اثر حذف مقصد و محلول‌پاشی منیزیم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد قند دو رقم سورگوم شیرین

سمیه نظارت[۱]، احمد غلامی[۲*]، مهدی برادران فیروزآبادی[۲] و حمیدرضا اصغری[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۱)

چکیده

در سال‌های اخیر کمبود آب در کشور به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیاز به جایگزینی کشت چغندرقند با گیاهانی با راندمان مصرف آب بالاتر را بیش از پیش نمایان ساخته است. سورگوم شیرین از جمله گیاهان قندی است که با نیاز آبی کم و سازگاری بالا به شرایط محیطی امکان تولید اقتصادی قند را در مناطق مختلف فراهم می‌کند. هرچند جنبه‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر عملکرد قند در این گیاه به‌طور کامل شناخته شده نیست. آزمایش حاضر به بررسی اثر حذف مقصد به‌عنوان یک عامل محدودکننده تولید قند و محلول‌پاشی منیزیم به‌عنوان عاملی در بهبود رشد گیاه بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد در دو رقم سورگوم شیرین پرداخته است. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در طی دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) در مرکز تحقیقات کشاورزی شاهرود به اجرا درآمد. عوامل آزمایش شامل دو رقم سورگوم شیرین (KFS۲ وKFS۳)؛ تیمارهای حذف مقصد (شاهد، حذف مکانیکی و حذف شیمیایی با استفاده از اتفون) و محلول‌پاشی غلظت‌های منیزیم (صفر، چهار و هشت میلی‌مولار) بودند. نتایج آزمایش نشان داد اثر متقابل رقم، حذف مقصد و محلول‌پاشی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار بود که نتیجه آن افزایش میزان قند کل و عملکرد قند بود. بیشترین میزان عملکرد قند در هر دو رقم از حذف شیمیایی و غلظت‌های چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم به‌دست آمد. در دو رقم مورد بررسی شاخص سطح اسمیلات‌کننده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر حذف مقصد قرار گرفت و بیشترین میزان این شاخص از حذف شیمیایی در رقم KFS۲ به‌میزان ۶۵/۲ گرم قند به‌ازای هر مترمربع سطح برگ به‌دست آمد که در کنار سایر صفات مورد بررسی بیانگر افزایش توان فتوسنتزی گیاه در نتیجه حذف مقصد به‌ویژه از طریق حذف شیمیایی با اتفون است. با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار در بیشتر صفات بین سطوح چهار و هشت میلی‌مولار، سطح چهار میلی‌مولار منیزیم مناسب‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: سولفات منیزیم، عملکرد قند، رنگیزه‌های فتوسنتزی، اتفون

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ahgholami@yahoo.com

مقدمه

سورگوم شیرین (*Sorghum bicolor* L. Moench) نوعی از سورگوم است که به‌دلیل ذخیره مقادیر قابل‌توجهی از قندهای محلول در ساقه انتخاب شده است و با تعداد محدودی ژن که مسئول تجمع و ذخیره قند در سلول‌های پارانشیم ساقه هستند از سورگوم دانه‌ای متمایز می‌شود (۳۴). این گیاه با نیاز آبی کم (یک‌سوم نیشکر و یک‌دوم ذرت) ، دوره رشد کوتاه (سه تا پنج ماه)، توان تولید ماده خشک بالا (۴۰-۲۰ تن در هکتار) و ذخیره قندهای قابل تخمیر در ساقه، توانایی رشد در شرایط اقلیمی و خاک‌های نامناسب را داشته و بر این اساس به‌عنوان گیاهی نوین در چرخه تولید قند و سوخت‌های زیستی معرفی شده است (۱۳ و ۳۳).

از نظر فیزیولوژیکی سورگوم شیرین گیاهی چهارکربنه است و مدیریت زراعی مطلوب می‌تواند سبب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و تخصیص آنها به ساقه به‌عنوان مقصد اصلی شود که در نهایت منجر به بهبود عملکرد قند حاصل از شیرابه‌های ساقه می‌شود (۹). فرایند گل‌دهی از جمله عوامل مؤثر بر میزان تولید قند در این گیاه به‌شمار می‌رود. با ورود گیاه به مرحله زایشی، مواد فتوسنتزی که در طول فصل در ساقه ذخیره شده به دانه‌های در حال رشد انتقال می‌یابند. کاهش تولید اقتصادی قند و افت کیفیت آن از جمله مشکلاتی است که فرایند گل‌دهی در کشت تجاری سورگوم شیرین به وجود می‌آورد (۱۳). در مقابل افزایش محتوای قند، درجه خلوص شیرابه، درجه بریکس و در نهایت عملکرد قند از جمله نتایج حذف خوشه به‌عنوان مقصد در سورگوم شیرین گزارش شده است (۵). برای حذف مقصد در سورگوم شیرین می‌توان پیش از خروج خوشه از غلاف اقدام به حذف مکانیکی اندام زایشی کرد که در سطح وسیع این عمل با سامانه‌های مکانیزه موجود در مزارع نیشکر قابل انجام است. امروزه ترکیبات شیمیایی کارامدتر و کم‌هزینه‌تر نیز برای رفع این معضل در مزارع نیشکر به‌کار گرفته می‌شوند (۳۱). اتفون با نام علمی ۲-کلرواتیل فسفونیک اسید (2-Chloroethylphosphonic acid) ترکیبی است که می‌تواند با آزادسازی اتیلن به‌عنوان بازدارنده گل‌دهی در گیاهان عمل نماید (۲۷). هاردی و همکاران (۲۰) با بررسی تأثیر اتفون در دو رقم نیشکر نشان دادند که این ترکیب با توقف فرایند گل‌دهی می‌تواند عملکرد گیاه را بیش از ۳۰ درصد افزایش دهد. هام (۲۲) نیز نشان داد کاربرد اسرل (اتفون ۴۸ درصد) علاوه بر آنکه می‌تواند عملکرد قند و میزان تجمع ساکارز به‌عنوان قند اصلی را در ارقام مختلف نیشکر افزایش دهد سبب کاهش شدید میزان گل‌دهی در این گیاه می‌شود که میزان تأثیر آن با توجه به غلظت و زمان کاربرد متفاوت است. در ایران هنوز مطالعه دقیقی روی تأثیر حذف مقصد به‌ویژه با استفاده از اتفون بر سورگوم شیرین صورت نگرفته است و مطالعات موجود تنها به بررسی تأثیرات اتفون به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در این گیاه پرداخته است (۱).

علاوه بر حذف مقصد، محلول‌پاشی عناصر غذایی روشی مؤثر در افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نهایت عملکرد گیاه در فاصله زمانی کوتاه به‌شمار می‌رود (۱۴). منیزیم یکی از عناصر معدنی اصلی است که در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه دخالت دارد و به‌صورت مستقیم رشد و نمو را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۹). اصلی‌ترین نقش منیزیم در گیاه حضور آن در ساختار مولکول کلروفیل در کمپلکس جذب نور در کلروپلاست و تولید مواد فتوسنتزی است (۸). همچنین این عنصر به‌عنوان کوفاکتوری اساسی در بسیاری از فرایندهای آنزیمی مرتبط با فسفوریلاسیون، دفسفوریلاسیون و هیدرولیز ترکیبات مختلف عمل می‌کند (۲۹). غلظت بحرانی این عنصر در گیاه سورگوم با نمونه‌برداری از برگ‌های پایین قبل از خوشه رفتن ۰/۲۵ درصد است (۳۰). مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی منیزیم به‌تنهایی یا در ترکیب با سایر ریزمغذی‌ها می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ پرچم، میزان کلروفیل برگ و ماده خشک تولید شده در گیاهان داشته باشد (۱۲). این ترکیب قادر است از طریق تأثیر بر سوخت‌وساز ساکارز، تأثیر بر

فعالیت بافت‌های مقصد و بارگیری در بافت آبکش سبب افزایش عملکرد قند در گیاهان قندی شود (۲۱ و ۲۳). در واقع کمبود منیزیم بارگیری ساکارز در آوند آبکش را از طریق کاهش ترکیب Mg-ATP تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه فعالیت H+-ATPase را که نیروی محرک برای بارگیری فعال ساکارز است، محدود می‌کند (۲۹). تن و همکاران (۴۰) نشان دادند کاربرد منیزیم با توجه به میزان حساسیت ژنوتیپ‌های سورگوم به خاک‌های اسیدی سبب افزایش ماده خشک گیاه می‌شود. جزک و همکاران (۲۴) افزایش میزان شاخص سبزینگی، سرعت فتوسنتز خالص و ماده خشک اندام هوایی را در نتیجه محلول‌پاشی سولفات منیزیم در ذرت گزارش دادند.

علی رغم مزایایی که برای سورگوم شیرین به‌عنوان گیاهی قندی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل تصور است، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تأثیر حذف گل‌دهی به‌عنوان عامل محدودکننده عملکرد قند و نیز بهبود تغذیه معدنی گیاه با هدف افزایش تولید در سورگوم شیرین انجام نگرفته است. این پژوهش به ارزیابی تأثیر منیزیم از منبع سولفات منیزیم بر بهبود شرایط رشد گیاه و حذف یکی از مقصدها (اندام زایشی) با روش‌های مختلف با هدف تغییر روند تخصیص مواد فتوسنتزی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد قند در دو رقم داخلی سورگوم شیرین پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی شاهرود در طی دو سال زراعی۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در نظر گرفته شد که عامل اول دو رقم سورگوم شیرین (KFS2 و KFS3)؛ عامل دوم سطوح مختلف حذف مقصد در سه سطح (شاهد- عدم حذف، حذف مکانیکی و حذف شیمیایی) و عامل سوم محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف منیزیم در سه سطح (صفر، چهار و هشت میلی‌مولار) بود.

