‌آبیاری کمک نمایند. نتایج تحقیقات محمدیان (Mohamadian, 2001) نشان داده است که تنوع ژنتیکی برای اختلاف دمای برگ و محیط در چغندرقند وجود دارد اما این تنوع باتحمل به کم‌آبیاری یا عملکرد در شرایط تنش همبستگی معنی‌داری نداشته است.

تجزیه به عامل‌ها جهت کاهش تعداد متغیرهای اولیه، توصیف و تشریح تنوع کل موجود در یک جامعه و تبیین سهم صفات در تنوع کل استفاده می‌شود. برای تهیه ماتریس ضرایب عاملی، آن تعداد از عامل‌ها که ریشه مشخصه آن‌ها بزرگ‌تر از یک بود، انتخاب شدند. در هر عامل اصلی، ضرایب عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ به‌عنوان عامل معنی‌دار در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه به عامل‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری به ترتیب در جداول ۷ و ۸ نشان داده شده است. در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری، تجزیه به عامل‌های اصلی بر اساس میانگین صفات، چهار عامل را مشخص کرد که به ترتیب مجموعاً ۶۹/۵۵ و ۷۴/۷۵ درصد از تنوع موجود بین داده‌ها را توجیه نمودند (جداول ۷ و ۸). در شرایط آبیاری نرمال، عامل اول ۳۰/۷۶ درصد از تغییرات را توجیه کرد و دارای بزرگ‌ترین ضریب‌های عاملی بر روی صفاتی نظیر میزان کلروفیل، وزن ویژه برگ و شاخص شادابی است. در عامل دوم صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و شاخص پوشش گیاهی NDVI در جهت مثبت مؤثر هستند که این عامل ۱۸/۸۴ درصد از تغییرات را توجیه کرد. در عامل سوم صفاتی نظیر محتوی آب نسبی برگ، اختلاف دمای برگ و محیط و نشت الکترولیتی در جهت مثبت مؤثر هستند و ۱۱/۱۴ درصد تغییرات را توجیه کرد. در عامل چهارم که

۸/۸۱ درصد از تغییرات را در برمی‌گیرد، صفت درصد قند و شاخص سطح برگ در جهت مثبت مؤثر هستند (جدول ۷). در شرایط تنش کم‌آبیاری، عامل اول دارای بزرگ‌ترین ضریب‌های عاملی بر روی صفاتی نظیر میزان کلروفیل، محتوی آب نسبی برگ، وزن ویژه برگ و شاخص شادابی است که این عامل ۳۵/۰۵ درصد از تغییرات را توجیه کرد. صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص سطح برگ در عامل دوم در جهت مثبت مؤثر هستند که این عامل ۱۸/۰۸ درصد از تغییرات را توجیه کرد. در عامل سوم صفت درصد قند در جهت مثبت مؤثر هستند و ۱۱/۴۰ درصد تغییرات را توجیه کرد. در عامل چهارم که ۱۰/۲۲ درصد از تغییرات را در برمی‌گیرد، صفات اختلاف دمای برگ و محیط و نشت الکترولیتی در جهت مثبت مؤثر است (جدول ۸). میزان اشتراک بخشی از واریانس یک متغیر است که به عامل‌های مشترک مربوط می‌شود که هر چه بیشتر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر در برآورد واریانس متغیر مربوطه است. همان‌طوری که در جداول ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود میزان اشتراک اکثر صفات بالاست. این امر نشان می‌دهد که تعداد عامل مورد انتخاب مناسب بوده و عامل‌های منتخب توانسته‌اند تغییرات صفات را به نحو مطلوبی توجیه نمایند. به هر صورت با توجه به عامل اشتراک، در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبیاری صفت عملکرد قند ناخالص دارای بیشترین دقت برآورد بود. درحالی‌که در شرایط آبیاری نرمال صفت اختلاف دمای برگ و محیط و در شرایط تنش کم‌آبیاری شاخص پوشش گیاهی NDVI دارای کمترین دقت برآورد بوده‌اند. به‌طورکلی روش تجزیه به عامل‌ها الگویی از ساختار داخلی ماتریس کوواریانس (همبستگی) بین صفات را ارائه می‌دهد. با استفاده از این روش می‌توان تعداد زیاد متغیرهای تحت بررسی را به تعداد محدودی عامل پنهانی تبدیل نمود. لذا در شرایط آبیاری نرمال، عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب به‌عنوان عامل خصوصیات کیفی برگ، عامل عملکرد، عامل خصوصیات فیزیولوژی و عامل درصد قند چغندرقند شناسایی شدند. در شرایط تنش کم‌آبیاری نیز عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب به‌عنوان عامل خصوصیات فیزیولوژی، عامل عملکرد، عامل درصد قند و عامل نشت الکترولیتی چغندرقند شناسایی گردیدند.

