نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۶ / شماره ۱/ ۱۴۰۱

واکنش رشدی و فیزیولوژیک ارقام مختلف سورگوم به شوری آب آبیاری

محسن سیلسپور[۱]

استادیار، بخش تحقیقات کشت گلخانه‌ای، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران.**mseilsep@yahoo.com**

دریافت: دی ۱۴۰۰ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

در این پژوهش، تحمل به شوری پنج رقم سورگوم (اسپیدفید، کیمیا، پیام، سپیده و پگاه) در پنج سطح شوری آب آبیاری (آب غیر شور، و شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر) در گلخانه مطالعه شد. طرح آماری آزمایش بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت فاکتوریل با ۲۵ تیمار و چهار تکرار بود. صفات مورد مطالعه ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، شاخص کلروفیل برگ، غلظت سدیم، کلر و پتاسیم در برگ و ریشه بود. اثر رقم و اثر تنش شوری بر میانگین کلیه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود (P<0.01). در شوری های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر، وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۱۶/۲٪، ۳۵/۱٪، ۵۵/۷٪ و ۶۹/۴٪ نسبت به شاهد (۵/۷۲ گرم در بوته)، وزن خشک ریشه به‌ترتیب ۲۶/۶٪، ۵۳٪، ۷۲٪ و ۸۲٪ کاهش وزن نسبت به تیمار شاهد (پنج گرم در بوته) و سطح برگ بوته به‌ترتیب ۲۹/۴٪، ۵۸/۳٪، ۷۵/۵٪، ۸۶/۳٪ کاهش نسبت به تیمار شاهد (۳۶۰ سانتی‌متر مربع) نشان داد. بین غلظت کلر و سدیم برگ با وزن خشک اندام‌هوایی همبستگی منفی وجود داشت. از ضریب حساسیت به تنش فیشر و مورر برای ارزیابی حساسیت به شوری ارقام بر اساس وزن خشک اندام هوایی استفاده شد. بر اساس ضریب حساسیت به تنش شوری، رقم اسپیدفید کمترین ضریب حساسیت به شوری (۰/۷۳) و رقم پگاه بیشترین ضریب حساسیت به شوری (۱/۲۱) را دارا بود. رگرسیون بین سطوح مختلف شوری با وزن خشک اندام هوایی برای هر رقم تعیین شد. بر این اساس، وزن خشک اندام هوایی ارقام اسپیدفید، کیمیا، پیام، سپیده و پگاه در شوری های ۱۳/۸۹، ۱۲/۹۵، ۹/۷۳، ۹/۶۲ و ۹/۵۰ دسی‌زیمنس بر متر، ۵۰٪ کاهش یافت. بر اساس نتایج، رقم اسپیدفید از تحمل به شوری بیشتری نسبت به دیگر ارقام برخوردار بود و برای کشت در شرایط آب و خاک شور توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، تحمل به شوری، ضریب حساسیت به تنش فیشر و مورر ، رقم اسپیدفید

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: ورامین، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران.

مقدمه

در قسمت‌های مختلف دنیا، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مسائل مرتبط با آب از قبیل کاهش کمی و کیفی آب، آلودگی آب و افزایش خسارات ناشی از سیل وجود دارد. این مسائل، کمبود مواد غذایی و به‌دنبال آن گسترش بیماری‌ها را در پی خواهد داشت (رنگاسامی، ۲۰۱۰). با این وصف، یکی از راه‌های مبارزه با کمبود آب، تأمین بخشی از نیازهای آبی از طریق استفاده از آب‌های شور است (هنگلر، ۲۰۱۰). از طرف دیگر، یکی از چالش-های اساسی که در سراسر جهان وجود دارد، کاهش عملکرد گیاهان به دلیل تنش شوری حاصل از آب و خاک شور است (مونزو تستر، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که ۹۷/۵ درصد آب‌های جهان شور است و هم‌چنین در بسیاری از نواحی، زمین‌های شور درصد زیادی از اراضی را به خود اختصاص داده‌اند. به‌همین دلیل، شوری آب و خاک، امروزه یکی از مشکلات عمده کشاورزی در سطح جهان می‌باشد (بارت لنارد، ۲۰۰۳). از طرف دیگر، حساسیت محصولات عمده زراعی غیرشورزیست از یک طرف و تغییرات تدریجی آب و هوایی، از قبیل بروز پدیده خشک‌سالی، موجب شده است که پژوهش در زمینه محصولات جایگزین متحمل به تنش‌های محیطی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (جاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۳. تروگنیز، ۲۰۰۳. کویرو و ایسا، ۲۰۰۳)؛ بنابراین بررسی روش‌های جدید برای کاهش این چالش‌ها ضروری است. یکی از این روش‌ها کشت گیاهانی است که بتوانند سطوح بالایی از شوری خاک را تحمل کنند (کویرو و همکاران، ۲۰۰۸). سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) به‌عنوان یک گیاه نیمه‌متحمل به شوری با آستانه ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر شناخته می‌شود (فرانکویس و همکاران، ۱۹۸۴). این گیاه براساس تقسیم بندی گیاهان در مقاومت به تنش شوری، در کلاس نیمه متحمل قرار می‌گیرد (ماس و هافمن، ۱۹۷۷). پژوهشگران دیگر نیز آستانه تحمل به شوری سورگوم را ۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر تعیین کرده و شیب کاهش عملکرد آن را ۱۰/۵ درصد محاسبه نموده‌اند (رنجبر و سلطانی‌گرد فرامرزی، ۱۳۹۶).

سورگوم به‌دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی از جمله مقاومت به خشکی، شوری، کارایی مصرف آب بالاتر از سایر گیاهان علوفه‌ای، عملکرد نسبتاً زیاد، کیفیت مطلوب و قابلیت نگهداری آن به صورت علوفه خشک، به ویژه سیلو، سبب گردیده تا در مناطق خشک و نیمه‌خشک از ارزش ویژه‌ای برخوردار شود (کافی و همکاران، ۲۰۱۱). ارزیابی سیزده رقم سورگوم نسبت به شوری نشان داد که تنش شوری، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و وزن خشک گیاه‌چه ارقام سورگوم را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (چاوهان، ۲۰۱۱). در یک آزمایش گلدانی بر روی دو رقم سورگوم دانه‌ای که تحت اثر شوری‌های مختلف ناشی از کلرید سدیم در مقادیر ۳/۴، ۶/۷، ۹/۶، ۱۲/۴ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفته بودند، گزارش شد که رشد اندام هوایی و وزن خشک ساقه‌چه در سطح شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۷۵ درصد کاهش یافته است.

کاهش عملکرد در شرایط شور احتمالاً به علت تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش رشد بخش هوایی، به‌ویژه برگ‌ها و یا به‌دلیل بسته‌شدن جزئی یا کامل روزنه‌ها یا به علت اثر مستقیم نمک بر سیستم فتوسنتزی و یا تأثیر بر توازن یونی در گیاهان است (حیدری شریف آباد، ۱۳۸۰). در پژوهشی دیگر، راجع به عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف آب آبیاری (۱/۵ و ۲/۵ برابر نیاز آبی گیاه) و سطوح مختلف شوری (اختلاط آب چاه با آب دریای خزر) بین تیمار شاهد با تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (شریفان و کاظمی حسنوند، ۱۳۹۴). طی پژوهش دیگری، ۱۵ لاین امیدبخش سورگوم تحت تنش شوری با NaCl در پنج سطح (صفر، ۳-، ۶-، ۹- و ۱۲- بار) قرار گرفتند. با کاهش پتانسیل اسمزی محلول به ۱۲-بار، کلیه صفات اندازه‌گیری شده کاهش معنی‌دار نشان دادند، به گونه‌ای که درصد جوانه‌زنی (۲۷/۲۳ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۳۰/۱۸ درصد)، طول ریشه‌چه (۷۷/۷۴ درصد)، طول

ساقه‌چه (۷۳/۲۴ درصد)، شاخص بنیه بذر (۸۲/۷۳ درصد) و وزن تر گیاهچه (۵۹/۳۸ درصد) کاهش نشان دادند (خدارحم پور و سلطانی، ۱۳۹۲).

طی یک پژوهش دیگر، واکنش ۴۵ لاین و رقم سورگوم به تنش شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر شوری آب آبیاری سنجیده شد. تنش شوری موجب کاهش میانگین شاخص‌های مختلف ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد. به‌طوری که قطر ساقه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه تر و خشک تحت تنش شوری به ترتیب ۱۴/۴۵، ۲۵/۲۴، ۱۸/۰، ۳۱/۸، ۴۰/۱، ۳۲/۳ درصد کاهش یافت. بیشترین عملکرد خشک تحت شرایط بدون تنش از لاین KDFGS23 (۲۸۵۳۰ کیلوگرم بر هکتار) و تحت تنش شوری از رقم جامبو (۲۱۰۴۱ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد (شاکری و همکاران، ۱۳۹۶). پژوهش دیگری به منظور بررسی تحمل به شوری لاین‌های امید بخش سورگوم علوفه‌ای داخلی در دو مرحلهٔ آزمایشگاهی و مزرعه‌ای انجام گردید. در مرحلهٔ جوانه‌زنی تیمارهای آزمایش شامل سطوح شوری ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و یک تیمار آب مقطر به عنوان شاهد و ارقام KFS1، KFS2، KFS3، KFS4، MFS1، MFS2 و LFS56 بودند. در آزمایش مزرعه‌ای نیز ارقام فوق در دو شرایط تنش شوری ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تنش شوری کشت گردیدند. نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط آزمایشگاهی با افزایش شوری، T50 (مدت زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه زنی) افزایش یافت. هم‌چنین بدون در نظر گرفتن نوع رقم، آستانه تحمل به شوری در مرحله جوانه زنی ۸/۳۷ دسی زیمنس بر متر با شیب ۱/۶۴ تعیین شد. در شرایط مزرعه‌ای و شرایط بدون تنش شوری، بیشترین عملکرد را رقم KFS2 با متوسط ۷۷/۲ تن در هکتار داشت. در شرایط تنش شوری، بالاترین عملکرد مربوط به رقم KFS2 با عملکرد ۴۹/۴ تن در هکتار بود (آناقلی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین به‌منظور بررسی اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای، آزمایشی با دو سطح شوری آب آبیاری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر و سه رقم سورگوم علوفه‌ای (پگاه، اسپیدفید سفید و قرمز) انجام شد. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار ویژگی‌های ارتفاع بوته و سطح برگ شد. بیشترین وزن خشک علوفه در تمام سطوح شوری متعلق به رقم پگاه بود. ضمن این که نتایج نشان داد با افزایش شوری در دو رقم پگاه و اسپیدفید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار بود، به‌طوری‌که در رقم پگاه با افزایش شوری به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، در مقایسه با شاهد، آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز به‌ترتیب به‌میزان ۲/۱، ۴/۵ و ۲/۸ برابر افزایش نشان داد. با افزایش شوری تا سطح ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد، نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی ارقام اسپیدفید سفید، قرمز و پگاه به ترتیب به میزان ۱۰/۷، ۶/۸ و ۱/۷ برابر افزایش نشان داد و در ریشه ارقام مذکور به ترتیب به میزان ۹/۶، ۸/۱ و ۴/۷ برابر افزایش یافت (علی نیا و کاظمینی، ۱۳۹۶). این پژوهش به منظور ارزیابی صفات رشد و تحمل به شوری پنج رقم سورگوم با استفاده از شاخص‌های تحمل به شوری در شرایط کنترل‌شده گلخانه به منظور معرفی متحمل‌ترین رقم به شوری برای کاشت در مناطق شور صورت پذیرفت. هم‌چنین تعیین رگرسیون بین سطوح مختلف شوری با وزن خشک اندام هوایی در هر رقم به منظور مطالعه تولید ماده خشک اندام هوایی در سطوح مختلف شوری که کمک شایانی در تعییین تحمل به شوری ارقام می‌نماید، از دیگر اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیک پنج رقم سورگوم نسبت به سطوح مختلف شوری آب آبیاری با طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در قالب فاکتوریل با دو عامل شوری و رقم در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران در سال ۱۳۹۷ مطالعه شد. عامل اول شامل پنج سطح