ارقام مورد بررسی از منابع ژنتیکی بخش ذرت و گیاهان علوفه‌ای مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر هستند و با دوره رشد ۱۲۰ روز مناسب کشت در مناطق گرم و خشک به‌شمار می‌روند.

برای حذف مکانیکی، پیش از خروج خوشه از غلاف، بخش انتهایی ساقه برش داده شد (۱۳). برای انجام حذف شیمیایی، پیش از تمایز نقطه رشدی (آغاز مرحله سه رشدی (S_3) در سورگوم) محلول‌پاشی اتفون (با خلوص ۹۸ درصد) با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر روی اندام‌های هوایی گیاه در ساعات خنک و صبح زود صورت پذیرفت.

سطوح مختلف منیزیم از منبع سولفات منیزیم ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) پس از محاسبه مقدار منیزیم مورد نیاز، به‌صورت دو بار محلول‌پاشی با فاصله زمانی ۱۰ روز در مرحله سوم رشدی گیاه اعمال شد. به‌منظور تصحیح اثر رطوبت ناشی از محلول‌پاشی روی بوته‌ها، در تیمار صفر منیزیم (شاهد) محلول‌پاشی با آب خالص صورت گرفت. مشخصات خاک محل آزمایش در طی دو سال در جدول ۱ آمده است. براساس نتایج آزمون خاک در طول فصل رشد دو مرحله سرک کود اوره با مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و دو مرحله محلول‌پاشی اوره با غلظت ۰/۵ درصد صورت گرفت.

برای اجرای آزمایش کرت‌هایی شامل چهار خط کاشت و دو خط لوله تیپ برای آبیاری نواری تحت فشار به طول شش متر درنظرگرفته شد. فاصله بوته‌ها روی هر ردیف کاشت ۱۰ سانتی‌متر بود و در دو طرف هر خط تیپ، کاشت محصول به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از لوله و ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر انجام شد. برداشت در زمان رسیدن دانه به مرحله خمیری نرم تا خمیری سخت (S_7-S_8) در خوشه‌های کرت‌های شاهد انجام شد که با رعایت اثر حاشیه‌ای به مساحت یک مترمربع از هر کرت بوته‌ها از سطح زمین نمونه‌برداری شد و پس از تفکیک به اجزا به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشکانده شدند و سپس به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ وزن شده و مجموع وزن برگ‌ها و ساقه‌ها به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شد. همچنین از

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

سال	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته خاک	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	نیتروژن کل (%)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)	بافت خاک
۱۳۹۳	۱/۴	۷/۹	۱۶	۱۵۰	۰/۰۵	۳۲۵	۷۸	لوم
۱۳۹۴	۱/۳	۷/۸	۱۲	۱۵۰	۰/۰۵	۳۳۶	۸۶/۴	لوم

هر کرت تعداد ۱۰ بوته جمع‌آوری و پس از جدا کردن برگ‌ها و خوشه‌های موجود، ساقه‌ها خرد شدند و با استفاده از پرس مخصوص شیرابه آنها استخراج شد. برای اندازه‌گیری میزان قند کل در شیرابه‌های حاصل از روش حجمی لین– آینون (۱۱) استفاده شد. عملکرد قند براساس میزان قند کل موجود در شیرابه و طبق رابطه زیر محاسبه شد (۷).

عملکرد قند ($kg\ ha^{-1}$) =

میزان شیرابه استخراج شده($kg\ ha^{-1}$) × میزان قند کل درشیرابه(٪)

سطح برگ در مرحله خمیری نرم در دانه در خوشه‌های کرت‌های شاهد و در پنج بوته از هر کرت با استفاده از ضرب طول و عرض هر برگ در ضریب ۰/۷۴۷ محاسبه شد (۳۸). شاخص سبزینگی به‌صورت غیر مستقیم و با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-۵۰۲ (Crop.,Ramsey, N.J. Minolta) اندازه‌گیری شد. برای این منظور در داخل هر کرت پنج قرائت از یک‌سوم انتهایی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته بوته‌ها انجام شد و میانگین این اعداد به‌عنوان میزان شاخص سبزینگی مربوط به آن کرت ثبت شد. برای محاسبه شاخص سطح اسمیلات‌کننده از تقسیم عملکرد قند بر میزان سطح برگ استفاده شد و به‌صورت میزان قند تولید شده به‌ازای واحد سطح برگ گزارش شد (۳۹).

میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ بر اساس روش آرنون اندازه‌گیری شد (۳). مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در عصاره برگی تهیه شده با قرائت میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر تعیین شد. سپس میزان این صفات برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آمد.

تجزیه واریانس داده‌ها پس از انجام آزمون همگن بودن واریانس خطای دو سال برای هر صفت (آزمون بارتلت) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. به‌منظور مقایسه میانگین برهم‌کنش معنی‌دار اثر عوامل مورد بررسی، از روش برش‌دهی اثرات متقابل (Slicing) بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

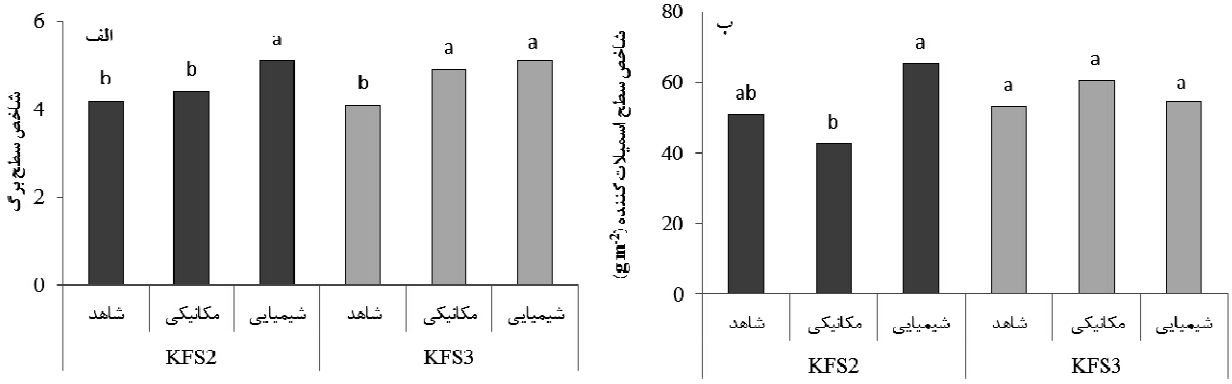
شاخص سطح برگ (LAI)

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر سال، حذف مقصد، محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل رقم × حذف مقصد، حذف مقصد × محلول‌پاشی و اثر سه‌گانه سال × حذف مقصد × محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). بر اساس برش‌دهی اثرات متقابل در رقم KFS۲ حذف شیمیایی و در رقم KFS۳ حذف شیمیایی و مکانیکی به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۱– الف). مقایسه میانگین اثرات متقابل در جدول ۳ نشان داد در سال ۱۳۹۳، عدم حذف مقصد و سطوح شاهد و هشت میلی‌مولار منیزیم و نیز حذف شیمیایی و شاهد منیزیم کمترین مقدار شاخص سطح برگ را داشتند. سایر تیمارها با اختلاف معنی‌دار نسبت به این تیمارها در گروه آماری دیگر قرار گرفتند. در سال ۱۳۹۴، تمام تیمارهای آزمایش میزان شاخص سطح برگ را نسبت به تیمار شاهد حذف مقصد و شاهد منیزیم به‌طور معنی‌داری افزایش دادند که این افزایش از ۲۷ تا ۶۱ درصد متغیر بود (جدول ۳). شاخص سطح برگ، میزان جذب فوتون، فتوسنتز، تخصیص مواد فتوسنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۲). محققان نشان داده‌اند که حذف خوشه در