جدول ۷. نتایج تجزیه به عامل‌های صفات موردمطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند در شرایط آبیاری نرمال

Table 7. Results of factor analysis of studied traits for different genotypes of sugar beet under normal irrigation

	Variable	متغیر	عامل یک Factor1	عامل دو Factor2	عامل سه Factor3	عامل چهار Factor4	میزان اشتراک Communality
1	Root yield	عملکرد ریشه	-0.140	0.907	-0.073	-0.171	0.876
2	Sugar content	درصد قند	-0.402	0.173	0.349	0.578	0.647
3	Sugar yield	عملکرد قند ناخالص	-0.266	0.905	0.047	0.047	0.895
4	Chlorophyll	کلروفیل	0.730	0.361	0.205	-0.038	0.707
5	NDVI	شاخص پوشش گیاهی	0.027	0.821	0.023	0.242	0.735
6	LAI	شاخص سطح برگ	-0.052	-0.004	-0.227	0.825	0.735
7	Leaf–air temperature difference	اختلاف دمای برگ و محیط	-0.094	0.125	0.615	-0.157	0.428
8	Leaf relative water content	محتوی نسبی آب برگ	0.496	0.033	0.586	0168	0.620
9	Specific leaf weight	وزن ویژه برگ	0.851	-0.215	-0.020	-0.173	0.801
10	Succulence index	شاخص شادابی	0.742	-0.184	0.094	-0.030	0.593
11	Electrolyte leakage	نشت الکترولیتی	0.156	-0.166	0.702	-0.007	0.544
	Eigenvaluue	مقدار ویژه	3.691	2.260	1.336	1.058	
	Percent of variance	درصد واریانس	30.759	18.838	11.142	8.815	
	Cumulative percentage	درصد تجمعی	30.759	49.596	60.738	69.553	

جدول ۸. نتایج تجزیه به عامل‌های صفات موردمطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند در شرایط تنش کم‌آبیاری

Table 8. Results of factor analysis of studied traits for different genotypes of sugar beet under water deficit stress

	Variable	متغیر	عامل یک Factor1	عامل دو Factor2	عامل سه Factor3	عامل چهار Factor4	میزان اشتراک Communality
1	Root yield	عملکرد ریشه	0.184	0.905	0.131	0.095	0.878
2	Sugar content	درصد قند	0.024	-0.069	0.908	0.046	0.832
3	Sugar yield	عملکرد قند ناخالص	0.192	0.867	0.378	0.104	0.942
4	Chlorophyll	کلروفیل	0.608	0.471	-0.187	0.076	0.633
5	NDVI	شاخص پوشش گیاهی	-0.094	0.652	-0.206	0.042	0.478
6	LAI	شاخص سطح برگ	0.179	0.630	-0.289	-0.075	0.519
7	Leaf–air temperature difference	اختلاف دمای برگ و محیط	0.077	-0.083	0.147	0.808	0.688
8	Leaf relative water content	محتوی نسبی آب برگ	0.784	0.001	-0.209	0.222	0.708
9	Specific leaf weight	وزن ویژه برگ	0.896	0.161	0.300	-0.135	0.937
10	Succulence index	شاخص شادابی	0.909	0.105	-0.092	-0.001	0.846
11	Electrolyte leakage	نشت الکترولیتی	-0.075	0.195	-0.092	0.720	0.570
Eigenvaluue		مقدار ویژه	4.205	2.170	1.368	1.226	
Percent of variance		درصد واریانس	35.046	18.085	11.399	10.222	
Cumulative percentage		درصد تجمعی	35.046	53.131	64.530	74.752	

عبداللهیان نوقابی و همکاران (Abdollahian Noghabi et al., 2011) نیز در بررسی تأثیر تنش خشکی شدید بر ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند با انجام تجزیه به عامل‌ها مشخص نمودند که عامل‌های اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم جمعاً ۸۲/۰۸ درصد از تغییرات کل واریانس را توجیه می‌نماید. آن‌ها گزارش کردند که از تجزیه به عامل‌ها برای کاهش داده‌ها، شناسایی اجزای اصلی عملکرد، گروه‌بندی صفات بر پایه روابط داخلی میان آن‌ها و بررسی گوناگونی ژنتیکی استفاده می‌شود.