شوری آب آبیاری (بدون محدودیت شوری، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر از منبع آب شور طبیعی از طریق رقیق‌سازی با آب غیرشور) و عامل دوم شامل پنج رقم سورگوم (اسپیدفید، پگاه، سپیده، پیام و کیمیا) در چهار تکرار بود که در مجموع ۱۰۰ گلدان آزمایشی را تشکیل می‌داد. سطوح شوری به گونه ای انتخاب شدند که با توجه به آستانه تحمل به شوری سورگوم که ۶/۸ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (فرانکویس و همکاران ، ۱۹۸۴)، تنش شوری به گیاه وارد شود.

گلدان‌های مورد استفاده از جنس پولیکا با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که داری زهکش انتهایی بودند بودند. برای اینکه زهکشی با سهولت بیش-تری انجام شود در کف تمامی گلدان‌ها یک لایه شن ریز به عنوان فیلتر ریخته شد. پنج سانتی‌متر بالای گلدان‌ها برای اعمال آبیاری خالی در نظر گرفته شد و بقیه پر از خاک شد. خاک مورد استفاده برای کاشت از ایستگاه مرکزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران تامین شد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است.

در هر گلدان در ابتدای خرداد ماه پنج بذر کاشته شد. پس از کاشت بذرها روی آنها یک لایه ماسه بادی ریخته شد تا از تبخیر سریع رطوبت کاسته شود. برای آبیاری گلدان‌ها از آب شور طبیعی با رقیق‌سازی با آب غیرشور ($EC=0.5\ dS.m^{-1}$) طبق تیمارهایی مورد نظراستفاده ش(جدول۲).

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها

K(ava) mg.kg^{-1}	P(ava) mg.kg^{-1}	Total N %	O.C %	T.N.V %	pH	Ec dS m^{-1}
۳۶۳	۱۱/۲	۰/۰۵	۰/۵۷	۲۳	۷/۲	۱/۱

ادامه جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده در گلدان‌ها

B mg kg^{-1}	Fe mg kg^{-1}	Mn mg kg^{-1}	Cu mg kg^{-1}	Zn mg kg^{-1}	بافت	Sand %	Silt %	Clay %
۰/۸	۳/۲۶	۵/۶۴	۰/۶۳	۱/۱	لوم رسی	۲۲	۴۴	۳۴

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری

EC dS/m	pH	کربنات meq/l	بی‌کربنات meq/l	کلر meq/l	سولفات meq/l	کلسیم meq/l	منیزیم meq/l	پتاسیم meq/l	سدیم meq/l	SAR
۱۶/۶	۷/۷	۰	۳/۵	۱۲۲/۶	۳۴/۲	۱۱/۴	۲۸/۶	۰/۶۹	۱۱۹/۶	۲۶/۷

برای رقیق‌سازی آب شور و رسیدن به هدایت الکتریکی تیمارهای پژوهش، ابتدا هدایت الکتریکی آب شور طبیعی با افزودن آب غیرشور روی هدایت الکتریکی ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر تثبیت شد. سپس برای رسیدن به هدایت الکتریکی ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، آب شور طبیعی به نسبت های چهار به سه، دو به یک و چهار به یک (آب شور به آب غیرشور) با آب غیرشور رقیق سازی شد. برای افزایش مقاومت گیاهچه نسبت به شوری، تا زمان استقرار گیاهچه در گلدان، رژیم شوری اعمال نشد و گلدان‌ها فقط با آب معمولی بدون محدودیت شوری ($EC=0.5\ dS\ m^{-1}$) آبیاری شدند. پس از گذشت ۱۰ روز و سبزشدن بوته‌ها و استقرار آنها ، بوته‌ها تنک و دو بوته در هر گلدان حفظ شد. حجم آب آبیاری برای گلدان‌ها براساس اندازه‌گیری رطوبت خاک گلدان و رساندن آن به ظرفیت مزرعه محاسبه شد (۲۳۵۰ سانتی‌متر مکعب) و کمبود آن در طول اجرای آزمایش از طریق وزن کردن گلدان‌ها جبران گردید. در طول دوره آزمایش حمعا ۱۵ بار آبیاری صورت پذیرفت. در طول اجرای آزمایش (غیر از سه نوبت اول)، گلدان‌ها با محلول غذایی (همراه با آب آبیاری تیمارهای شوری) رقیق‌شده هوگلند (نصف غلظت اصلی) آبیاری شدند (هوگلند و آرنون، ۱۹۵۰). آزمایش به-مدت هشت هفته (تا قبل از مرحله گلدهی) ادامه داشت.

پس از گذشت هشت هفته، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (مینولتا ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. برای این منظور شاخص کلروفیل پنج برگ اندازه‌گیری و میانگین آن محاسبه گردید و به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ واحد آزمایشی وارد محاسبات گردید.

ارتفاع بوته نیز در هر واحد آزمایشی از کف گلدان تا انتهای ساقه با خط‌کش با دقت میلی‌متر ثبت گردید. سپس بوته‌ها از سطح خاک گلدان کف‌بر شدند. برای جداسازی ریشه از خاک، گلدان ها به‌صورت عمودی به کف زمین کوبیده شدند و ستون‌های خاک به صورت کامل از داخل گلدان‌ها خارج شدند. ریشه‌های هر قسمت تا جایی که امکان داشت به‌صورت دستی از خاک جدا گردید. برای جداکردن ریشه‌های باقی‌مانده در خاک از الک استفاده شد. در داخل الک، خاک اطراف ریشه‌ها به‌صورت کامل شستشو داده شد و ریشه‌های باقی‌مانده جمع‌آوری شدند (حسن پور و همکاران، ۱۳۹۵). هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تیمارهای مختلف نیز در پایان آزمایش با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (مدل ۶۵۱۳ مارکJENWAY ساخت انگلیس) تعیین گردید. صفات رشدی مورد اندازه‌گیری شامل وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، طول اندام هوایی و سطح برگ بود. برای اندازه‌گیری وزن ریشه و اندام هوایی، ابتدا ریشه و اندام هوایی برداشت شده و به تفکیک داخل پاکت کاغذی گذاشته شد و برای خشک شدن در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس پاکت‌ها از آون خارج و وزن خشک ریشه و اندام هوایی توسط ترازوی دیجیتال تا دو رقم اعشار اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta T MK2, England) اندازه‌گیری شد. غلظت سدیم، پتاسیم و کلر برگ و ریشه با استفاده از روش‌های رایج موسسه تحقیقات خاک و آب (امامی، ۱۳۷۵) صورت پذیرفت. نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، نسبت وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش شوری به وزن خشک آن در شرایط غیر تنش شوری، نسبت وزن خشک ریشه در شرایط تنش شوری به وزن آن در شرایط غیر تنش شوری و نسبت سدیم و کلر برگ به ریشه نیز محاسبه شد.

حساسیت ارقام به تنش شوری با استفاده از ضریب حساسیت به تنش شوری فیشر نیز محاسبه گردید (فیشر و مورر، ۱۹۷۸) (رابطه ۱).

$$S = \frac{1-(\frac{Ys}{Yp})}{1-(\frac{YS}{YP})} \qquad (۱)$$

که در آن :

S: ضریب حساسیت به تنش

Y_s: میانگین وزن خشک اندام هوایی رقم مورد نظر در شرایط تنش شوری

Y_p: میانگین وزن خشک اندام هوایی همان رقم در شرایط غیر تنش

Y_S: میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام ارقام در شرایط تنش شوری

Y_P: میانگین وزن خشک اندام هوایی تمام ارقام در شرایط غیرتنش می‌باشند.

رگرسیون بین سطوح مختلف شوری آب آبیاری و وزن خشک نسبی اندام هوایی برای هر رقم محاسبه شد. سپس با استفاده از معادله رگرسیون هر رقم، سطحی از شوری اب آبیاری که موجب کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک نسبی اندام هوایی در هر رقم می‌شد، محاسبه گردید. وزن خشک نسبی اندام هوایی از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$RDW = \frac{TDW}{CDW}100 \qquad (۲)$$

که در آن:

TDW: وزن خشک اندام هوایی تیمار مورد نظر (تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری)

CDW: وزن خشک اندام هوایی تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری آب آبیاری)

تجزیه واریانس داده‌های صفات اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

یافته‌ها و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش در مورد صفات مرفولوژیک ارقام مختلف سورگوم در جدول ۳ درج شده است. اثر رقم و اثر شوری درمورد کلیه صفات رشد معنی‌دار بود. اثر رقم و اثر شوری آب آبیاری بر میانگین صفات اندازه گیری شده در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مرفولوژیک پنج رقم سورگوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک کل	ارتفاع بوته	سطح برگ	شاخص تحمل ریشه	شاخص تحمل اندام هوایی	شاخص کلروفیل برگ
بلوک	۳	۰/۱۸ ns	۰/۱۶ ns	۰/۴۶ ns	۲۲/۰ ns	۲۶۱ ns	۰/۱۳ ns	۰/ ۰۰ ns	۲۱/۴ ns
رقم	۴	۱۴**	۷/۲۹**	۴۰/۹۶**	۵۷۶/۷**	۳۶۳۳۵**	۰/۱۴**	۰/۱۸**	۱۱۵**
شوری	۴	۵۲**	۵۶**	۲۱۶**	۶۲۶۲/۳**	۳۲۱۹۰۸**	۱/۵۷**	۲/۲۶**	۱۷۰۱**
رقم×شوری	۱۶	۰/۳۲ ns	۰/۴۶ ns	۱/۲۲ ns	۶۲/۵ ns	۲۹۷۳ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۱ns	۱۱/۷ns
اشتباه	۷۲	۰/۸۲ ns	۰/۲۱ ns	۱/۲۳ ns	۵۴/۸ ns	۳۰۴ ns	۰/۰۲ns	۰/۰۰ ns	۳/۹ ns
ضریب تغییرات		۵/۷	۷/۶	۸/۳	۶/۶	۸/۲	۴/۱	۴/۶	۷/۵