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات سورگوم شیرین در تیمارهای رقم، حذف مقصد و محلول‌پاشی منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		سطح شاخص برگ	شاخص سبزینگی	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	کلروفیل کل	قند کل	عملکرد بیولوژیک	عملکرد قند	شاخص سطح اسمیلات‌کننده
سال	۱	۲۲/۹**	۷۴/۰*	۰/۳۵*	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۱/۱۸**	۴۸۳/۲**	۷۴۶۲۱۴۷۹ ^{ns}	۲۸۴۵۶۱۲**	۱۱۸۴۶**
بلوک(سال)	۴	۲/۴**	۳۸/۸ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۱۱۴/۹ ^{ns}	۱۰۴۸۶۷۴۰۱*	۳۸۳۹۹۶ ^{ns}	۸۹۶ ^{ns}
رقم	۱	۰/۵۷ ^{ns}	۲۰۷/۲**	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۲۱**	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۹۳۲/۷**	۷۰۶۰۵۹۹۸۰**	۳۱۸۶۶۴۳**	۲۸۵ ^{ns}
حذف مقصد	۲	۷/۹**	۲۴۲/۲**	۱/۲۹**	۰/۰۶*	۰/۱۱**	۱/۴۷**	۹۵۶/۵**	۶۹۱۱۱۵۸۲۸**	۳۳۵۹۷۹۸**	۸۱۱ ^{ns}
منیزیم	۲	۱۰/۰**	۶۷۶/۵**	۲/۴۱**	۰/۳۲**	۰/۲۳**	۲/۱۵**	۱۲۱۷**	۴۲۹۴۰۵۶۱۷**	۴۰۴۱۶۸۳**	۱۵۸ ^{ns}
سال × رقم	۱	۱/۲ ^{ns}	۱۰/۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۷*	۰/۰۲ ^{ns}	۱/۴۴**	۲۳/۳ ^{ns}	۱۱۶۴۶۰۴۳۷ ^{ns}	۱۸۰۴ ^{ns}	۳۶۲ ^{ns}
رقم × حذف مقصد	۲	۲/۱*	۴۰/۲ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۶۰۹/۳**	۹۳۴۶۳۰۱ ^{ns}	۲۱۸۱۸۲۹*	۱۸۲۵*
رقم × منیزیم	۲	۰/۶۲ ^{ns}	۲۱/۴ ^{ns}	۰/۵۸**	۰/۰۶*	۰/۱۲**	۰/۲۱ ^{ns}	۵/۴ ^{ns}	۴۸۲۰۶۳۵۲ ^{ns}	۱۶۱۸۶۹ ^{ns}	۵۵ ^{ns}
سال × حذف مقصد	۲	۰/۴۲ ^{ns}	۲۵/۲ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۴۸۲/۲*	۶۱۴۴۴۱۲۲ ^{ns}	۲۸۸۵۸۱۳**	۲۳۲۸**
حذف مقصد × منیزیم	۴	۱/۴*	۲۸/۹ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۳۴**	۳۳۲/۸*	۱۲۸۹۵۱۶۰ ^{ns}	۱۱۴۹۳۰۴*	۱۰۰ ^{ns}
سال × منیزیم	۲	۰/۴۹ ^{ns}	۷/۵ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۲۶*	۳۹/۵ ^{ns}	۲۵۹۸۵۰۵۷ ^{ns}	۲۴۰۶۶۸ ^{ns}	۳۷۰ ^{ns}
سال × رقم × حذف مقصد	۲	۱/۴ ^{ns}	۱۲۰/۵**	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۶۴۸/۴**	۳۳۷۷۸۲۲۷ ^{ns}	۶۵۷۳۲ ^{ns}	۶۲۶ ^{ns}
سال × رقم × منیزیم	۲	۱/۴ ^{ns}	۱۰۸/۷**	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۲۲۷/۸ ^{ns}	۱۳۵۳۰۸۰۳۰*	۱۴۷۶۳۱ ^{ns}	۲۹۸ ^{ns}
سال × حذف مقصد × منیزیم	۴	۱/۶*	۴۵/۷*	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۵*	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۹۴/۱ ^{ns}	۸۶۱۸۳۶۳۴*	۱۸۳۷۴۲ ^{ns}	۳۷۲ ^{ns}
رقم × حذف مقصد × منیزیم	۴	۰/۲ ^{ns}	۱۴/۱ ^{ns}	۰/۱۹*	۰/۱۰**	۰/۰۳*	۰/۱۳ ^{ns}	۴۱۱/۱*	۲۲۷۷۶۱۴۸ ^{ns}	۱۸۹۸۳۶۶**	۸۴۶ ^{ns}
سال × رقم × حذف مقصد × منیزیم	۴	۰/۳ ^{ns}	۱۴/۹ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۵۵۰/۶**	۶۰۶۹۰۳۰۴ ^{ns}	۱۸۴۵۶۸۲**	۷۴۳ ^{ns}
خطا	۶۸	۲/۵	۱۷/۶	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۱۱۴/۱	۳۳۹۳۱۳۰۰	۴۵۱۶۵۸	۴۰۶

ns، *و ** : به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۱. اثر متقابل رقم × حذف مقصد بر الف) شاخص سطح برگ و ب) شاخص سطح اسمیلات کننده.
در هر رقم، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس روش برش‌دهی اثرات مقابل ندارند.

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال × حذف مقصد × محلول‌پاشی‌منیزیم بر شاخص سطح برگ، شاخص سبزینگی، میزان کلروفیل b و عملکرد بیولوژیک

حذف مقصد	منیزیم	شاخص سطح برگ		شاخص سبزینگی		کلروفیل b (mg g^{-1} FW^{-1})		عملکرد بیولوژیک (kg ha^{-1})	
		۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
شاهد	۰	۳/۰۲^{c}	۳/۶۰^{c}	۴۲/۲۵^{d}	۳۹/۰۷^{e}	۰/۶۵^{d}	۰/۷۲^{d}	۲۹۶۹۲^{c}	۲۰۲۲۲^{e}
	۴	۴/۱۹^{ab}	۵/۲۰^{ab}	۴۱/۹۳^{d}	۴۶/۳۲^{bcd}	۰/۸۲^{abc}	۰/۸۶^{bc}	۳۲۰۹۳^{bc}	۲۶۱۵۳^{de}
	۸	۳/۴۲^{c}	۵/۳۳^{ab}	۴۷/۷۰^{bc}	۴۷/۳۳^{bc}	۰/۸۸^{ab}	۰/۸۱^{cd}	۲۹۲۵۰^{c}	۳۰۲۵۰^{bcd}
مکانیکی	۰	۴/۳۵^{a}	۵/۳۷^{ab}	۴۰/۵۳^{d}	۴۱/۵۲^{de}	۰/۸۴^{abc}	۰/۷۳^{d}	۳۳۶۵۳^{bc}	۲۹۳۰۶^{cd}
	۴	۵/۰۳^{a}	۵/۰۳^{ab}	۴۷/۷۷^{bc}	۴۳/۱۳^{cde}	۰/۷۳^{cd}	۰/۹۷^{ab}	۳۵۹۶۱^{ab}	۴۱۲۳۳^{a}
	۸	۴/۶۶^{a}	۵/۸۸^{a}	۵۰/۱۸^{ab}	۴۵/۹۵^{bcd}	۰/۸۵^{abc}	۰/۹۹^{a}	۳۵۶۹۵^{ab}	۳۶۸۶۶^{abc}
شیمیایی	۰	۳/۲۱^{c}	۴/۵۷^{b}	۴۵/۱۰^{cd}	۳۹/۴۰^{e}	۰/۷۴^{bcd}	۰/۷۱^{d}	۲۹۴۸۱^{c}	۳۱۷۵۶^{bc}
	۴	۴/۷۲^{a}	۵/۶۹^{a}	۵۱/۵۳^{ab}	۴۹/۲۸^{b}	۰/۹۶^{a}	۰/۹۲^{abc}	۳۷۱۸۵^{ab}	۳۷۳۲۹^{ab}
	۸	۴/۹۲^{a}	۵/۱۲^{ab}	۵۴/۰۵^{a}	۵۴/۱۵^{a}	۰/۹۱^{a}	۰/۹۹^{a}	۴۰۹۸۵^{a}	۳۴۹۱۹^{abc}

در هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس روش برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

سورگوم شیرین در مرحله گل‌دهی پایداری سطح برگ را افزایش می‌دهد (۱۶). در واقع پتانسیل فتوسنتزی و توان رشد گیاهان وابسته به سطح برگ است و از آنجا که حذف شیمیایی خوشه در مرحله‌ای از رشد صورت گرفته است که توسعه برگ‌های جوان در انتهای ساقه به پایان نرسیده است لذا حذف اندام زایشی هم به‌صورت مکانیکی و هم شیمیایی در مقایسه با تیمارهای شاهد حذف مقصد سبب توزیع مناسب‌تر نور در داخل سایه‌انداز بوته‌های سورگوم شیرین شده و سطح برگ و در ادامه میزان فتوسنتز گیاه را افزایش داده است. بین دو رقم مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص سطح برگ در شرایط شاهد وجود نداشت اما با اعمال تیمارهای آزمایش میزان شاخص سطح برگ در هر رقم متفاوت شد. از سوی دیگر محلول‌پاشی با منیزیم نیز رشد و توسعه برگی در دو رقم سورگوم شیرین را بهبود بخشید. افزایش سطح برگ با محلول‌پاشی منیزیم در سایر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (۴۵).

شاخص سبزینگی (SPAD)

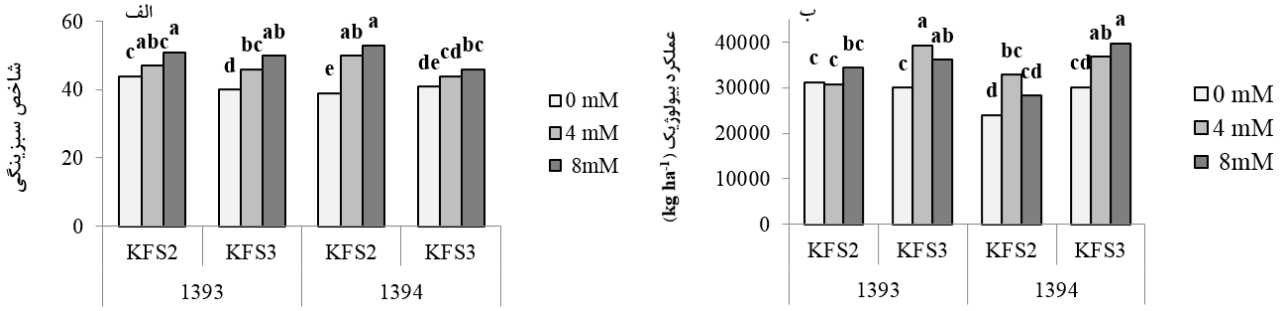
اثر جداگانه همه عوامل آزمایش و اثرمتقابل سال × رقم × حذف مقصد، سال × رقم × محلول‌پاشی و سال × حذف مقصد × محلول‌پاشی بر شاخص سبزینگی معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج، افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان این شاخص در هر دو سال آزمایش شد به‌طوری‌که در هر دو رقم مورد بررسی و در محلول‌پاشی با هشت میلی‌مولار منیزیم نسبت به شاهد منیزیم اختلاف معنی‌دار داشت. بین سطوح چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم تفاوت آماری مشاهده نشد (شکل ۲- الف). مقایسه‌های میانگین در (شکل۳- الف) نشان داد در سال ۱۳۹۳، در KFS۲ و KFS۳ حذف شیمیایی مقصد، شاخص سبزینگی را به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح شاهد افزایش داد اما بین حذف مکانیکی و شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سال دوم، بین سطوح حذف در رقم KFS۲ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما در رقم KFS۳ شاخص سبزینگی در حذف مکانیکی کاهش و در حذف شیمیایی افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل ۳- الف). بر اساس نتایج مقایسه میانگین در جدول ۳، در سال ۱۳۹۳، افزایش میزان غلظت منیزیم در هر سطح حذف مقصد سبب افزایش معنی‌دار میزان شاخص سبزینگی شد و میزان این صفت را در مقایسه با شاهد حذف مقصد و صفر منیزیم از ۱۲/۸ درصد در سطح هشت میلی‌مولار منیزیم و شاهد حذف مقصد تا ۲۸/۲ درصد در هشت میلی‌مولار منیزیم و حذف شیمیایی افزایش داد. در سال ۱۳۹۴، نیز روند مشابهی مشاهده شد به‌طوری‌که میزان شاخص سبزینگی از ۳۹/۰۷ در سطح شاهد حذف مقصد و صفر منیزیم به ۴۹/۲۸ و ۵۴/۱۵ به‌ترتیب در حذف شیمیایی مقصد و غلظت‌های چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم رسید.