به‌طورکلی نتایج نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر کلیه صفات موردمطالعه در ژنوتیپ‌های چغندرقند به‌استثنای وزن ویژه برگ داشت. بین ۱۱ صفت مرتبط با تحمل به کم‌آبیاری که در این تحقیق بررسی گردید صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص سطح برگ، اختلاف دمای برگ و محیط، محتوی آب نسبی برگ و شاخص شادابی در اثر تنش خشکی کاهش یافت. درحالی‌که تنش خشکی باعث افزایش صفاتی از قبیل درصد قند، میزان کلروفیل، وزن ویژه برگ و نشت الکترولیتی شد. ژنوتیپ‌های موردمطالعه در این تحقیق اختلاف کاملاً معنی‌دار ازنظر همه صفات موردمطالعه نشان دادند که بیانگر وجود تنوع کافی در بین آن‌ها است. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد ریشه و صفاتی از قبیل عملکرد قند ناخالص و شاخص پوشش گیاهی NDVI، نشان می‌دهد که از این صفات می‌توان به‌عنوان فاکتورهای انتخاب ژنوتیپ‌های چغندرقند متحمل به تنش خشکی استفاده نمود.

منابع

Abdollahian Noghabi, 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

AbdollahianNoghabi, M., 1999. Ecophysiology of sugar beet cultivars and weed species subjected to water deficiency stress. Ph.D. Thesis, University of Reading.

20 sugar beet genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences. 42(3), 453-464. [In Persian with English Summary].

Abdollahian Noghabi, M., Sheikholeslami, R. Babaei, B., 2005. Technical terms of sugar beet yield and quality. Journal of Sugar Beet. 21(1), 101-104. [In Persian with English Summary].

Ahmadi, M., 2012. Study on characteristics related to drought tolerance in improved sugar beet population. PhD Thesis, College of Agriculture, Islamic Azad University of Science and Research of Tehran. [In Persian].

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.

Bahavar. N., Ebadi, A., Tobeh, A., Jamati Somarin, S.H., 2009. Effects of nitrogen application on growth of irrigated chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress in hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Sciences .3(4), 448-455.

Barrs, H.D. and Weatherly, P.E., 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences, 15, 413-428.

Bloch, D., Hoffmann, C.M., 2005. Seasonal development of genotypic differences in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and their interaction with water supply. Journal of Agronomy and Crop Science. 191, 263-272.

Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different developmental stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89, 1-16.

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 (1), 43-60. [In Persian with English Summary].

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(17), 8-16. [In Persian with English Summary].

Hamidi, H., Ahmadi, M., Ramezanpour, 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(2), 275-288. [In Persian with English Summary].

Hekmat Shoar, H., 1992. Plant physiology in difficult situation. First Edition. Tabriz University Press. 251p. [In Persian with English Summary].

Hoffmann, C.M., 2005. Changes in N composition of sugar beet varieties in response to increasing N supply. Agronomy and Crop Science. 191, 138-145.

Hu, L., Wang, Z., Du, H., Huang, B., 2009. Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common Bermuda grass genotypes differing in drought tolerance. Plant Physiology. 167, 103-109.

Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H.D., Gaur, P.M., 2008. Rapid screening technique for canopy temperature status and its relevance to drought tolerance improvement in chickpea. Journal of Semi-Arid Tropical Agricultural Research. 6, 105-4.

Khazaie, H.R., 2002. Effect of drought stress on yield and physiological characteristic of drought tolerant and susceptible wheat cultivars and introduce the suitable drought tolerance index. Ph.D. Thesis, College of Agriculture, University of Ferdowsi Mashhad, Mashhad, Iran. 225p. [In Persian].