علامت ns، * و** به ترتیب به‌معنای عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار، تفاوت آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد و تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد می باشد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات رقم و تیمارهای شوری بر شاخص‌های مرفولوژیک

رقم	وزن خشک اندام هوایی بوته g	وزن خشک ریشه بوته g	وزن خشک ریشه به اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی به ریشه	ارتفاع بوته cm	سطح برگ بوته cm^2	شاخص تحمل اندام هوایی	شاخص تحمل ریشه	شاخص کلروفیل
عامل رقم									
اسپیدفید	۴/۶۸a	۳/۵۱a	۰/۷۵a	۱/۳۳a	۸۸/۴a	۲۳۴a	۰/۷۱a	۰/۶۴a	۴۳/۲a
کیمیا	۴/۵۳a	۳/۱۷b	۰/۶۹a	۱/۴۲a	۷۳/۴b	۲۱۹b	۰/۷۶a	۰/۶۰a	۴۲/۸a
پیام	۳/۲۰b	۲/۳۴c	۰/۷۳a	۱/۳۶a	۶۶/۸bc	۱۵۱cd	۰/۶۶ab	۰/۵۴b	۴۰/۶b
سپیده	۳/۱۷c	۲/۲۸c	۰/۷۱a	۱/۳۹a	۶۷/۴bc	۱۵۶c	۰/۵۷b	۰/۴۶c	۴۰/۳b
پگاه	۲/۹۲d	۲/۰۹c	۰/۷۱a	۱/۳۹a	۵۹/۸c	۱۴۲d	۰/۵۷b	۰/۴۰d	۳۷/۲c
عامل شوری									
۰	۵/۷۲a	۵/۰۰a	۰/۸۷a	۱/۱۴e	۱۱۸a	۳۶۰a	۱a	۱a	۵۱/۴a
۴	۴/۷۹b	۳/۶۷b	۰/۷۶b	۱/۳۰d	۸۸b	۲۵۴b	۰/۸۴b	۰/۷۳b	۴۶/۵b
۸	۳/۷۱c	۲/۳۵c	۰/۶۳c	۱/۵۷c	۷۲c	۱۵۰c	۰/۶۴c	۰/۴۵c	۴۲/۷c
۱۲	۲/۵۳d	۱/۳۹ d	۰/۵۴d	۱/۸۲b	۴۶d	۸۸d	۰/۴۴d	۰/۲۸d	۳۵/۵d
۱۶	۱/۷۵e	۰/۸۸e	۰/۵۰e	۱/۹۸a	۲۸e	۴۹e	۰/۳۰e	۰/۱۸e	۲۸/۰e

اعداد با علامت انگلیسی مشابه در هر ستون و برای هر عامل (شوری یا رقم) تفاوت آماری معنی دار با هم ندارند

وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی

وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تاثیر اثر رقم و شوری قرار داشت (جدول۳). وزن خشک ریشه و اندام هوایی ارقام مختلف مورد مطالعه با هم اختلاف معنی-دار آماری داشتند (جدول۴). بیش‌ترین وزن خشک ریشه و اندام هوایی به ترتیب ۳/۵۱ و ۴/۶۸ گرم بر بوته مربوط یه رقم اسپیدفید و کمترین میزان آن به ترتیب به میزان ۲/۰۹ و ۲/۹۲ گرم در بوته مربوط به رقم پگاه بود. وزن خشک اندام هوایی اسپیدفید و کیمیا تفاوت آماری معنی‌داری با هم نداشتند، ضمن این که وزن خشک ریشه ارقام پیام، سپیده و پگاه نیز تفاوت آماری معنی‌داری با هم نشان ندادند. وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تاثیر سطوح مختلف شوری قرار گرفتند (جدول۳). شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی گردید، به گونه‌ای که وزن خشک ریشه از پنج گرم در تیمار شاهد به ۳/۶۷، ۲/۳۵، ۱/۳۹ و ۰/۸۸ گرم در بوته در تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر رسید که به ترتیب موید ۲۶/۶، ۵۳،

۷۲ و ۸۲ درصد کاهش وزن خشک نسبت به تیمار شاهد بود. هم چنین تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی ارقام مختلف سورگوم شد، به گونه‌ای که وزن خشک اندام هوایی از ۵/۷۲ گرم در تیمار شاهد به ۴/۷۹، ۳/۷۱، ۲/۵۳ و ۱/۷۵ گرم در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر رسید که موید ۱۶/۲، ۳۵/۱، ۵۵/۷ و ۶۹/۴ درصد کاهش وزن خشک نسبت به شاهد بود (جدول۴).

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی تنها تحت تاثیر شوری قرار گرفت و کاهش معنی دار یافت، به گونه‌ای که این نسبت در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی-زیمنس بر متر به ترتیب ۱۲/۶، ۲۷/۵، ۳۷/۹ و ۴۸/۸ درصد کاهش نشان داد که نشان دهنده کاهش بیشتر وزن خشک ریشه در مقایسه با اندام هوایی در اثر تنش شوری بوده است. نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر در مورد کاهش بیشتر وزن خشک ریشه در مقایسه با کاهش وزن اندام هوایی در اثر تنش شوری با نتایج سایر پژوهشگران در مورد گلرنگ مطابقت داشت (دمیر کایا و اپیکت، ۲۰۰۳)، گرچه بر اساس نظر پژوهشگران این موضوع به ژنوتیپ و سطح شوری نیز بستگی دارد (کوچکی و همکاران، ۱۹۸۱).

عملکرد اندام هوایی از جمله صفاتی است که در گیاهان علوفه‌ای همواره مورد توجه بوده است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۰۸)، با این وصف، کاهش شاخص‌های رشد سورگوم تحت تنش شوری، به‌ویژه وزن اندام هوایی، توسط پژوهشگران گزارش شده است (لاسردا و همکاران، ۲۰۰۳).

در گیاهان تحت تنش شوری، عدم تورژسانس مناسب سلول، و تخصیص بیشتر مواد سنتزشده برای مقابله با تنش، کوتاه شدن دوره رشد گیاه و فرار از تنش همگی می توانند مانع از توسعه عادی سلول ها و در نتیجه کاهش شاخص‌های مختلف رشد گیاه شود (لاسردا و همکاران، ۲۰۰۳). کاهش وزن اندام هوایی در اثر شوری در نتیجه کاهش جذب آب، کاهش سطح جذب فتوسنتزکننده، برهم خوردن توازن یونی، عدم جذب یون‌های ضروری و کاهش سنتز پروتئین‌ها می‌باشد (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). به‌طور کلی تجمع یون سدیم در شرایط تنش شوری از طریق تخریب غشاء سلولی موجب آسیب به گیاه می‌شود و کاهش عملکرد در گیاه را به‌دنبال خواهد داشت (دین‌لین و همکاران، ۲۰۱۴). کاهش وزن خشک گیاه می‌تواند به دلیل تأثیر شوری بر فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه باشد (کراین، ۲۰۰۵). پژوهشگران بیان نمودند که ارتباط وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه و زیست‌توده سورگوم به شوری یکی از صفات مهم و قابل اطمینان به-منظور بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری می‌باشد (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). کاهش وزن خشک سورگوم در اثر شوری به‌دلیل کاهش در اجزای عملکرد گیاه و کاهش تقسیم، رشد و تنفس‌سلولی توسط پژوهشگران گزارش شده است. به‌طور کلی، کاهش عملکرد تحت تنش شوری امری طبیعی است، زیرا تحت تنش شوری، میزان یون‌های سمی کلر و سدیم در برگ افزایش می‌یابد. بنابراین می توان بخشی از کاهش عملکرد تحت تنش شوری را به تجمع این یون ها در گیاه نسبت داد (طباطبایی و همکاران، ۲۰۱۴). هم‌چنین مرور منابع نشان می‌دهد که رابطه منفی بین میزان سدیم بافت گیاه و عملکرد وجود دارد (زاید و همکاران، ۲۰۱۱). هم‌چنین شوری باعث کاهش مقدار هدایت روزنه‌ای، تعرق و میزان آب نسبی می‌شود که بر کاهش وزن تر اندام هوایی تأثیر می-گذارد (ثابت تیموری و همکاران، ۱۳۸۶). یکی از دلایل کاهش عملکرد را می‌توان به کاهش فتوسنتز در نتیجه‌ی تنش حاصل از تجمع نمک در محدوده ریشه نسبت داد که این مسأله می‌تواند در نتیجه کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به دلیل کاهش هدایت روزنه و هم‌چنین کاهش سطح برگ باشد (نتوندو و همکاران، ۲۰۰۴). از سوی دیگر، افزایش پتانسیل اسمزی در نتیجه‌ی حضور نمک در محدوده ریشه و کاهش آن در سلول‌های گیاهی، موجب تغییر در مسیر انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی و تجمع آن در سلول‌های ریشه برای مقابله با تنش حاصله خواهد شد. به‌عبارت دیگر، کاهش انرژی آزاد آب در خاک، گیاه را وادار خواهد

کرد تا برای جذب آب انرژی بیشتری مصرف کند که این امر مستلزم افزایش پتانسیل اسمزی در سلول‌های گیاهی با تجمع مواد قندی در آن است. تجمع مواد آلی ساخته شده در سلول‌های ریشه به‌منظور تنظیم اسمزی و مقابله با اثرات مخرب شوری در جذب آب، انتقال آن به سایر اندام‌های هوایی ومتعاقباً رشد رویشی را محدود ساخته و در نهایت منتج به کاهش عملکرد خواهد شد (امداد و همکاران، ۱۳۷۹). بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، تحمل به شوری در بین ارقام یک گونه نیز می‌تواند متفاوت باشد که این موضوع در مورد سورگوم (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷) گندم (مونز و حامز، ۲۰۰۳) و محصولات دیگر به اثبات رسیده است. کاظم‌زاده‌حقیقی با بررسی نه رقم سورگوم علوفه‌ای تحت تنش شوری به این نتیجه رسید که از بین ارقام مورد بررسی، فقط رقم ایرانی فلمی‌هرات مقاومت متوسطی به شوری داشت (کاظم‌زاده حقیقی، ۲۰۰۸). در پژوهش دیگری، که در آن ۲۷ ژنوتیپ مختلف سورگوم تحت شرایط شوری ۱۰ دسی‌زسمنس بر متر قرار گرفتند، تنوع بسیار گسترده‌ای از نظر صفات عملکرد دانه و طول دوره گلدهی مشاهده شد (ردی و همکاران، ۲۰۱۰).