افزایش میزان شاخص سبزینگی (SPAD) با استفاده از محلول‌پاشی منیزیم در چغندرقند (۴) و سویا (۴۳) نیز گزارش شده است. جزک و همکاران (۲۴) نشان دادند با محلول‌پاشی منیزیم در گیاهانی که در شرایط کمبود شدید این عنصر قرار دارند، میزان شاخص سبزینگی می‌تواند تا سطح بوته‌های طبیعی افزایش یابد که این فرایند با فعال شدن کمپلکس متصل‌کننده منیزیم به هسته مرکزی ساختار کلروفیل امکان‌پذیر است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

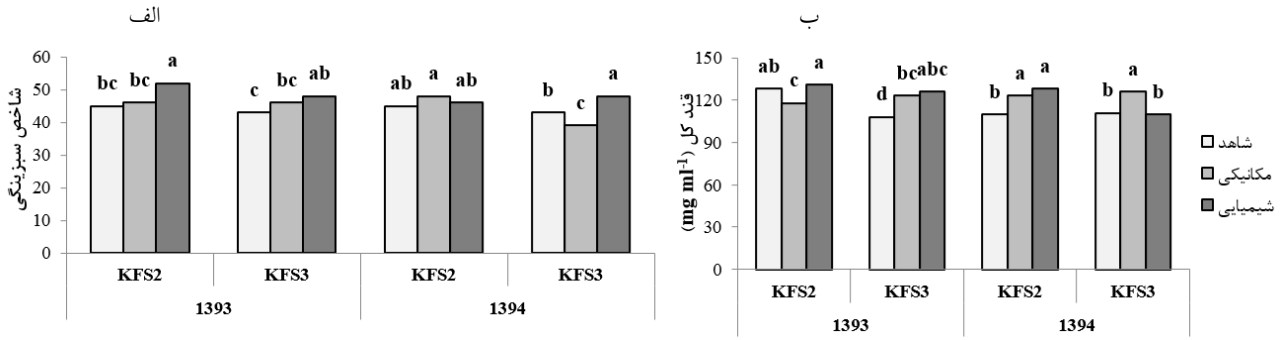
نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد میزان کلروفیل a به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال،حذف مقصد و محلول‌پاشی و اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی و رقم × حذف مقصد × محلول‌پاشی قرار گرفت. براساس مقایسه‌های میانگین در جدول ۴ در رقم KFS۲، بیشترین میزان کلروفیل a از غلظت هشت میلی‌مولار منیزیم در هر سه سطح حذف مقصد و کمترین مقدار این صفت از سطح صفر میلی‌مولار منیزیم و شاهد و حذف شیمیایی به‌دست آمد. در رقم KFS۳ بیشترین میزان کلروفیل a از حذف شیمیایی و محلول‌پاشی چهار میلی‌مولار منیزیم و حذف مکانیکی و محلول‌پاشی هشت میلی‌مولار منیزیم به‌ترتیب با مقادیر ۲/۶۱ و ۲/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر به‌دست آمد. کمترین میزان کلروفیل a نیز در تیمار شاهد و صفر میلی‌مولار منیزیم مشاهده شد (۱/۳۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر). بررسی‌ها نشان داده است کاربرد اتفون در حذف شیمیایی میزان کلروفیل را در برگ‌ها افزایش می‌دهد و تأثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم‌های مرتبط با فرایند فتوسنتز مانند PEP کربوکسیلاز، کربونیک آنیدراز، آمیلاز و نیز هدایت روزنه‌ای دارد (۲۶). همچنین این ترکیب می‌تواند تشکیل کمپلکس کلروفیل-پروتئین در تیلاکوئید کلروپلاست‌ها را افزایش دهد (۴۶).

اثر رقم، حذف مقصد، محلول‌پاشی، سال × رقم، رقم × محلول‌پاشی و اثر سه‌گانه سال × حذف مقصد × محلول‌پاشی و رقم × حذف مقصد × محلول‌پاشی بر میزان کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی مقایسه‌های میانگین نشان داد در سال اول آزمایش، به‌جز شاهد و حذف شیمیایی و سطح شاهد منیزیم و حذف مکانیکی و محلول‌پاشی چهار میلی‌مولار منیزیم بین سایر تیمارها از نظر تأثیر بر میزان کلروفیل b تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در سال دوم، در شرایط حذف مکانیکی و شیمیایی با افزایش غلظت منیزیم تا هشت میلی‌مولار منیزیم میزان کلروفیل b به‌طور معنی‌داری نسبت به



شکل ۲. اثر سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر الف) شاخص سبزینگی و ب) عملکرد بیولوژیک.

در هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس روش برش‌دهی اثرات مقابل ندارند.



شکل ۳. اثر متقابل سال × رقم × حذف مقصد بر الف) شاخص سبزینگی و ب) میزان قند کل. در هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری بر اساس روش برش‌دهی اثرات مقابل ندارند.

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × حذف مقصد × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، قند کل و عملکرد قند

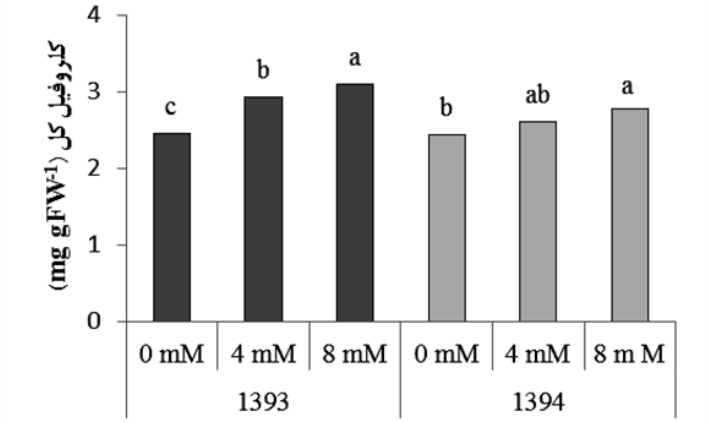
حذف مقصد	منیزیم	کلروفیل a (mg g^{-1} FW^{-1})		کلروفیل b (mg g^{-1} FW^{-1})		کاروتنوئید (mg g^{-1} FW^{-1})		قند کل (mg ml^{-1})		عملکرد قند (kg ha^{-1})	
		KFS۲	KFS۳	KFS۲	KFS۳	KFS۲	KFS۳	KFS۲	KFS۳	KFS۲	KFS۳
شاهد	۰	۱/۶۹^{f}	۱/۳۳^{e}	۰/۶۳^{d}	۰/۷۴^{abc}	۰/۷۵^{c}	۰/۷۰^{d}	۱۱۳^{bc}	۱۱۲^{bcd}	۱۶۶۳^{c}	۱۳۳۸^{d}
	۴	۱/۹۷^{de}	۲/۰۳^{dc}	۱/۰۱^{a}	۰/۶۷^{c}	۰/۸۹^{bc}	۰/۷۸^{cd}	۱۱۸^{bc}	۱۰۴^{cd}	۲۱۶۲^{bc}	۲۵۵۲^{abc}
	۸	۲/۲۷^{abc}	۱/۸۴^{d}	۰/۸۴^{c}	۰/۸۶^{a}	۰/۸۶^{bc}	۰/۷۴^{cd}	۱۲۵^{ab}	۱۱۲^{bcd}	۲۱۹۳^{bc}	۲۳۳۲^{bc}
مکانیکی	۰	۲/۰۲^{de}	۱/۸۸^{cd}	۰/۸۶^{bc}	۰/۷۱^{bc}	۰/۷۹^{c}	۰/۷۹^{cd}	۱۱۰^{c}	۱۱۷^{abc}	۲۱۷۸^{bc}	۲۸۵۹^{abc}
	۴	۲/۲۲^{bcd}	۲/۲۲^{bc}	۰/۸۴^{c}	۰/۸۷^{a}	۰/۹۸^{ab}	۰/۸۷^{bc}	۱۲۴^{abc}	۱۳۳^{a}	۱۷۲۹^{c}	۳۱۸۵^{ab}
	۸	۲/۴۹^{a}	۲/۴۳^{ab}	۰/۹۸^{ab}	۰/۸۵^{ab}	۰/۷۸^{c}	۰/۹۶^{ab}	۱۲۷^{ab}	۱۲۲^{ab}	۲۲۳۱^{bc}	۲۸۲۹^{abc}
شیمیایی	۰	۱/۷۷^{ef}	۱/۹۶^{cd}	۰/۷۰^{d}	۰/۷۵^{abc}	۰/۷۷^{c}	۰/۷۵^{cd}	۱۲۶^{ab}	۱۰۱^{d}	۱۷۴۸^{bc}	۲۲۱۳^{cd}
	۴	۲/۱۸^{cd}	۲/۶۱^{a}	۱/۰۳^{a}	۰/۸۵^{a}	۱/۱۰^{a}	۰/۸۴^{bcd}	۱۳۵^{a}	۱۲۶^{ab}	۳۴۲۸^{a}	۲۳۵۷^{bc}
	۸	۲/۴۶^{ab}	۱/۹۴^{cd}	۱/۰۶^{a}	۰/۸۴^{ab}	۰/۸۸^{bc}	۱/۰۱^{a}	۱۲۶^{ab}	۱۲۷^{ab}	۲۶۰۲^{ab}	۳۳۵۸^{a}