Koocheki, A., 1996. Agriculture in Dry Lands. Jihade-Daneshgahi Press of Mashad. 202p. [In Persian].

Koocheki, A., Soltani, A., 1996. Sugar beet Agronomy. Jihade-Daneshgahi Press of Mashad. 200p. [In Persian].

Milford, G.F.J., Pocock, T.O., Riley, J., 1985. An analysis of leaf growth in sugar beet. II: Leaf appearance in field crops. Annals of Applied Biology. 106, 163-172.

Mohamadian, R., 2001. Determinate of effective physiological indices on drought resistant on sugar beet. Ph.D. of Thesis Agronomy. Tabriz University. [In Persian].

Mohammadian, R., 2005. Some factors affecting the yield of sugar beet in drought stress conditions. Proceedings of the 27th Annual Seminar of Iranian Sugar and Sugar Factories, Mashhad, Iran. pp. 238-248. [In Persian].

Nadali, I., Paknejad, F., Ghaffari, M., 2014. Effct of methanol as source of carbon on some quantitative and qualititative traits of sugar beet under drought stress conditions. Journal of

Crop Production Research. 6(3), 231-246. [In Persian with English Summary].

Nadali, I., Paknejad, F. Moradi, F., Vazan, S., Tookalo, M., Jami Al-Ahmadi, M. Pazoki, A.R., 2010. Effect of foliar application of methanol on sugar beet (*Beta vulgaris*). Australian Journal of Crop Science. 4(6), 398-401.

Nagler, P.L., Glenn, E.P., Huete, A.R. 2001. Assessment of spectral vegetation indices for riparian vegetation in the Colorado river delta, Mexico. Journal of Arid Environments. 49(1), 91–110.

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(1), 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), 1-12. [In Persian with English Summary].

Pierce, L.L., Running, S.W., Walker, J. 1994. Regional scale relationships of leaf area index to specific leaf area and nitrogen content. Ecological Applications. 4, 313-320.

Premachandra, G.S., Saneoka, H., Fujita, K., Ogata, S., 1992. Seasonal changes in leaf water relations and cell membrane stability in orchardgrass. Journal of Agricultural Science. 121, 169-175.

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.

Rinaldi, M., 2003. Variation of specific leaf area for sugar beet depending on sowing date and irrigation. Italian Journal of Agronomy. 7, 23-32.

Rytter, R.M., 2005. Water use efficiency, carbon isotope discrimination and biomass production of two sugar beet varieties under well-watered and dry conditions. Journal of Agronomy and Crop Science. 191(13), 426-438.

Sairam, R.K., Rao, K.V., Srivastava, G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science. 163, 1037–1046.

Sadeghian, S.Y., Fazli, H., Mohammadian, R., Taleghani, D.E., Mesbah, M., 2000. Genetic variation for drought stress in sugar beet. Journal of Sugar Beet Research. 37, 55-77. [In Persian with English Summary].

Sadeghzadeh Hemayati, S., Fathollah Taleghani, D., Fasahat, P., 2017. Effects of drought stress on quantitative and qualitative characteristics, canopy ground cover and wilting score of sugar beet genotypes. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10(3), 363-375. [In Persian with English Summary].

Sadeghzadeh Hemayati, S., Fasahat, P., 2016. Evaluation of drought tolerance indices and their correlation in sugar beet lines. Journal of Sugar Beet. 32(1), 13–27. [In Persian with English Summary].

Smirnoff, N., 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. In: Smirnoff, V. (ed.), Environment and Plant Metabolism: Flexibility and Acclimation. BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK.

Vahidi, H., Rajabi, A., Haj Seyed Hadi, M.R., Fathollah Taleghani, D., 2012. Effect of water stress on some quantitative and qualitative traits of sugar beet. 12th Iranian Crop sciences Congress, Karaj, Iran. [In Persian].

Vina, A., Gitelson, A.L., Nguy-Robertson, A., Peng, Y., 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. Remote Sensing of Environment. 115(12), 3468-3478.

Westage, M., Boyer, J., 1985. Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low warerporentials in maize. Planta, 164, 459-540.

Wolf, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C., Alvino, A., 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthesis decline and longevity of individual leaves. Agronomy Journal. 80, 865-870.

Yan, W., Kang, M.S., 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC press, Florida, USA, 267p.