رگرسیون وزن خشک اندام هوایی با سطوح مختلف شوری در ارقام مختلف سورگوم

به منظور تعیین واکنش وزن خشک اندام هوایی ارقام مختلف سورگوم در سطوح مختلف شوری اقدام به تعیین رگرسیون بین وزن خشک نسبی اندام هوایی هر رقم با سطوح مختلف شوری شد (جدول۵).

جدول۵- رگرسیون بین سطوح مختلف شوری و عملکرد نسبی وزن خشک اندام هوایی در ارقام مختلف سورگوم

رقم	نوع معادله	شیب	عرض از مبدا	P.Value	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$) آب آبیاری برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک نسبی اندام هوایی
اسپیدفید	خطی	-۴/۰۳	۱۰۶/۲	P<0.01	۱۳/۸۹
کیمیا	خطی	-۴/۰۹	۱۰۳/۴	P<0.01	۱۲/۹۵
پیام	خطی	-۴/۸۳	۹۷/۰	P<0.01	۹/۷۳
سپیده	خطی	-۴/۸۰	۹۶/۲	P<0.01	۹/۶۲
پگاه	خطی	-۴/۸۲	۹۵/۸	P<0.01	۹/۵۰

بر اساس نتایج حاصله، ارقام اسپیدفید، کیمیا، پیام، سپیده و پگاه در شوری های ۱۳/۸۹، ۱۲/۹۵، ۹/۷۳، ۹/۶۲ و ۹/۵۰، دچار کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک اندام هوایی شدند که نشان‌دهنده تحمل بیشتر رقم اسپیدفید به شوری می باشد.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته ارقام مختلف سورگوم تحت تأثیر اثر رقم و شوری قرار داشت (جدول۳). ارتفاع بوته ارقام مختلف مورد مطالعه با هم اختلاف معنی‌دار آماری داشتند (جدول۴). بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم اسپیدفید(۸۸/۴ سانتی‌متر) بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی‌دار داشت. ارقام کیمیا، پیام و سپیده و پگاه تفاوت آماری معنی‌داری با هم نداشتند شوری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد. به گونه‌ای که ارتفاع بوته در تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب.۱۶/۹، ۲۴/۴، ۲۳/۷، ۳۲/۳ درصد نسبت به شاهد (۱۱۸ سانتی‌متر) کاهش یافت (جدول ۴). کاهش ارتفاع بوته می‌تواند نتیجه کاهش رشد سلول در اثر شوری و کاهش تخصیص اسیمیلات‌ها، به‌دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده به‌منظور رشد باشد. رشد طولی ساقه نتیجه فعالیت مریستم میان‌بافتی گره‌ها است و طول میانگره‌ها به‌علت افزایش تعداد سلول‌ها و عمدتاً افزایش اندازه سلول‌ها افزایش می‌یابد که در اثر شوری تعداد و طول میان‌گره کاهش و در نهایت ارتفاع گیاه نیز کاهش می‌یابد (لاسردا و همکاران، ۲۰۰۳). با افزایش غلظت نمک‌ها، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود، در نتیجه مقدار انرژی که گیاه

باید صرف جذب آب از خاک نماید، افزایش می‌یابد که این عمل باعث افزایش تنفس و کاهش ارتفاع و عملکرد گیاه می‌شود (مولوی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که با تجمع نمک در گیاه، شیب اسمزی بین بیرون و داخل سلول افزایش می‌یابد. لذا برای توازن ترمودینامیکی بین بیرون و داخل سلول، آب از داخل سلول خارج می‌گردد، سلول پلاسمولیز می‌گردد و در نهایت رشد سلول متوقف و یا سلول از بین می‌رود که نهایتا کاهش ارتفاع گیاه را در پی خواهد داشت (وولکمار و همکاران، ۱۹۹۸).

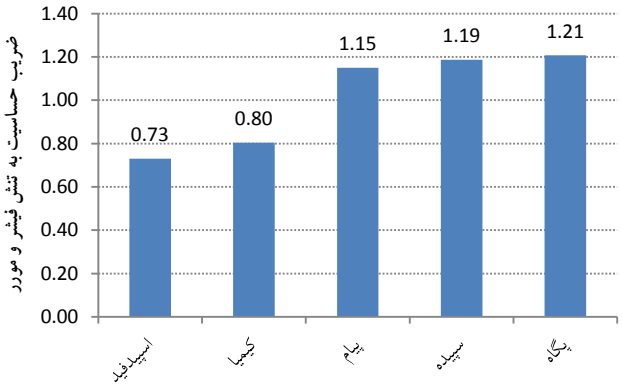
شاخص تحمل ریشه و اندام هوایی و به شوری

شاخص تحمل ریشه به شوری تحت تاثیر اثر رقم و شوری قرار گرفت (جدول ۳) که این شاخص در ارقام مختلف مورد مطالعه متفاوت بود (جدول ۴). بیشترین شاخص تحمل ریشه مربوط به رقم اسپیدفید و کیمیا بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی‌دار داشتند. از نظر شاخص تحمل ریشه، ارقام به ترتیب اسپیدفید و کیمیا، پیام، سپیده و پگاه طبقه بندی شدند، به گونه‌ای که ارقام اسپیدفید و کیمیا متحمل ترین و رقم پگاه حساس ترین رقم به شوری شناخته شد (جدول ۴). شاخص تحمل ریشه تحت تاثیر سطوح مختلف شوری نیز قرار گرفت و در اثر تنش شوری کاهش معنی‌دار یافت، به گونه‌ای که شاخص فوق در تیمارهای ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب. ۲۷، ۵۳، ۷۲ و ۸۲ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول۴)

شاخص تحمل اندام هوایی نیز تحت تاثیر اثر رقم و شوری قرار داشت (جدول ۳). این شاخص در ارقام مختلف مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار آماری داشت (جدول۴). بیشترین شاخص تحمل اندام هوایی مربوط به رقم اسپیدفید و کیمیا بود که تفاوت آماری معنی داری با ارقام سپیده و پگاه داشتند (جدول ۴). این شتخص تحت تاثیر سطوح مختلف شوری نیز قرار گرفت و کاهش یافت، به گونه‌ای که شاخص فوق در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۶،۳۶، ۵۶ و ۷۰ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۴). شاخص تحمل به شوری ریشه و اندام هوایی نشان دهنده حساسیت اندام مورد مطالعه به شوری است. هر چه این شاخص کوچک تر باشد، نشان دهنده این است که وزن اندام مورد مطالعه در تیمار تنش شوری نسبت به تیمار غیرشور، بیشتر کاهش یافته است که نشان دهنده حساسیت اندام مورد مطالعه به شوری است (اشرف و همکاران، ۲۰۰۶). از این شاخص به‌طور موفقیت‌آمیزی برای ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های سورگوم استفاده شده است (ردمن و همکاران، ۲۰۰۵).

ضریب حساسیت به تنش

بر اساس ضریب حساسیت به تنش شوری، رقم اسپیدفید بیشترین تحمل به شوری و رقم پگاه کمترین تحمل به تنش شوری را داشت (شکل۱). مقادیر بالای ضریب حساسیت به تنش، نشان‌دهنده حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها به شوری است و بنابراین هر چه این ضریب کمتر باشد، ژنوتیپ به شوری تحمل بیشتری دارد (چوگان و همکاران، ۲۰۰۸). طی یک پژوهش، ۴۵ لاین و رقم سورگوم را با استفاده از ضریب حساسیت به تنش شوری فیشر و مورر ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که ارقام جامبو، سیستان و قلمی هرات بیشترین تحمل به شوری را داشتند (شاکری و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل۱-ضریب حساسیت به تنش شوری در ارقام مختلف سورگوم

سطح برگ

سطح برگ تحت تاثیر اثر رقم و اثر شوری قرار داشت (جدول ۳). بیشترین سطح برگ بوته (۲۳۴ سانتی‌متر مربع) مربوط به رقم اسپیدفید (۲۳۴ سانتی‌متر مربع) بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی‌دار داشت (جدول۴). تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار سطح برگ گردید، به گونه ای که سطح برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۲۹/۴، ۵۸/۳، ۷۵/۵، ۸۶/۳ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد (۳۶۰ سانتی متر مربع) نشان داد (جدول ۴). نتایج پژوهش‌ها موید این مطلب است که سطح برگ، یکی از حساس‌ترین اندام هوایی به شوری بوده (پاریدا و دس، ۲۰۰۵) و کاهش آن با افزایش سطح شوری آب آبیاری در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (هوگ و همکاران، ۲۰۱۲). تنش شوری با افزایش آستانه فشار تورمی لازم برای رشد سلول‌های برگ (کروزر و همکاران، ۲۰۰۱) و کاهش فضای بین سلولی از یک سو و ایجاد مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های سدیم و کلر و در نتیجه، صدمه به غشاها و مولکول‌های پروتئینی از سویی دیگر، زمینه لازم برای کاهش سطح برگ را فراهم می‌آورد. کاهش سطح برگ نیز متعاقباً باعث کاهش جذب نور و فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی لازم برای رشد برگ شده و در نتیجه، توسعه برگ‌های جدید را با مشکل مواجه می‌سازد (کروزر و همکاران، ۲۰۰۱؛ حیدری شریف‌آبادی، ۱۳۸۰). کاهش سطح برگ اولین واکنش گیاهان به تنش شوری ملایم می-باشد و می‌تواند به‌علت کاهش پتانسیل آب و تورژسانس برگ همراه با پیری برگ‌ها و نکروزه شدن آنها در تنش شوری باشد، هم‌چنین کاهش سطح برگ و رشد سایر اندام-های گیاهی در اثر افزایش شوری می‌تواند به‌دلیل تغییر میزان هورمون‌های رشد نیز باشد (مان و همکاران، ۲۰۱۱). کاهش میزان فتوسنتز و محدود شدن گسترش سطح برگ با افزایش شوری در گیاه سورگوم (نتوندو و همکاران، ۲۰۰۴) و سایر گیاهان (مقسومی هولاسو و پوراکبار، ۲۰۱۴) نیز گزارش شده است.