در هر رقم، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی‌داری بر اساس روش برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

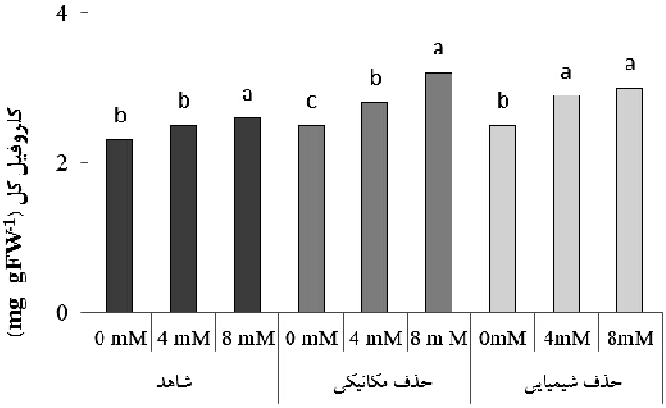
سطح شاهد منیزیم افزایش نشان داد. همچنین بین غلظت‌های چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم تفاوت معنی‌داری از نظر تأثیر بر میزان کلروفیل b مشاهده نشد.

بر اساس نتایج، حذف مقصد و محلول‌پاشی منیزیم میزان کلروفیل b را در دو رقم سورگوم شیرین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). در رقم KFS۲ محلول‌پاشی با چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم در هر سه سطح حذف مقصد میزان کلروفیل b را نسبت به شاهد حذف مقصد و صفر میلی‌مولار منیزیم افزایش معنی‌دار داد. در رقم KFS۳ به‌جز تیمار حذف مکانیکی و صفر منیزیم و نیز شاهد حذف مقصد و چهار میلی‌مولار منیزیم، سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. اثر حذف مقصد و منیزیم، رقم × محلول‌پاشی و رقم × حذف مقصد × محلول‌پاشی بر کاروتنوئیدهای برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس مقایسه‌های میانگین در جدول ۴، در KFS۲ محلول‌پاشی با چهار میلی‌مولار منیزیم و حذف شیمیایی و مکانیکی مقصد میزان کاروتنوئیدها را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (به‌ترتیب با مقادیر ۱/۱۰ و ۰/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر). در مقابل در رقم KFS۳، بیشترین میزان این صفت مربوط به محلول‌پاشی با هشت میلی‌مولار منیزیم و حذف شیمیایی و مکانیکی بود و بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. برخی محققان معتقدند افزایش میزان قندهای محلول در برگ گیاهان همانند آنچه در نتیجه حذف مقصد به روش‌های شیمیایی و مکانیکی در آزمایش حاضر رخ داده است، می‌تواند از دو طریق سبب افزایش میزان کاروتنوئیدها شود. از یک جهت افزایش قندهای محلول به‌ویژه گلوکز به‌عنوان پیش‌ماده تولید کارتنوئیدها، سبب افزایش میزان این رنگیزه‌ها می‌شوند و از جهت دیگر افزایش تجمع این ترکیبات در محل برگ می‌تواند اثر بازدارندگی نوری را القا کرده و گیاه برای مقابله با این شرایط نیازمند وجود بیشتر کارتنوئیدها است (۱۵). همچنین تغذیه گیاه با عناصر معدنی می‌تواند منجر به افزایش میزان کلروفیل کل و کاروتنوئیدهای موجود در برگ و کل پیکره گیاه شود که این افزایش تا دو برابر میزان مواد غذایی مورد نیاز نیز قابل مشاهده است (۳۵). پژوهشگران نشان دادند کاربرد غلظت‌های مختلف منیزیم میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها را در گیاهان به‌طور معنی‌داری افزایش داد که این افزایش می‌تواند با نقش منیزیم به‌عنوان کوفاکتور در آنزیم دلتاآمینو لوولینیک‌دهیدراتاز (Delta aminolevulinic dehydratase) در فرایند بیوسنتز کلروفیل در ارتباط باشد (۳۶).

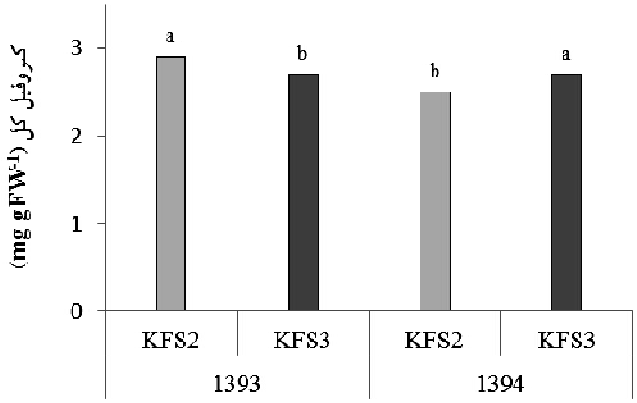
بر اساس نتایج جدول ۱، میزان کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال، حذف مقصد، محلول‌پاشی، سال × رقم، حذف مقصد × منیزیم و سال × محلول‌پاشی قرار گرفت. بر اساس برش‌دهی اثرات متقابل در شکل ۴، در سال ۱۳۹۳، با افزایش غلظت منیزیم میزان کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری از ۲/۴۵ در سطح شاهد به ۲/۹۲ و ۳/۱۰ به‌ترتیب در چهار و هشت میلی‌مولار افزایش یافت. در سال ۱۳۹۴، تنها در غلظت هشت میلی‌مولار منیزیم افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل کل نسبت به شاهد مشاهده شد (۱۴ درصد افزایش) و بین سطح چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم تفاوتی وجود نداشت. نتایج مقایسه‌های میانگین در شکل ۵ نشان داد در سطح شاهد حذف مقصد، تنها غلظت هشت میلی‌مولار منیزیم میزان کلروفیل کل را نسبت به سطح صفر میلی‌مولار منیزیم به‌میزان ۱۳ درصد افزایش داد. در شرایط حذف مکانیکی هر دو غلظت چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی دار این صفت نسبت به سطح شاهد منیزیم شدند (به‌ترتیب با مقادیر ۲/۸ و ۳/۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر). در حذف شیمیایی بین سطوح چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم تفاوت معنی‌داری نبود اما میزان کلروفیل کل را به‌ترتیب ۱۶ و ۲۰ درصد نسبت به سطح شاهد منیزیم افزایش دادند. بر اساس برش‌دهی اثرات متقابل در سال ۱۳۹۳ رقم KFS۲ میزان کلروفیل کل بیشتری را دارا بود در حالی‌که در سال ۱۳۹۴، بیشترین میزان کلروفیل کل از رقم KFS۳ حاصل شد (شکل ۶). افزایش میزان کلروفیل برگ، استفاده از روشنایی و با طول موج‌هایی که بیشتر در منطقه نور قرمز تیره قرار دارند را ممکن می‌کند. پژوهشگران نشان داده‌اند تغذیه معدنی سورگوم می‌تواند مقادیر کلروفیل a، b و کل



شکل ۴. اثر سال × محلول پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل کل. در هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با استفاده از روش برش‌دهی اثرات مقابل ندارند.



شکل ۵. اثر حذف مقصد × محلول پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل کل. در هر سطح حذف مخزن، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با روش برش‌دهی اثرات مقابل ندارند.



شکل ۶. اثر سال × رقم بر میزان کلروفیل کل. در هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با استفاده از روش برش‌دهی اثرات مقابل ندارند.

را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که این افزایش می‌تواند از طریق توسعه سطح برگ و رشد بیشتر بوته باشد (۲). در مقابل برخی مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی نیشکر با غلظت‌های بسیار بالای اتفون سبب کاهش میزان کلروفیل و سرعت تنفس می‌شود و باید در انتخاب غلظت مناسب دقت نظر داشت (۲۶).

قند کل

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر سال، رقم، حذف مقصد، محلول‌پاشی، رقم × حذف مقصد، سال × حذف مقصد، حذف مقصد × محلول‌پاشی و اثرات سه‌گانه سال × رقم × حذف مقصد، رقم × حذف مقصد × محلول‌پاشی و اثر چهارگانه عوامل بر میزان قند کل معنی‌دار بود (جدول ۱). بر اساس مقایسه‌های میانگین در جدول ۴، در رقم KFS۲ حذف شیمیایی مقصد در تمام سطوح محلول‌پاشی میزان قند کل را نسبت به تیمار شاهد حذف مقصد و سطح صفر منیزیم افزایش داد که این افزایش بین ۱۱/۵ تا ۱۹ درصد متغیر بود. در شرایط حذف مکانیکی محلول‌پاشی با هشت میلی‌مولار منیزیم میزان قند کل در شیرابه را نسبت به سطح صفر منیزیم در همین تیمار به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در رقم KFS۳، حذف مکانیکی در هر سه سطح منیزیم و حذف شیمیایی همراه با محلول‌پاشی چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان قند کل نسبت به حذف شیمیایی و سطح صفر منیزیم شد. همچنین میزان قند کل در تیمار چهار میلی‌مولار و حذف مکانیکی نسبت به تمام سطوح محلول‌پاشی در شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل ۳- ب). جین و همکاران (۲۳) با مقایسه ترکیبات مختلف نشان دادند کاربرد منیزیم و منگنز و نیز ترکیبات حاوی اتیلن تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان ساکارز، قندهای غیراحیائی و در نهایت قند کل در گیاه نیشکر داشت که این افزایش ناشی از تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های متابولیزکننده ساکارز بود. دو سال آزمایش واکنش دو رقم سورگوم شیرین به حذف مقصد از نظر میزان قند کل متفاوت بود. در سال ۱۳۹۳، بیشترین میزان قند کل از حذف شیمیایی در هر دو رقم به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با شاهد در رقم KFS۳ داشتند. در سال ۱۳۹۴، حذف مکانیکی و شیمیایی به‌طور معنی‌داری قند کل را در رقم KFS۲ افزایش دادند درحالی‌که در رقم KFS۳ افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد تنها در حذف مکانیکی مشاهده شد.

بر اساس این نتایج مشخص شد در دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی، تفاوت در میزان قند کل می‌تواند تابعی از پتانسیل ژنتیکی ارقام مختلف در ذخیره قند در شیرابه ساقه باشد. همچنانکه دالوی و همکاران (۱۰) در بررسی ۱۸ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین همراه با دو رقم شاهد نشان دادند بین ارقام مختلف این گیاه از نظر درجه بریکس، درصد قند کل، میزان قند اقتصادی ساقه، شاخص قند کل و عملکرد اتانول تفاوت معنی‌دار وجود داشت. اسمیت و باکستون (۳۷) معتقدند معنی‌دار بودن اختلاف ژنوتیپ‌های سورگوم شیرین در سال‌های مختلف یک آزمایش در صفاتی مانند قند موجود در شیرابه بیانگر تأثیر قابل توجه شرایط اقلیمی بر این صفات است.

بررسی اثرات چهارگانه عوامل در جدول ۵ نشان داد در سال اول، در بین ترکیبات تیماری حذف مکانیکی × چهار میلی‌مولار منیزیم × KFS۳ و حذف شیمیایی همراه با غلظت‌های چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم در هر دو رقم و نیز غلظت هشت میلی‌مولار منیزیم × شاهد × KFS۲ ، میزان قند کل را در مقایسه با سایر ترکیبات تیماری افزایش معنی‌دار دادند.

در سال دوم، در رقم KFS۲ حذف مکانیکی و غلظت چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم نسبت به سطح شاهد منیزیم تفاوت معنی‌داری نشان داد اما در حذف شیمیایی و شاهد تفاوتی بین سطوح منیزیم مشاهده نشد. از سوی دیگر حذف شیمیایی به‌تنهایی یا در ترکیب با چهار میلی‌مولار منیزیم نسبت به همان سطح منیزیم میزان قند کل را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در رقم KFS۳ بین سطوح شاهد و حذف مکانیکی در غلظت‌های مختلف منیزیم تفاوتی مشاهده نشد. اما در حذف شیمیایی میزان قند کل در غلظت‌های چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم نسبت به سطح شاهد منیزیم افزایش معنی‌دار پیدا کرد (به‌ترتیب

با مقادیر ۱۲۰ و ۱۲۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر). برادهد (۵) افزایش میزان قند را در نتیجه حذف مکانیکی خوشه در سورگوم شیرین گزارش کرده است. همچنین پژوهشگران بیان داشتند کاربرد اتفون می‌تواند با آزادسازی اتیلن در داخل گیاه آنزیم‌های دخیل در فرایند سنتز ساکاروز را که قند اصلی در ساقه سورگوم شیرین محسوب می‌شود افزایش دهند که این افزایش در میزان قند کل نمود پیدا می‌کند (۴۴).

عملکرد بیولوژیک

اثر رقم، حذف مقصد، محلول‌پاشی و اثرات متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی و سال × حذف مقصد × محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. در سال ۱۳۹۳، محلول‌پاشی با چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم و حذف شیمیایی مقصد به‌طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک را نسبت به سطح صفر منیزیم و شاهد حذف مقصد به‌ترتیب به‌میزان ۲۶ و ۳۹ درصد افزایش داد. در مقابل در سال ۱۳۹۴، تمام تیمارهای آزمایشی میزان عملکرد بیولوژیک را نسبت به سطح شاهد منیزیم در شرایط عدم حذف مقصد افزایش معنی‌دار دادند که مقادیر آن بین ۴۱۲۳۳ تا ۲۹۳۰۶ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (جدول ۳). براساس این نتایج مشخص شد با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی در سال‌های مختلف آزمایش واکنش بوته‌های سورگوم شیرین به تغذیه معدنی با منیزیم متفاوت است به‌طوری‌که در هر سال غلظت متفاوتی از این ترکیب سبب افزایش بیشتر ماده خشک گیاه و عملکرد بیولوژیک آن شده است. مطالعات پژوهشگران نشان داده است که حذف خوشه در سورگوم شیرین سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ و ساقه و در نتیجه وزن کل ماده خشک گیاه نسبت به شرایط شاهد می‌شود (۱۳). از سوی دیگر پژوهشگران معتقدند عملکرد بیولوژیک تابعی از توان فتوسنتزی گیاه و میزان فعالیت بافت‌های فتوسنتزکننده است (۹) که در پژوهش حاضر نیز مشخص شد با تأثیر حذف خوشه و کاربرد منیزیم بر میزان سطح برگ و افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ عملکرد بیولوژیک نیز در دو رقم مورد بررسی افزایش پیدا کرد. هرچند واکنش دو رقم به تیمارهای اعمال شده متفاوت بود. نتایج آزمایش در شکل ۲- ب نشان داد در سال ۱۳۹۳، محلول‌پاشی چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم در رقمKFS3 میزان عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری نسبت به سطح شاهد منیزیم این رقم و نیز نسبت به رقم KFS2 افزایش داد. در سال ۱۳۹۴، افزایش غلظت منیزیم تا چهار میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار و سپس در سطح هشت میلی‌مولار کاهش میزان عملکرد بیولوژیک در رقم KFS2 شد. در رقم KFS3 نیز افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد. در هر دو رقم به‌صورت مجزا بین سطوح چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم از نظر تأثیر بر عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲- ب). نتایج این آزمایش با سایر مطالعات که نشان داده‌اند ارقام سورگوم شیرین در سطوح مختلف تغذیه معدنی واکنش‌های متفاوتی دارند همسو است (۳۲). در واقع کاربرد منیزیم می‌تواند ارتفاع بوته و توسعه بافت سبزینه‌ای را تحت تأثیر قرار دهد و لذا با افزایش وزن خشک برگ‌ها موجب افزایش چشمگیر میزان ماده خشک تولیدی در گیاهان شود (۴۵). این افزایش بافت سبزینه‌ای می‌تواند کیفیت علوفه به جا مانده پس از استحصال قند را به‌طور محسوسی بهبود بخشد تا بتوان از آن به‌عنوان منبع تغذیه مطلوبی استفاده کرد.

عملکرد قند

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد عملکرد قند به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال، رقم، حذف مقصد و محلول‌پاشی و اثر متقابل رقم × حذف مقصد × محلول‌پاشی و اثر چهارگانه عوامل قرار گرفت. بر اساس مقایسه‌های میانگین در جدول ۴، در رقم KFS2، حذف شیمیایی و غلظت‌های چهار و هشت میلی‌مولار منیزیم به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد و سطح صفر منیزیم عملکرد قند را افزایش دادند (به‌ترتیب با مقادیر ۳۴۲۸ و ۲۶۰۲ کیلوگرم در هکتار). در رقم KFS3، به جز حذف شیمیایی و سطح صفر منیزیم تمام

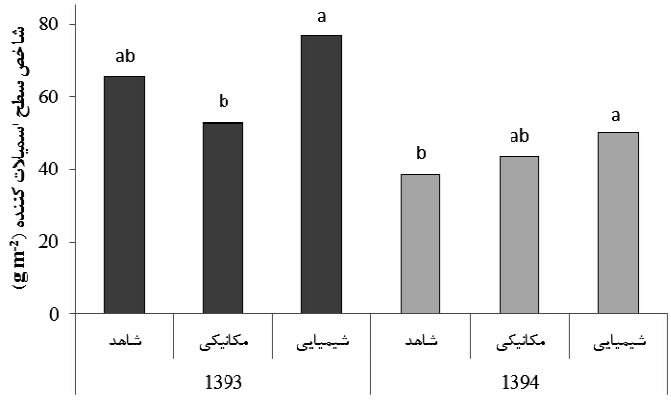
ترکیبات تیماری میزان عملکرد قند را نسبت به شاهد و سطح صفر منیزیم افزایش معنی‌دار دادند. در بررسی اثرات چهارگانه عوامل آزمایش مشخص شد در سال ۱۳۹۳، ترکیب KFS۲ × حذف شیمیایی × چهار میلی‌مولار منیزیم و KFS۳ × حذف شیمیایی × هشت میلی‌مولار منیزیم و KFS۳ × حذف مکانیکی × چهار میلی‌مولار منیزیم بیشترین میزان عملکرد قند را دارا بودند و با سطح شاهد و غلظت صفر میلی‌مولار منیزیم در هر دو رقم تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۵). در سال ۱۳۹۴ و در رقم KFS۲ غلظت چهار میلی‌مولار منیزیم و در رقم KFS۳ غلظت هشت میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد قند نسبت به سطح صفر منیزیم در شاهد حذف مقصد شدند. همچنین در رقم KFS۲ حذف مکانیکی و هشت میلی‌مولار منیزیم و حذف شیمیایی و چهار میلی‌مولار منیزیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد قند در مقایسه با سایر ترکیبات تیماری در این رقم داشتند. در رقم KFS۳ در بین سطوح منیزیم در حذف مکانیکی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی در حذف شیمیایی افزایش غلظت منیزیم عملکرد قند را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۵). همراه شدن محلول‌پاشی منیزیم با حفظ مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه از طریق حذف مقصد و ممانعت از تشکیل دانه توانست عملکرد قند که اصلی‌ترین هدف در توسعه کشت سورگوم شیرین است را به نحو مطلوب‌تری افزایش دهد که همانگونه که مشاهده شد واکنش دو رقم مورد بررسی به این ترکیبات تیماری متفاوت بود. پژوهشگران نشان دادند که کاربرد اتفون می‌تواند عملکرد ساقه، عملکرد قند و صفات کیفی مرتبط با قند را در ارقام مختلف نیشکر به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (۴۱). هاردی و همکاران (۲۰) معتقدند کاربرد حذف شیمیایی در زمان مناسب تأثیر بالایی بر میزان عملکرد گیاه قندی و کیفیت قند تولید شده در آن دارد. به‌طوری‌که این پژوهشگران با کاربرد اتفون پیش از تشکیل آغازه گل (همانند پژوهش حاضر) و ممانعت از گل‌دهی میزان عملکرد در ارقام نیشکر را بیش از ۳۰ درصد افزایش دادند. برخی پژوهش‌ها میزان عملکرد قند در بین ژنوتیپ‌های سورگوم شیرین را با توجه به شرایط مدیریتی مختلف از ۰/۸۹ تا ۱/۹۹ تن در هکتار گزارش کرده‌اند (۱۸). در پژوهشی با بررسی ۳۷ رقم سورگوم شیرین نیز بین ارقام مختلف از نظر میزان عملکرد قند تفاوت زیادی مشاهده شد و مشخص شد بین عملکرد قند و میزان تشکیل دانه در گیاه همبستگی منفی و بین عملکرد قند با صفات شاخص سطح برگ و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت وجود دارد (۱۷).