شاخص کلروفیل برگ

شاخص کلروفیل برگ تحت تاثیر اثر رقم و اثر شوری بود (جدول ۳). شاخص کلروفیل برگ ارقام مختلف مورد مطالعه با هم اختلاف معنی‌دار آماری داشتند. بیش-ترین شاخص کلروفیل برگ مربوط به ارقام اسپیدفید و کیمیا بود که با سایر ارقام تفاوت آماری معنی‌دار داشتند (جدول ۴). تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ گردید، به گونه‌ای که سطح برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۹/۵، ۱۶/۹، ۳۰/۹، ۴۵/۵ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد (۵۱/۴) نشان داد (جدول ۴). گزارش شده است که در اثر شوری مقدار اتیلن برگ افزایش و میزان کلروفیل گیاه به

دلیل فعالیت آنزیم کلروفیلاز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (پاریدا و همکاران، ۲۰۰۴). هم‌چنین گزارش شده که تنش شوری باعث باز شدن حلقه‌های پورفیرینی کلروفیل شده و مواد سمی حاصل از این تجزیه به واکوئل‌ها منتقل و باعث از بین رفتن رنگ سبز برگ‌ها می‌شوند (پاریدا و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج پژوهش‌ها نشانگر این مطلب است که در اثر شوری، کلروفیل و کلروپلاست‌ها تجزیه می‌شوند (کافی و همکاران، ۲۰۱۱). از دلایل دیگر کاهش شاخص کلروفیل برگ در تیمارهای تحت تنش شوری، اختلال در جذب عناصری مثل منیزیم و آهن می‌باشد که در ساخت کلروفیل نقش اساسی دارند و با کاهش جذب آنها، سنتز کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (مونز، ۲۰۰۲).

غلظت سدیم، پتاسیم و کلر در برگ و ریشه

خلاصه جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت سدیم، پتاسیم و کلر در برگ و ریشه در جدول ۶ درج شده است. اثر شوری و اثر رقم بر غلظت سدیم و کلر برگ و ریشه و نسبت سدیم و کلر برگ به سدیم و کلر ریشه معنی‌دار بود. اثر رقم و اثر شوری بر میانگین شاخص‌های فوق در جدول ۷ درج شده است.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس غلظت سدیم، کلر و پتاسیم بافت های گیاهی پنج رقم سورگوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		سدیم برگ	سدیم ریشه	سدیم برگ به ریشه	کلر برگ	کلر ریشه	کلر برگ به ریشه	پتاسیم برگ	پتاسیم ریشه	پتاسیم برگ به ریشه
تکرار	۳	۰/۰۹ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۹ ns	۰/۰۸ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۲۴ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۷ ns
رقم	۴	۰/۹**	۰/۱۱*	۰/۲۳**	۰/۵۱**	۰/۱۷**	۰/۱۹**	۰/۱۶ns	۰/۳۴**	۰/۲۱**
شوری	۴	۹/۸**	۱۲/۸**	۰/۲۹**	۶/۵۰**	۸/۵**	۰/۲۵**	۱۲/۱۹**	۱/۹۲**	۰/۲۸**
اثر متقابل	۱۶	۰/۱۱ns	۰/۰۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۶ns	۰/۰۴ns	۰/۰۱ns	۰/۰۷ns	۰/۰۳ns	۰/۰۱ns
اشتباه	۷۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۸
ضریب تغییرات		۵/۳	۵/۲	۴/۶	۶/۴	۷/۲	۴/۳	۵/۶	۵/۷	۴/۱

علامت ns ، * و** به ترتیب به‌معنای عدم وجود تفاوت آماری معنی‌دار، تفاوت آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد و تفاوت آماری معنی‌دار در سطح یک درصد می باشد

جدول۷-مقایسه میانگین اثرات رقم بر غلظت سدیم، کلر و پتاسیم در بافت های گیاهی پنج رقم سورگوم (درصد در ماده خشک)

عامل متغیر	سدیم برگ	سدیم ریشه	نسبت سدیم برگ به ریشه	کلر برگ	کلر ریشه	نسبت کلر برگ به ریشه	پتاسیم برگ	پتاسیم ریشه	پتاسیم برگ به ریشه
رقم									
اسپیدفید	۰/۹۱b	۱/۴۳ab	۰/۶۱d	۰/۸۵e	۱/۴۱ab	۰/۵۶d	۲/۵۵a	۰/۸۸ab	۲/۸۹c
کیمیا	۰/۹۲b	۱/۳۲b	۰/۶۶cd	۰/۸۱d	۱/۲۳d	۰/۶۲cd	۲/۵۲a	۰/۷۹b	۳/۱۸b
پیام	۱/۱۳ab	۱/۴۳ab	۰/۷۴bc	۰/۹۵c	۱/۳۲c	۰/۶۶bc	۲/۵۰a	۰/۹۸a	۲/۵۵e
سپیده	۱/۳۱a	۱/۵۱a	۰/۸۰ab	۱/۰۵b	۱/۳۷bc	۰/۷۰ab	۲/۴۶b	۰/۸۳b	۲/۹۶d
پگاه	۱/۳۸a	۱/۴۹a	۰/۸۸a	۱/۲۱a	۱/۴۸a	۰/۷۴a	۲/۳۲c	۰/۶۳c	۳/۶۸a
شوری									
۰	۰/۱۵e	۰/۲۹e	۰/۵۳b	۰/۱۳e	۰/۳۰e	۰/۴۴e	۳/۴a	۱/۲۲a	۲/۷۸e
۴	۰/۷۴d	۱/۰۳d	۰/۷۴a	۰/۷۴d	۱/۲۶d	۰/۵۹d	۳/۰b	۰/۹۸b	۳/۰۶d
۸	۱/۲۱c	۱/۵۷c	۰/۸۰a	۱/۰۸c	۱/۵۴c	۰/۷۰c	۲/۵c	۰/۸۶c	۲/۹۰c
۱۲	۱/۶۶b	۲/۰۶b	۰/۸۰a	۱/۲۸b	۱/۷۰b	۰/۷۵b	۲/۰d	۰/۶۲d	۳/۲b
۱۶	۱/۸۹a	۲/۲۶a	۰/۸۳a	۱/۶۲a	۲/۰۱a	۰/۸۰a	۱/۴e	۰/۴۲e	۳/۳a

اعداد با علامت انگلیسی مشابه در هر ستون و برای هر عامل (شوری یا رقم) با هم تفاوت آماری معنی دار در سطح .... ندارند

غلظت سدیم برگ و ریشه

نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری در میزان سدیم برگ و ریشه ارقام سورگوم وجود دارد (جدول ۶) در این خصوص ارقام اسپیدفید و کیمیا کم‌ترین میزان سدیم برگ و ارقام سپیده و پگاه، بیش‌ترین میزان سدیم برگ و ریشه را دارا بودند (جدول ۷). نتایج نشان داد که غلظت سدیم در برگ و ریشه تحت تاثیر سطوح مختلف شوری می‌باشد. غلظت سدیم در برگ و ریشه با افزایش شوری، افزایش یافت. سدیم برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب ۳۹۳، ۷۰۶، ۱۰۰۶ و ۱۱۶۰ درصد نسبت به شاهد (۰/۱۵ درصد) افزایش نشان داد. سدیم ریشه نیز در تیمارهای فوق به‌ترتیب به میزان ۲۵۵ ، ۴۴۱، ۶۱۰ و ۶۷۹ درصد نسبت به شاهد (۰/۲۹ درصد) افزایش یافت (جدول ۷).

نسبت سدیم برگ به سدیم ریشه نیز مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. این نسبت، یک شاخص مهم برای ارزیابی تحمل به شوری در یک گونه می‌باشد. هر چه این نسبت کوچک‌تر باشد، به معنای انتقال کم‌تر سدیم از ریشه به برگ می‌باشد که نشان دهنده تحمل بیشتر گیاه به تنش شوری می‌باشد (ردی و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج نشان داد که رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کم‌ترین نسبت سدیم برگ به ریشه و رقم سپیده و پگاه بیش‌ترین مقدار این نسبت را دارا بودند. این بدین معنی است که رقم اسپیدفید و کیمیا مقدار کمتری از سدیم ریشه را به اندام‌های هوایی از جمله برگ ارسال کرده است و از طریق این سازوکار باعث افزایش تحمل به شوری گردیده است (جدول ۷). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که یکی از اثرات مخرب شوری در گیاه، جذب یون سدیم می‌باشد (مونز، ۲۰۰۲). با افزایش کلرید سدیم، غلظت سدیم در محلول خاک و در نتیجه جذب آن توسط گیاه افزایش می‌یابد و می‌تواند در گیاه سمیت ایجاد نموده و سبب ایجاد عدم توازن یونی در گیاه شود. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته (مظلومی و رونقی، ۲۰۱۲) نیز افزایش معنی‌دار غلظت سدیم در گیاه اسفناج را در حضور شوری نشان داد که با پژوهش حاضر همخوانی داشت. شوری باعث افزایش جذب سدیم ریشه شده و نهایتا این یون در برگ تجمع می‌یابد. یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان از جمله سورگوم، تجمع یون سدیم در ریشه و انتقال کم‌تر آن به برگ می باشد. در این راستا هر چه شاخص سدیم برگ به ریشه کوچک‌تر باشد، تحمل ژنوتیپ به شوری بیشتر است (کریشنامورتی و همکاران، ۲۰۰۷). سایر پژوهشگران نیز از این شاخص برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های سورگوم به شوری استفاده کرده‌اند (نصیرخان و همکاران، ۲۰۰۷).

غلظت کلر برگ و ریشه

نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری در غلظت کلر برگ و ریشه ارقام مختلف وجود دارد (جدول ۶). در این خصوص ارقام اسپیدفید و پیام کم‌ترین میزان کلر به‌ترتیب برگ و ریشه و رقم پگاه بیش‌ترین میزان کلر برگ و ارقام پگاه و اسپیدفید بیش‌ترین میزان کلر ریشه را دارا بودند (جدول ۷). نتایج این پژوهش نشان داد که ارقام با جذب کمتر کلر، عملکرد بیشتری تحت شرایط شور تولید کردند (جدول ۴). یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در گیاهان، ناشی از تجمع کم‌تر کلر در برگ است. در واقع کلر زیاد در بافت برگ، فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه را دچار اختلال می‌کند (تاسی و همکاران، ۲۰۰۴). مشخص شده است که تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به شوری از جذب کلر کمتر به وسیله ریشه و انتقال کمتر آن به اندام هوایی ناشی می‌شود (تیکل و تیمان، ۲۰۱۰). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که غلظت کلر در برگ و ریشه تحت تاثیر سطوح مختلف شوری می‌باشد. کلر برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۴۶۹، ۷۳۰، ۸۸۴ و ۱۱۴۶ درصد نسبت به شاهد (۰/۱۳ درصد) افزایش نشان داد. کلر ریشه نیز در تیمارهای فوق به ترتیب به میزان ۳۲۰، ۴۱۳، ۴۶۶ و ۵۶۶ درصد نسبت به شاهد (۰/۳۰ درصد) افزایش یافت (جدول ۷). نسبت کلر برگ به ریشه نیز مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد که رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کم‌ترین نسبت کلر

برگ به ریشه و رقم پگاه و سپیده بیش‌ترین مقدار این نسبت را دارا بودند. این بدین معنی است که رقم اسپیدفید و کیمیا مقدار کم‌تری از کلر ریشه را به اندام‌های هوایی از جمله برگ ارسال کرده است و از طریق این سازوکار باعث افزایش تحمل به شوری گردیده است (جدول ۷).

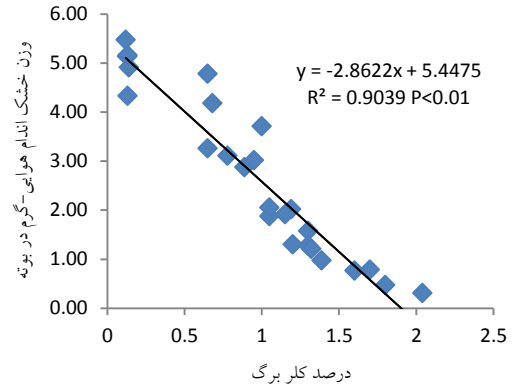
غلظت پتاسیم برگ و ریشه

نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف، از لحاظ غلظت پتاسیم برگ وجود ندارد، ولی غلظت پتاسیم در ریشه ارقام مختلف با هم تفاوت آماری معنی‌داری داشت (جدول ۶). بیشترین غلظت پتاسیم ریشه در ارقام پیام و اسپیدفید و کمترین مقدار آن در رقم پگاه مشاهده شد (جدول ۷). نتایج هم‌چنین نشان داد که اثر شوری نیز بر غلظت پتاسیم برگ و ریشه، معنی‌دار بود (جدول ۶). در این رابطه شوری باعث کاهش غلظت پتاسیم بافت‌های مختلف گیاه شد. پتاسیم برگ در تیمارهای شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۱۱/۷، ۲۶/۴، ۴۱/۱ و ۵۸/۸ درصد نسبت به شاهد (۳/۴ درصد) کاهش نشان داد. پتاسیم ریشه نیز در تیمارهای فوق به ترتیب به میزان ۱۹/۶، ۲۹/۵، ۴۹/۱ و ۶۵/۶ درصد نسبت به شاهد (۱/۲۲ درصد) کاهش یافت (جدول ۷). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که یون پتاسیم در حفظ تعادل اسمزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها و فعال‌سازی تعدادی از آنزیم‌های گیاهی نقش دارد (سزبرا و همکاران، ۲۰۰۹؛ سزبرا و همکاران، ۲۰۰۸). پتاسیم علاوه بر تاثیر اساسی بر متابولیسم‌های حیاتی گیاه، در شرایط تنش شوری بسیار با اهمیت جلوه می‌کند، به نحوی که مدیریت کارآمد پتاسیم در مقابل سدیم در گیاه، در شرایط شوری دارای اهمیت فراوانی است (مونز و تستر، ۲۰۰۸). یکی از عوامل موثر در شناسایی و گزینش لاین‌های متحمل به تنش شوری محتوای پتاسیم برگ است. تحت شرایط تنش شوری با توجه به کاهش پتاسیم و افزایش سدیم در گیاه، می‌توان به رابطه رقابتی بین سدیم و پتاسیم پی برد. افزایش سدیم باعث کاهش کاتیون‌های دیگر مانند پتاسیم و برهم زدن تعادل کاتیونی گیاه می‌شود (دنیلین و همکاران، ۲۰۱۴). کاهش پتاسیم تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به دلیل رقابت سدیم بر سر مکان‌های اتصال به ناقل‌ها در غشای پلاسمایی و یا نشت پتاسیم به‌دلیل عدم ثبات غشا باشد (فرریا سیلوا و همکاران، ۲۰۰۸). اگر تنش شوری با کمبود پتاسیم همراه شود، صدمه به گیاه شدیدتر می‌شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که تنش شوری موجب کاهش نسبت K^+/Na^+ می‌گردد که در نتیجه افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم می‌باشد (نصیرخان و همکاران، ۲۰۰۷). هم‌چنین افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم در اثر تنش شوری توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (تاهیر و همکاران، ۲۰۱۰). رابطه قوی بین نسبت سدیم به پتاسیم برگ و تحمل به شوری در گیاه گزارش شده است (نتندو و همکاران، ۲۰۰۴.، لاسردا و همکاران، ۲۰۰۳). این پژوهشگران بیان نمودند این ویژگی می‌تواند به‌عنوان یک عامل مهم در انتخاب ارقام توسط اصلاح‌گرها به‌کار گرفته شود. درنتیجه می‌توان بیان داشت که تجمع کمتر یون سدیم نوعی واکنش دفاعی به تنش شوری است و رقم اسپیدفید و کیمیا از این مکانیسم برای تحمل به شوری استفاده کرده‌اند.

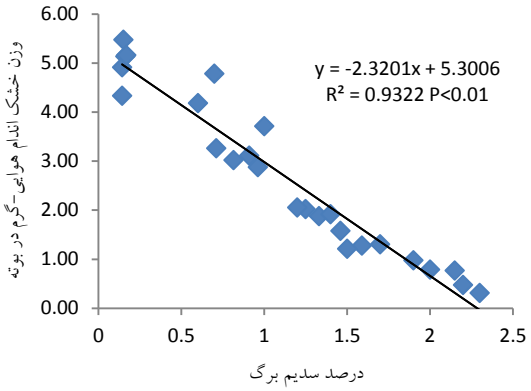
همبستگی غلظت سدیم و کلر برگ با وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل

به منظور مشخص شدن تاثیر سدیم و کلر بر وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک کل، اقدام به تعیین همبستگی بین غلظت کلر و سدیم برگ با وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل گردید. نتایج نشان داد که بین غلظت کلر و سدیم برگ با وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل همبستگی معنی‌دار منفی وجود دارد. شیب خط برازش در مورد کاهش وزن خشک اندام-های هوایی و وزن خشک کل با کلر منفی‌تر از شیب خط برازش کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل با سدیم بود (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵). یکی از مکانیسم های تحمل به شوری در گیاهان ناشی از تجمع کمتر کلر

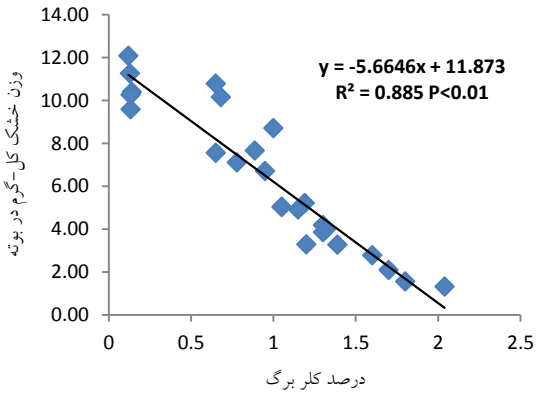
در برگ است. در واقع کلر زیاد در بافت‌های برگ، فرایندهای فیزیولوژیک گیاه از جمله چذب و متابولیسم یون نیترات را دچار اختلال می‌کند (تاسی و همکاران، ۲۰۰۴). مشخص شده است که تحمل ژنوتیپ‌های مختلف به شوری از جذب کلر کمتر به وسیله ریشه و انتقال کمتر آن به اندام هوایی ناشی می‌شود (تاکل و تیرمان، ۲۰۱۰). ارتباط منفی معنی‌داری بین میزان عناصر کلر و سدیم در برگ و ریشه با وزن خشک کل گیاه توسط سایر پژوهشگران نیز اعلام شده است. نتایج یک پژوهش در خصوص اثر سطوح مختلف شوری بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک نیشکر نشان داد که وزن خشک کل همبستگی منفی با غلظت سدیم و کلر برگ دارد، به گونه‌ای که شیب خط برازش در مورد کاهش وزن خشک اندام هوایی نیشکر با کلر (۱۳۱/۷-) منفی‌تر از شیب خط برازش کاهش وزن خشک اندام‌هوایی نیشکر با سدیم (۹۶/۲-) بود (سلطانی هویزه و همکاران، ۱۳۸۸). با افزایش غلظت عناصر سمی (سدیم وکلر) ، گیاه تحت تأثیر اثرات سوء این یون‌ها قرارگرفته، دچار سمیت یونی و به‌هم خوردن تعادل عناصر غذایی گذشته در نتیجه بسیاری از فرایندهای طبیعی و فیزیولوژیکی گیاه دچار اختلال می‌گردد. کاهش سطح برگ و کاهش تعداد برگ (که همبستگی منفی با محتوای سدیم و کلر دارند) منجر به کاهش فتوسنتز گشته ، در نتیجه تولید گیاه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر پدیده تحمل به شوری یک پدیده انرژی‌خواه است. گیاه برای مقابله با اثرات مضر شوری مجبور به مصرف انرژی بیشتر می‌باشد. بدین ترتیب در این شرایط مقدار کمتری از تولیدات فتوسنتزی به مصرف تولید ماده خشک و عملکرد می‌رسد بنابراین وزن خشک کل گیاه با افزایش محتوای عناصر سمی کلر و سدیم کاهش می‌یابد (سلطانی‌هویزه و همکاران، ۱۳۸۸)



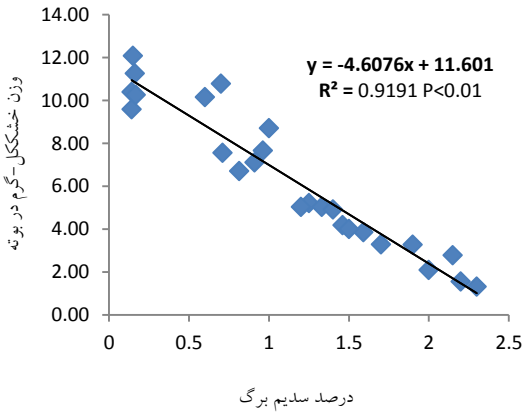
شکل ۲- همبستگی کلر برگ با وزن خشک اندام هوایی