شاخص سطح اسمیلات‌کننده

اثر سال، رقم × حذف مقصد و سال × حذف مقصد بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده معنی‌دار بود. نتایج مقایسه‌های میانگین در شکل ۱- ب نشان داد بین حذف شیمیایی و مکانیکی در رقم KFS۲ تفاوت آماری وجود داشت و میزان این شاخص از ۴۲/۶ گرم قند به‌ازای مترمربع سطح فتوسنتزکننده در حذف مکانیکی به ۶۵/۲ گرم در مترمربع در حذف شیمیایی رسید. بین سطوح حذف مقصد در رقم KFS۳ تفاوتی مشاهده نشد. در بین سال‌های آزمایش نیز حذف شیمیایی در سال اول با حذف مکانیکی و در سال دوم با سطح شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد و میزان این شاخص را به‌ترتیب ۴۵ و ۳۰ درصد نسبت به آنها افزایش داد (شکل ۷). بر اساس این نتایج مشخص شد کاربرد اتفون در حذف شیمیایی سبب شده تا گیاه توان فتوسنتزی بیشتری در واحد سطح پیدا کند که می‌تواند ناشی از تأثیر آن بر فعالیت آنزیم روبیسکو باشد که سبب تولید سریع‌تر قند در داخل برگ‌ها برای انتقال به اندام‌های ذخیره‌ای شده است. از سوی دیگر بین حذف مکانیکی وشاهد تفاوتی در شاخص سطح اسمیلات‌کننده وجود نداشت که این نتیجه نیز بیانگر آن است که چون حذف مکانیکی زمانی انجام می‌شود که ساختار خوشه در داخل غلاف آن شکل گرفته است، بنابراین تأثیر حذف آن بر میزان فتوسنتز گیاه کمتر از حذف شیمیایی است که این تأثیر با توجه به نوع رقم و شرایط محیطی در سال‌های مختلف آزمایش تا حدودی متفاوت است. تفاوت در شاخص سطح اسمیلات‌کننده با توجه به سال‌های مختلف

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال × رقم × حذف مقصد × محلول‌پاشی‌منیزیم بر میزان قند کل و عملکرد قند

رقم	حذف مقصد	سولفات منیزیم	قند کل (mg ml^{-1})		عملکرد قند (kg ha^{-1})	
			۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
KFS۲	شاهد	۰	۱۲۴^{cde}	۱۰۲^{de}	۲۲۱۳$^{c-f}$	۱۱۱۳^{g}
		۴	۱۲۵$^{b-e}$	۱۱۱^{bcd}	۱۹۷۸^{def}	۲۳۴۶$^{a-f}$
		۸	۱۳۴^{abc}	۱۱۶$^{a-d}$	۲۴۳۷$^{b-f}$	۱۹۴۸$^{c-g}$
	مکانیکی	۰	۱۱۵^{ef}	۱۰۵^{cde}	۲۲۰۸$^{c-f}$	۲۱۴۷$^{c-g}$
		۴	۱۱۶^{def}	۱۳۳^{a}	۱۵۸۰^{f}	۱۸۷۷$^{d-g}$
		۸	۱۲۲^{cde}	۱۳۲^{a}	۱۸۱۱^{ef}	۲۶۵۰$^{a-e}$
	شیمیایی	۰	۱۲۴^{cde}	۱۲۹^{ab}	۱۸۰۹^{ef}	۱۶۸۷^{fg}
		۴	۱۳۸^{ab}	۱۳۲^{a}	۴۱۶۶^{a}	۲۶۹۰$^{a-e}$
		۸	۱۳۱$^{a-d}$	۱۲۳^{abc}	۳۱۵۳^{abc}	۲۰۴۹$^{c-g}$
KFS۳	شاهد	۰	۱۱۵^{ef}	۱۰۹$^{b-e}$	۱۵۳۵^{f}	۱۱۴۱^{g}
		۴	۱۰۴^{f}	۱۰۴^{cde}	۳۰۵۵$^{a-d}$	۲۰۴۹$^{c-g}$
		۸	۱۰۶^{f}	۱۱۹$^{a-d}$	۲۴۰۵$^{b-f}$	۲۲۵۹$^{b-f}$
	مکانیکی	۰	۱۱۵^{ef}	۱۳۲^{a}	۲۳۵۹$^{c-f}$	۳۳۵۹^{a}
		۴	۱۴۳^{a}	۱۲۲$^{a-d}$	۳۳۸۴^{ab}	۲۹۸۵^{abc}
		۸	۱۲۲^{cde}	۱۲۲$^{a-d}$	۲۷۷۵$^{b-e}$	۲۸۸۳ $^{a-d}$
	شیمیایی	۰	۱۱۲^{ef}	۸۹^{e}	۳۱۵۵^{abc}	۱۲۷۱^{fg}
		۴	۱۳۲^{abc}	۱۲۰$^{a-d}$	۲۴۸۲$^{b-f}$	۲۲۳۲$^{c-f}$
		۸	۱۳۳^{abc}	۱۲۱$^{a-d}$	۳۳۷۰^{ab}	۳۳۴۵^{ab}



شکل ۷. اثر سال × حذف مقصد بر شاخص سطح اسمیلات کننده. در هر سال، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف معنی‌داری با استفاده از روش برش‌دهی اثرات مقابل ندارند.

آزمایش و شرایط رشدی گیاه توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۲۸). طبق نتایج اثر منیزیم بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده معنی‌دار نبود. این مسئله بیانگر آن است که سطوح مختلف منیزیم همچنان‌که باعث رشد سبزینگی گیاه و افزایش سطح برگ شده‌اند به همان نسبت بر ذخیره قند در ساقه و افزایش عملکرد قند تأثیرگذاشته‌اند و بنابراین تفاوتی بین سطوح منیزیم از نظر این صفت وجود نداشته است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد با توجه به محدودیت آب در منطقه مورد آزمایش، دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی پتانسیل مطلوبی برای تولید قند در مقایسه با محصولات قندی مانند چغندرقند داشتند. همچنین حذف اندام زایشی در این دو رقم به‌طور مؤثری بر خصوصیات فیزیولوژیکی به‌ویژه سطح فتوسنتزی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه تأثیرگذار بود. در نتیجه عملکرد بیولوژیک افزایش قابل توجهی یافته و با تغییر در روند تخصیص مواد فتوسنتزی عملکرد قند بالاتری حاصل شد به‌طوری که میزان افزایش عملکرد قند در بهترین ترکیب تیماری در مقایسه با کمترین میزان در سال ۱۳۹۳، ۱/۷برابر و در سال ۱۳۹۴، دو برابر شد. فرایند حذف مقصد همزمان با کاربرد منیزیم با فراهم ساختن شرایط مناسب تغذیه‌ای، این اثرات مثبت را بهبود بخشید.

منابع مورد استفاده

1. Almodares, A., R. Taheri and F. Eraghizadeh. 2011. The effects of ethephon on biomass and carbohydrate content in two sweet sorghum cultivars. *International Journal of Plant Production* 5: 221–226.
2. Amujoyegbe, B. J., J. T. Opabode and A. Olayinka. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizer on yield and chlorophyll content of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolour* L. Moench). *African Journal of Biotechnology* 6(16): 1869–1873.
3. Arnon, D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1–15.
4. Barlog, P. and W. Grzebisz. 2001. Effect of magnesium foliar application on the yield and quality of sugar beet roots. *Rostlinná Výroba* 47: 418-422.
5. Broadhead, D. M. 1973. Effects of deheading on stalk yield and juice quality of Rio sweet sorghum. *Crop Science* 13: 395–396.
6. Brohi, A. R., M. R. Karaman, M. T. Topbas, A. Aktas and E. Savasli. 2000. Effect of potassium and magnesium fertilization on yield and nutrient content of rice crop grown on artificial siltation soil. *Turkish Journal of Agriculture* 24: 429–435.
7. Burks, P. S., C. M. Kaiser, E. M. Hawkins and P. J. Brown. 2015. Genomewide association for sugar yield in sweet sorghum. *Crop Science* 55: 2138–2148.
8. Cakmak, I. and A. M. Yazici. 2010. Magnesium-a forgotten element in crop production. *Better Crops* 94: 23–25.
9. Channappagoudar, B. B., N. R. Biradar, J. B. Patil and S. M. Hiremath. 2007. Study on morpho-physiological, biophysical characters and alcohol production in sweet sorghum genotypes. *Karnataka Journal of Agricultural Science* 20: 234–237.
10. Dalvi, U. S., U. D. Chavan, M. S. Shinde and S. R. Gadakh. 2011. Assessment of sweet sorghum cultivars for efficient ethanol production. *Sugar Tech* 13: 186–190.
11. Egan, H., R. S. Kirk and R. Sowyer. 1981. Pearson's Chemical Analysis of Foods. Churchill Livingstone, London.
12. EL-Metwally, A. E., F. E. Abdalla, A. M. El-Saady, S. A. Safina and S. S. EI-Sawy. 2010. Response of wheat to magnesium and copper foliar feeding under sandy soil condition. *Journal of American Science* 6(12): 818-823.
13. Erickson, J. E., K. R. Woodard and L. E. Sollenberger. 2012. Optimizing sweet sorghum production for biofuel in the southeastern USA through nitrogen fertilization and top removal. *Bioenergy Research* 5: 86–94.
14. Fagira, N. K., M. P. Barbosa Filho, A. Moreira and C. M. Guimaraes. 2009. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1044-1064.
15. Fanciullino, A. L., L. P. R. Bidel and L. Urban. 2014. Carotenoid responses to environmental stimuli: integrating redox and carbon controls into a fruit model. *Plant Cell and Environment* 37: 273–289.
16. Ferraris, R. 1981a. Early assessment of sweet sorghum as an agro-industrial crop. I. Varietal evaluation. *Austarlian Journal of Experimental Agriculture* 21(108): 75–82.