شکل ۳- همبستگی سدیم برگ با وزن خشک اندام هوایی



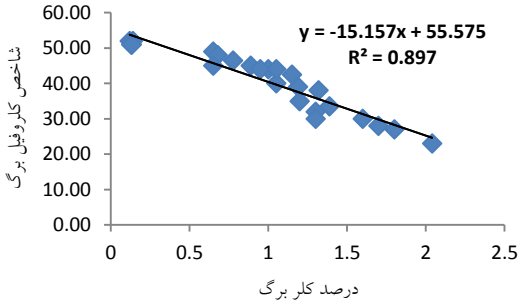
شکل ۴- همبستگی کلر برگ با وزن خشک کل



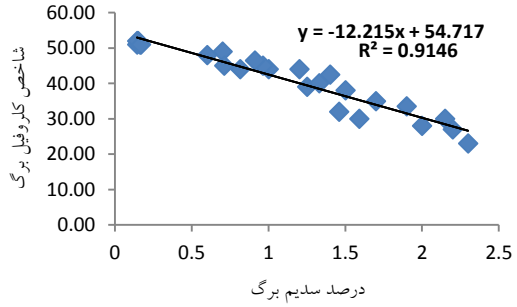
شکل ۵- همبستگی سدیم برگ با وزن خشک کل

همبستگی غلظت سدیم و کلر برگ با شاخص کلروفیل برگ

به‌منظور مشخص شدن تاثیر غلظت سدیم و کلر برگ بر شاخص کلروفیل آن، همبستگی بین کلر و سدیم برگ با شاخص کلروفیل بررسی گردید. نتایج نشان داد که بین غلظت کلر و سدیم برگ با شاخص کلروفیل آن، همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد. شیب خط برازش در مورد کاهش شاخص کلروفیل برگ با کلر منفی‌تر از شیب خط برازش کاهش شاخص کلروفیل برگ با سدیم بود (شکل‌های ۶ و ۷). تخریب کلروفیل در اثر شوری توسط سایر محققین نیز گزارش شده است و با یافته‌های این پژوهش مطابقت داشت. تنش شوری از طریق کاهش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و منیزیم که اتم مرکزی ملکول کلروفیل می‌باشد، موجب محدودشدن ساخت کلروفیل می‌گردد (صفری و همکاران، ۲۰۱۵). بر اثر تنش شوری، تغذیه گیاه مختل شده و کلروفیل یا کم تشکیل شده و یا این که تجزیه می‌شود. در نتیجه، غلظت آن کاهش یافته و دستگاه کلروفیل سنج عدد کمتری را نشان می‌دهد (نجفی و سرهنگ‌زاده، ۲۰۱۲). در شرایط تنش به واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، افزایش ترکیبات فنلی و کاهش جذب نیتروژن از غلظت کلروفیل برگ کاسته می‌شود (رسام و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج سایر تحقیقات نیز موید وجود همبسنگی منفی معنی-دار بین غلظت سدیم و کلر برگ با شاخص کلروفیل برگ می‌باشد (سیلسپور و همکاران، ۱۳۹۵).



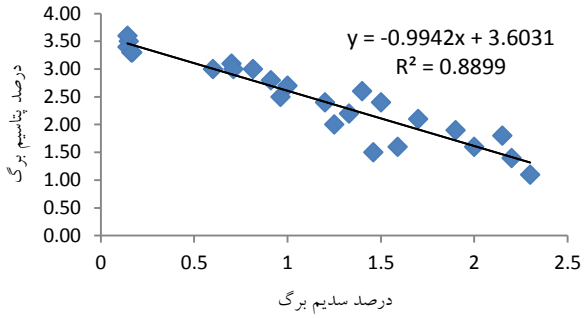
شکل ۶- همبستگی کلر برگ با شاخص کلروفیل برگ



شکل ۷- همبستگی سدیم برگ با شاخص کلروفیل برگ

همبستگی غلظت سدیم و پتاسیم برگ

به‌منظور مشخص شدن تاثیر غلظت سدیم برگ بر غلظت پتاسیم آن، اقدام به تعیین همبستگی بین این دو متغیر گردید. نتایج نشان داد که همبستگی منفی با شیب ۰/۹۹- بین غلظت سدیم برگ و غلظت پتاسیم آن وجود دارد. به عبارت دیگر، سدیم باعث کاهش جذب پتاسیم در برگ شده بود (شکل ۸). پژوهشگران بیان کردند که بالا رفتن سطح کلرید سدیم در محیط ریشه، جذب عناصر غذایی بویژه پتاسیم را کاهش می‌دهد (اجمل‌خان و گلزار، ۲۰۰۳) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین پژوهشگران دیگر بیان نمودند که گیاهانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند میزان زیادی سدیم جذب می‌کنند که در نهایت سبب کاهش پتاسیم گیاه می‌گردد (هاسگاوا و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل ۸- همبستگی غلظت پتاسیم و سدیم برگ

نتیجه‌گیری

بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به رقم اسپیدفید و کیمیا بود که تفاوت آماری معنی‌داری با سایر ارقام داشتند. هم‌چنین بیشترین وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته و سطح برگ نیز مربوط به رقم اسپیدفید بود که تفاوت آماری معنی‌داری با سایر ارقام داشت. رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کم‌ترین نسبت سدیم برگ به ریشه و رقم پگاه بیش-ترین مقدار این نسبت را دارا بود. همچنین رقم اسپیدفید و کیمیا دارای کم‌ترین نسبت کلر برگ به ریشه و رقم پگاه بیش‌ترین مقدار این نسبت را دارا بود. بنابراین چنین نتیجه-گیری شد که رقم اسپیدفید مقدار کم‌تری از سدیم و کلر ریشه را به اندام‌های هوایی از جمله برگ ارسال کرده است و از طریق این سازوکار باعث افزایش تحمل به شوری گردیده است. یکی از عوامل موثر در شناسایی و گزینش لاین‌های متحمل به تنش شوری محتوای پتاسیم برگ است. تحت شرایط تنش شوری با توجه به کاهش پتاسیم و افزایش سدیم در گیاه، می‌توان به رابطه رقابتی بین سدیم و پتاسیم پی برد. افزایش سدیم باعث کاهش کاتیون‌های دیگر مانند پتاسیم و برهم‌زدن تعادل کاتیونی گیاه می‌شود و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد. بر اساس نتایج این پژوهش، بر اساس ضریب حساسیت به شوری فیشر، محتوای کلربرگ، سطح برگ و وزن خشک ریشه، رقم اسپیدفید متحمل‌ترین رقم و پگاه حساس‌ترین رقم به شوری شناخته شد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی "مطالعه تحمل به شوری در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم و امکان-سنجی افزایش تحمل به شوری با کاربرد سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید" با شماره ۹۷۰۳۵۶-۰۳۵-۱۰-۴۱-۲۴ است که بدین‌وسیله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (www.areeo.ir)، موسسه تحقیقات خاک و آب (www.swri.ir) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران (www.tehran.areeo.ac.ir) تشکر می‌گردد.

فهرست منابع

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵ روش‌های تجزیه گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۹۸۲. کرج. ایران

۲. امداد، م. ر. و فرداد. ح. ۱۳۷۹. اثر تنش شوری و رطوبتی بر عملکرد ذرت. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۱. ۶۴۱-۶۵۴

۳. آناقلی، ا.، طباطبایی، س. ع و فومن، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل به شوری ارقام سورگوم علوفه‌ای با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد ۳، شماره ۱، ۸۹-۱۰۲

۱. ثابت‌تیموری، م. ح. خزاعی، ا و نصیری‌محلاتی. م. ۱۳۸۶ . تأثیر سطوح مختلف شوری بر فعالیت آنزیم آنتی-اگسیدان برگ و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کنجد. مجله پژوهش‌های آب در کشاورزی، جلد ۴. ۱۰۹-۱۱۹.

۲. چوگان، ر.، حیدری، ع. ر.، محمدی، ع. و حدادی، م. ح. ۱۳۸۷. ارزیابی تحمل به خشکی در هیبریدهای ذرت دانه ای با استفاده از شاخص های تحمل به خشکی. گیاه و خاک.جلد ۲۴. شماره ۳. ۵۴۳-۵۶۲.

۳. حیدری شریف‌آباد، ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، ۱۹۰ صفحه.

۴. خدارحم‌پور، ز و سلطانی، آ. رتبه‌بندی لاین‌های سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L) به تنش شوری بر اساس رشد اولیه گیاهچه. ۱۳۹۲. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۵. شماره ۱۸. ۴۹-۶۵.

٤. رنجبر, غ. و سلطانی گردفرامرزی، و. ۱۳۹۶. مقایسه عملکرد و غلظت عناصر برگ سورگوم و کوشیا در شوری‌های مختلف آب آبیاری و تراکم کوشیا. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۱. شماره ۱. ۲۹-۴۲.

۵. سلطانی حویزه، م.، و میرمحمدی میبدی، س.، و ارزانی، ا.. ۱۳۸۸. بررسی همبستگی صفات مرفوفیزیولوژیک با عملکرد وزن خشک ارقام تجاری و امیدبخش نیشکر تحت شرایط تنش شوری در ابتدای مرحله رشد رویشی. فیزیولوژی گیاهان زراعی, جلد ۲ شماره ۱، ۲۶-۳۳.

٦. سیلسپور، م، گلچین، ا و روزبان، م. ۱۳۹۵. ارزیابی پاسخ‌های رشدی دو رقم زیتون در شرایط شوری. به زراعی کشاورزی، دوره ۱۸، شماره ۱.

۷. شریفان، ح. و کاظمی‌حسنوند م. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سورگوم تحت شرایط آبیاری با آب دریای خزر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۹. ۱۶۹-۱۶۳.

۸. صفری محمدیه، ز. مقدم، م. عابدی، ب. و سمیعی، ل ۱۳۹۴. تأثیر تنش شوری بر برخی از پارامترهای عملکرد و خصوصیات مورفولوژیکی نعناع (*Mentha spicata L*) در شرایط هیدروپونیک. مجله علوم و فناوری کشت‌های گلخانه‌ای. جلد ۶. شماره ۳. ۹۷-۱۰۷.

۵. علی‌نیا، م و کاظمینی، س. ع. ۱۳۹۶. اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۷، شماره ۲.

۶. علی نیایی فرد, س، طباطبایی، س. ج.، حاجیلو، ج.، چاپار زاده, ن. ۱۳۸۷. تاثیر مواد آنتی اکسیدانت و شوری بر خصوصیات فتوسنتزی و رشد رویشی زیتون رقم زرد. علوم باغبانی ایران, جلد ۳۹. شماره ۱.

۷. گلعین، ب.، میرعباسی، ف.، ربیعی، و.، فیفایی، ذ. ۱۳۹۲. اثر تنش شوری بر میزان کلر، سدیم، پتاسیم، کلروفیل و قندهای محلول در نژادگان‌های مرکبات. تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۷، شماره ۳. ۱۸۳-۱۷۳.