17. Ferraris, R. 1981b. Early assessment of sweet sorghum as an agro-industrial crop. 2. Maturity factors. *Austarlian Journal of Experimental Agriculture* 21(108): 83–90.
18. Ganesh Kumar, C., A. Fatima, P. Srinivasa Rao, B. V. S. Reddy, A. Rathore, R. Nageswar Rao and A. Kamal. 2010. Characterization of improved sweet sorghum genotypes for biochemical parameters, sugar yield and its attributes at different phenological stages. *Sugar Tech* 12(3–4): 322–328.
19. Gerendás, J. and H. Führs. 2013. The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil* 368: 101–128.
20. Hardy, G., H, Dove and M. Awad. 1986. The use of ethephon for prevention of flowering in sugarcane in Sudan. *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists* 19: 305-316.
21. Hermans, C., J. P. Hammond, P. J. White and N. Verbruggen. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science* 11(12): 610-617.
22. Humm, M. 2001. Observations on the supression of sugarcane flowering using ethephon on the Kwazulu-Natal south coast. *Proceedings of South African Sugar Technologists Association* 75: 187–191.
23. Jain, R., A. Chandra and S. Solomon. 2013. Impact of exogenously applied enzymes effectors on sucrose metabolizing enzymes (SPS, SS and SAI) and sucrose content in sugarcane. *Sugar Tech* 15:370–378.
24. Jezek, M., C. M. Geilfus, A. Bayer and K. H. Muhling. 2015.Photosynthetic capacity, nutrient status, and growth of maize (*Zea mays* L.) upon MgSO4 leaf-application. *Frontiers in Plant Science* 5: 781.
25. Lafarge, T. A. and G. L. Hammer. 2002. Predicting plant leaf area production:Shoot assimilates accumulation and partitioning, and leaf area ratio, is stable for a wide range of sorghum population densities. *Field Crops Research* 77: 137–151.
26. Li, Y. 2004. Beneficial effects of ethephon application on sugarcane under sub-tropical climate of China. *Sugar Tech* 6(4): 235–240.
27. Li, Y. and S. Solomon. 2003. Ethephon: A versatile growth regulator for sugar cane industry. *Sugar Tech* 5: 213–223.
28. Mahmoud, E. A., M. A. Bekheet and M. A. Gomaa. 2013. Effect of nitrogen fertilization and plant density on productivity and quality of sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science* 13(5): 654–659.
29. Marschner, H., E. A. Kirkby and I. Cakmak. 1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany* 47: 1255–1263.
30. Malakouti, M. J. 2000. Comprehensive Methods of Diagnosis and Necessity of Efficient Chemical Fertilizers. Tarbiat Modares University Press. Tehran. (In Farsi).
31. McDonald, L., T. Morgan and P. Jackson. 2001. The effect of ripeners on ccs of 47 sugarcane varieties in the Burdekin. *Proceedings Australian Society of Sugar Cane Technologists* 23: 102-108.
32. Mishra, J. S., N. S. Thakur, S. P. Kewalanand, B. B. Kushwaha, S. S. Rao and J. V. Patil. 2015. Response of sweet sorghum genotypes for biomass, grain yield and ethanol production under different fertility levels in rainfed conditions. *Sugar Tech* 17: 204–209.
33. Rao, S., S. Rao, N. Seetharama, A. Umakanth, P. Sanjana Reddy, B. Reddy and C. Gowda. 2009. Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement. Information Bulletin No. 77. Patancheru 502-324.
34. Ratnavathi, C. V., K. Suresh, B. S. V. Kumar, M. Pallavi, V. V. Komala and N. Seetharama. 2010. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy* 34: 947–952.
35. Shah, S. H., R. Houborg and M. F. McCabe. 2017. Response of chlorophyll, carotenoid and SPAD-502 measurement to salinity and nutrient stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy* 7(61): 1-21.
36. Sinha, S. K., H. S. Srivastava and R. D. Tripathi. 1994. Influence of some growth regulators and divalent cations on the inhibition of nitrate reductase activity by lead in maize leaves. *Chemosphere* 29: 1775–1782.
37. Smith, G. A. and D. R. Buxton. 1993. Temperate zone sweet sorghum tethanol production potential. *Bioresource Technology* 43: 71-75.
38. Stickler, F. C., S. Wearden and A.W. Pauli. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. *Agronomy Journal* 53(3): 187.
39. Szulc, P., T. Piechota, M. Jagła and M. Kowalski. 2015. A comparative analysis of growth in maize (*Zea mays* L.) hybrids of different genetic profiles depending on type of nitrogen fertilizer and magnesium dose. *Communications in Biometry and Crop Science* 10(2): 73–81.
40. Tan, K., W. G. Keltjens and G. R. Findenegg. 1992. Acid soil damage in sorghum genotypes: Role of magnesium deficiency and root impairment. *Plant and Soil* 139: 149-155 .
41. Thayer, J. S. 1974. Organometallic compounds and living organisms. *Journal of Organomental Chemistry* 76: 265-295.
42. Tsialtas, J. T. and N. Maslaris. 2008. Evaluation of a leaf area prediction model proposed for sunflower. *Photosynthetica* 46: 294-297.
43. Vrataric, M., A. Sudaric, V. Kovacevic, T. Duvnjak, M. Krizmanic and A. Mijic. 2006. Response of soybean to foliar fertilization with magnesium sulfate (Epson Salt). *Cereal Research Communications* 34: 709-712.
44. Wang, A. Q., W. J. Huang, J. Q. Niu, M. Liu, L. T. Yang and Y. R. Li. 2013. Effects of ethephon on key enzymes of

sucrose metabolism in relation to sucrose accumulation in sugarcane. *Sugar Tech* 15(2): 177–186.
45. Yaghubi, M., Kh. Azizi, S. Heydari, R. Roham and A. Norouzian. 2012. Study the effect of different methods of magnesium sulfate application and cultivar on percentage of seed magnesium and crude protein and growth index in lentil (*Lens culinaris* Med.) at Khorramabad climatic condition. *Pajouhesh and Sazandegi* 103: 12–22.(In Farsi).
46. Zhu, J. J. 2002. Comprehensive Effects of Ethephon and Ethephon Plus Gibberellin Treatments on Photosynthesis of Sugarcane. MSc. Thesis. Guang University. Nanning, China.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 9, No. 1, Spring 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Sink Removal and Magnesium Spraying on Photosynthetic Pigments and Sugar Yield of Two Sweet Sorghum Cultivars

S. Nezarat[1], A. Gholami[2*], M. Baradaran Firouzabadi[2] and H. R. Asghari[2]

(Received: February 24-2018; Accepted: June 11-2018)

Abstract

The ever-increasing problem of water scarcity in arid and semi-arid regions of Iran has necessitated the demand to replacement of sugar beet plantation by more water-use efficient plants. Sweet sorghum is one of the sugars plants with low water requirements that potentiates cost-effective sugar production in different regions. However, physiological aspects of sugar yield in this plant is not completely understood. The present experiment studied the effect of sink (spike) removal (as a limiting factor for sugar production) and magnesium spraying (as an improving factor for plant growth) on photosynthetic pigments concentration and yield of two sweet sorghum cultivars. This research was carried out as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications in two years (2014, 2015) in Shahroud Agricultural Research Center, Shahroud, Iran. Experimental factors included sweet sorghum cultivars (KFS2 and KFS3), sink removal treatments (control, mechanical removal and chemical removal of spike by ethephon) and spraying different concentrations of magnesium (0, 4 and 8 mM). Interaction of cultivars, sink removal and magnesium spraying levels was significant on photosynthetic pigments concentration, leading to increase in total sugar and sugar yield. The highest sugar yield in both cultivars was obtained from chemical removal of sink and 4 and 8 mM of magnesium application. In both of the studied cultivars, assimilate surface index was significantly affected by sink removal and the highest amount of this trait (2.65 g sugar per square meters of leaf area) was achieved from chemical removal of sink in KFS2. The latter results indicated that photosynthetic capacity of the sweet sorghum plants was enhanced by sink removal, especially when removed chemically, i.e. by ethephon. As no significant difference was observed between 4 and 8 mM in most examined traits, the 4 mM magnesium spraying was proven more suitable.

Keywords: Magnesium sulfate, Sugar yield, Photosynthetic pigments, Ethephon

1, 2. PhD. Student and Associate Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran
*: Corresponding Author, Email: ahgholami@yahoo.com