۸. مقصومی هلاسو، س. و پوراکبر، ل. ۱۳۹۳. اثرات تنش شوری بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی نهال گندم (*Triticum aestivum* L). مجله زیست شناسی گیاهی ایران. جلد ۶. شماره ۱۹. ۳۱-۴۲.

۹. مولوی، ح. محمدی، م. و لیاقت. ع. ۱۳۹۱. اثر مدیریت آب شور طی دوره رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و پروفیل شوری خاک. مجله علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۵. ۱۱-۱۸.

10. Ajmal Khan, M. and Gulzar, S. 2003. Germination responses of Sporobolus ioclados: A saline desert grass. Journal of Arid Environments. 53, 387-394.
11. Archangi A, Khodambashi M, Mohammadkhani A. 2012. The effect of salt stress on orphological characteristics and Na^+, K^+ and Ca^{2+} ion contents in medicinal plant fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) under hydroponic culture. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3 (2), 33-41.
12. Ashraf, M., McNeilly, T. and Bradshaw. A. D. 2006. Selection and habitability of tolerance to sodium chloride in four forage species. Crop Sci. 227: 232- 234.
13. Chauhan, R., Chaudhary, R., Singh, A. and Singh. P. K. 2012. Salt tolerance of Sorghum bicolor cultivars during germination and seedling growth. Research Journal of Recent Sciences, 1(3): 1-10.
14. Craine, J. M. 2005. Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. Journal of Ecology 93: 1041-1052.
15. Croser, C., Renault, S., Franklin, J. and Zwiazek, J. 2001. The effect of salinity on the emergence and seedling growth of piceamorian, picceaglausa and pinusbanksiana. Environ. Poll. 115:6-16.
16. Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G. and Schroeder, J. I. 2014. Plant salttolerance mechanisms. Trends in Plant Science 19: 371-379.
17. Demir Kaya, M. & Ipek, A. 2003. Effect of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (Carthamus tinctorius L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27, 221-227.
18. Demiral, T. and Turkan, I. 2004. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environ. Exp. Bot. 53: 247-257.
19. Ferreira-Silva, S. L., Silveira, J., Voigt, E., Soares, L. and Viegas, R. 2008. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. Brazilian Journal of Plant Physiology 20: 51-59.
20. Francois, L.E., Donovan, T.J. and Maas, E.V. 1984. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorghum. Agron. J. 76: 741–744.
21. Hasegawa, P. M. Bressnan, R. A. Zhu, J. K. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51, 463-499.
22. Henggeler, J.C. 2005. The conjunctive use of saline irrigation water on deficit-irrigated cotton. Ph.D Thesis. Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M University.
23. Huang, C.H. Zong, L. Buonanno, M. Xue, X. Wang, T. and Tedeschi, A. 2012. Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (Cucumismelo cv. Huanghemi) in northwest China: European Journal of Agronomy 43: 68-76.
24. Jacobsen S. E., Mujica. A and Jensen, C. R. 2003. Resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.) to adverse, abiotic factors. J. Exp. Bot., 54: 21-21.
25. Kafi, M., Nabati, J. and Mehrjerdi, Z.M. 2011. Effect of salinity and silicon application on oxidative damage of sorghum (Sorghum bicolor L.). Pak. J. Bot. 43: 2457-2462.
26. Kazemzadeh Haghighi, A. 2008. Evaluation of salinity tolerance in relation to proline accumulation and soluble sugars in nine forage sorghum varieties. Biology Journal 1 (1): 15-23.
27. Koyro, H.W and Eisa, S. S. 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of Chenopodium quinoa Willd. Plant Soil 302: 79-90.
28. Krishnamurthy, L., Serraj, R., Hash, A., and Reddy, B. V. 2007. Screening sorghum genotypes for salinity tolerant biomass production. Euphytica 156: 15-24.
29. Lacerda, C. F., Cambraia, J., Oliva, M. A., and Prisco, J. T. N. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany 49: 107-120.

30. Maas, E.V., and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance–current assessment. Journal of Irrigation and Drainage. Div. ASCE. 103:115– 134.
31. Mane, A. V., Deshpande, T. V., Wagh, B. A and Samant, J. S. 2011. Acritical review on physiological changes associated with reference to salinity. International Journal of Environmental Science 1(6): 1192-1216.
32. Mazloomi, F. and Ronaghi, A. 2012. Effect of salinity and phosphorus on growth and chemical composition of two varieties of spinach. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3(1), 85-96.
33. Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25:239-250.
34. Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.
35. Najafi, N. and Sarhangzadeh, E. 2012. Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 3 (2), 1-15.
36. NasirKhan, M., Manzer, H., Sedighqui, M., Khan, A., and Naeen, M. 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. World Journal of Agricultural Science. 3(5), 685-695.
37. Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. 2004. Sorghum and Salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescece of sorghum under salt stress. Crop Science 44: 806-811.
38. Parida, A. K. and Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicol. Environ.Safety 60: 324-349.
39. Parida, A. K., Das, A. B and Mittra, B. 2004. Effects of salt on growth, Ion accumulation photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove. Trees. 18:167-174.
40. Rassam, G. Dadkhah, A. and Khoshnoud Yazdi, A. 2015. Evaluation of Water Deficit on Morphological and Physiological Traits of Hyssop (Hyssopus officinalis L.). Journal of Agronomy Sciences. 5(10), 1-12. Reddy, B. V. S., Ashok Kumar, A., Sanjana Reddy, P., Ibrahim, M., Ramaiah, B., Dakheel, A. J., Ramesh, S. and Krishnamurthy, L. 2010. Cultivar options for salinity tolerance in sorghum. Journal of SAT Agricultural Research 8: 1-5. Available online at: http:// ejournal.icrisat.org.
41. Redmann, R. E., Qi, M. Q. and Belyk, M. 2005. Growth of sorghum varieties in response to soil salinity. Can. J. Plant Sci. 94: 797- 799.
42. Rengasamy, P. 2010. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. Funct. Plant Biol., 37: 613-620.
43. Soleimani, M. R., Kafi, M., Ziaee, M. and Shabahang, J. 2008. Effect of limited irrigation with saline water on forage of two local populations of Kochia scoparia L. Schrad. Journal of Water and Soil 22: 148-156Szczerba M. W., Britto D. T. and H. J. Kronzucker 2009. K+ transport in plants: physiology and molecular biology. Plant Physiology. 166: 447-466.
44. Szczerba M. W., Britto D. T., Balkos K. D. and Kronzucker, H. J. 2008. NH4+-stimulated and -inhibited components of K+ transport in rice (Oryza sativa L.). Experimental Botany, 59: 3415–3423.
45. Tabatabaei, S. A., Kouchaki, A. R. and Molasadeghi, J. 2014. Evaluation of salinity tolerance of barley cultivars in vitro and field conditions. Crop Physiology Journal 5 (20): 87-101.
46. Tahir, M., NaeemIqbal, H.R., MuhammaQasim, M., and Yasin, A. 2010. Growth modulation and ion partitioning in salt stressed sorghum (*Sorghum bicolor* L.) by ezogenous supply of salicylic acid. Pakistan Journal of Botany, 42, 3047-3054.
47. Teakle, N. L. and Tyerman, S. D. 2010. Mechanisms of Cl transport contributing to salt tolerance. Plant, Cell and Environment 33: 566-589.
48. Teakle, N. L. and Tyerman, S. D. 2010. Mechanisms of Cl transport contributing to salt tolerance. Plant, Cell and Environment 33: 566-589.
49. Trognitz, B. R. 2003. Prospects of breeding quinoa for tolerance to abiotic stress. Food Rev. Int. 19: 129-137.
50. Tsai, Y. C., Hong, C. Y., Liu, L. F. and Kao, H. 2004. Relative importance of Na+ and Cl–

in NaCl induced antioxidant systems in roots of rice seedlings. Physiologia Plantarum 122: 86-94.

51. Tsai, Y. C., Hong, C. Y., Liu, L. F. and Kao, H. 2004. Relative importance of Na+ and Cl– in NaCl induced antioxidant systems in roots of rice seedlings. Physiologia Plantarum 122: 86-94.
52. Volkmar, K., Hu, Y., and Steppuhn, H. 1998. Physiological responses of plants to salinity: A review. Can. J. Plant Sci. 78: 19-27.
53. Zayed, B. A., Salem, A. K. M. and El-Sharkawy, H. M. 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journalof Agricultural Sciences 7 (2): 179-184.
54. Zheng, Y., Aijun, J., Tangyuan, N., Xud, J., Zengjia, L. and Gaoming, J. 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. Journal of Plant Physiology 165: 32-41

Evaluation of Growth and Physiological Responses of Sorghum Varieties to Irrigation Water Salinity

M. Seilsepour[1]

Assistant Professor, Greenhouse Cultivation Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Varamin, Iran.

mseilsep@yahoo.com

Received: December 2021, and Accepted: June 2022

Abstract

In this study, salinity tolerance of five sorghum varieties (Speedfeed, Kimia, Payam, Sepideh, and Pegah) was studied using five irrigation water salinity levels (non-saline water, 4, 8, 12 and 16 dS/m) in the greenhouse. The statistical design was a factorial randomized complete block design with 25 treatments and four replications. The studied traits included plant height, leaf area, dry weight of roots and shoots, ratio of dry weight of roots to shoots, leaf chlorophyll index, concentration of sodium, chlorine and potassium in leaves and roots. The effect of variety and the effect of salinity stress on the mean of all measured traits were significant ($P < 0.01$). At salinities of 4, 8, 12, and 16 dS/m, shoot dry weight was lower than the control (5.72 g/plant) by16.2%, 35.1%, 55.7%, and 69.4%, weight of dried roots lost 26.6%, 53%, 72% and 82%, compared to the control (5 g/plant), and the leaf area of the plants decreased by 29.4%, 58.3%, 75.5%, and 86.3% compared to the control, respectively. There was a negative correlation between chlorine and leaf sodium concentrations with shoot dry weight. Fisher stress sensitivity coefficient was used to evaluate the salinity sensitivity of cultivars based on shoot dry weight. Based on this coefficient, Speedfeed variety had the lowest salinity sensitivity coefficient (0.73) and Pegah cultivar had the highest (1.21). Regression was determined between different salinity levels with shoot dry weight for each cultivar. Accordingly, Speedfed, Kimia, Payam, Sepideh, and Pegah cultivars suffered a 50% reduction in shoot dry weight in salinities of 13.89, 12.95, 9.73, 9.62 and 9.50 dS/m. Based on the results, Speedfeed variety had a higher salinity tolerance than other cultivars and is recommended for cultivation in saline soil and water conditions.

Keywords: Salinity stress, Salinity tolerance, Fisher and Maurer Stress Sensitivity Coefficient, Speedfeed variety

[1] - Corresponding author: Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Varamin, I.R. Iran.