بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

رساله دکتری زراعت

ارزیابی برخی خصوصیات فیزیولوژیک مرتبط با تولید قند در سورگوم شیرین

نگارنده: سمیه نظارت

استاد راهنما

دکتر احمد غلامی

اساتید مشاور

دکتر حمید رضا اصغری
دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

شهریور ۱۳۹۷

فرم شماره ۱۲: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

(ویژه دانشجویان ورودی های ۹۴ و ما قبل)

بدینوسیله گواهی می شود خانم سمیه نظارت دانشجوی دکتری رشته زراعت به شماره دانشجویی ۹۱۲۵۳۷۵ورودی مهر ماه سال ۱۳۹۱ در تاریخ ۹۷/۶/۱۰ از رساله نظری☐ / عملی☒ خود با عنوان : ارزیابی برخی خصوصیات فیزیولوژیک مرتبط با تولید قند در سورگوم شیرین

دفاع و با اخذ نمره ۱۹.۶۲ به درجه : عالی نائل گردید.

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☑	ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹ – ۱۷☐
ج) درجه خوب: نمره۱۶/۹۹– ۱۵☐	د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد☐
ه) رساله نیاز به اصلاحات دارد☐	

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱	دکتر احمد غلامی	استاد راهنما	دانشیار	
۲	دکتر حمیدرضا اصغری	مشاور	دانشیار	
۳	دکتر مهدی برادران فیروزآبادی	مشاور	دانشیار	
۴	دکتر محمدرضا عامریان	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۵	دکتر مصطفی حیدری	استاد مدعو داخلی	دانشیار	
۶	دکتر همت اله پیردشتی	استاد مدعو خارجی	دانشیار	
۷	دکتر حسن مکاریان	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده	دانشیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای/خانم سمیه نظارت بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده :

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

دانشکده کشاورزی

تقدیم به همسر مهربانم

که با صبرش در تمامی لحظات رفیق راهم بود

و تقدیم به دلبندم

امید بخش جانم که آسایش او آرامش من است

تشکر و قدردانی

قادر متعال را سپاسگذارم که لطفش را بیکران در حق من ارزانی داشت و همیشه او را شاکرم و از او می خواهم که مرا یاری کند تا همیشه در راه او و برای رضای او گام بردارم.

اکنون که با یاری خداوند متعال از تحریر این رساله فراغت می یابم، بر خود لازم می دانم که از تمامی استادان، دوستان و عزیزانی که در مراحل پژوهش و نگارش این رساله مرا مورد لطف خویش قرار داده اند تشکر و قدردانی نمایم. با امتنان بیکران از مساعدت های استاد ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر احمد غلامی که راهنمایی این رساله را بر عهده گرفته و با متانت و بردباری، راهگشای مسائل و مشکلات آن بوده اند، صمیمانه قدردانی نمایم. از استادان معظم آقایان دکتر حمیدرضا اصغری و دکتر مهدی برادران فیروزآبادی که مشاوره این پژوهش را بعهده داشته اند و از هیچگونه همکاری و مساعدت دریغ ننموده اند سپاسگذارم. همچنین مراتب امتنان خود را از آقایان دکتر همت اله پیردشتی، دکتر محمدرضا عامریان و دکتر مصطفی حیدری که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل نموده و با نظرات سازنده خود یاریم کردند، ابراز می دارم. از زحمات کلیه اعضاء هیئت علمی و کارشناسان محترم دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود و نیز همکاران واحد استانی موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال بویژه آقای دکتر حمیدرضا طحانیان به خاطر بذل توجه و همکاری های ارزنده شان تشکر می نمایم.

همچنین از تمامی دوستان عزیزی که در طول دوره تحصیل مدیون لطف آنان بوده ام و خانواده عزیزم که در تمام لحظات همراه و یاور من بودند صمیمانه قدردانی می نمایم.

سمیه نظارت

شهریور ۱۳۹۷

تعهدنامه

اینجانب **سمیه نظارت** دانشجوی دوره دکتری رشته زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله **ارزیابی برخی خصوصیات فیزیولوژیک مرتبط با تولید قند در سورگوم شیرین** تحت راهنمائی **دکتر احمد غلامی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ ۹۷/۶/۱۰

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در سال‌های اخیر کمبود آب در کشور به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک 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 موثر بر عملکرد قند در این گیاه به طور کامل شناخته شده نیست. آزمایش حاضر به بررسی اثر حذف مخزن به عنوان یک عامل محدودکننده تولید قند و محلول‌پاشی منیزیم به عنوان عاملی در بهبود رشد گیاه بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی در دو رقم سورگوم شیرین پرداخته است. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در طی دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) به اجرا درآمد. عوامل آزمایش شامل دو رقم سورگوم شیرین (KFS2 وKFS3)؛ تیمارهای حذف مخزن (شاهد، حذف مکانیکی و حذف شیمیایی با استفاده از اتفون) و محلول‌پاشی غلظت‌های منیزیم (صفر، ۴ و ۸ میلی‌مولار) از منبع سولفات منیزیم بودند. نتایج این پژوهش نشان داد در دو سال آزمایش بین دو رقم مورد بررسی رقم KFS3 از نظر ارتفاع بوته، قطر ساقه، عملکرد علوفه تر و کارایی مصرف آب بر حسب ماده خشک تفاوت معنی‌دار با رقم KFS2 داشت. در بین تیمارهای حذف مخزن، حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن بیشترین تاثیر را بر صفات اندازه‌گیری شده داشت. این تیمارها در ترکیب با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم علاوه بر افزایش عملکرد بیولوژیک و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی سبب افزایش معنی‌دار میزان ساکارز و قند کل موجود در شیرابه در مقایسه با عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شدند. با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار در بیشتر صفات بین سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار، سطح ۴ میلی‌مولار منیزیم مناسب‌تر بود. بیشترین عملکرد قند به میزان ۴۱۶۶ کیلوگرم در هکتار و نیز بیشترین کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد قند به میزان ۰/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب از تیمار

حذف شیمیایی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیـزیم در رقـم KFS2 بدسـت آمـد. در دو رقـم مـورد بررسی شاخص سطح اسمیلات‌کننده به طـور معنـی‌داری تحـت تـاثیر حـذف مخـزن قـرار گرفـت و بیشترین میزان این شاخص از حذف شیمیایی به میزان ۶۵/۲ گرم قند به ازای هر مترمربع سطح برگ بدست آمد که در کنار سایر صفات مورد بررسی بیانگر افزایش توان فتوسنتزی گیاه در نتیجـه حـذف مخزن به ویژه از طریق حذف شیمیایی با اتفون است. در مجموع با اجرای این پژوهش مشـخص شـد می‌توان با استفاده از اتفون به عنوان جایگزین روش حذف مکانیکی مخزن بـا ممانعـت از گلـدهی در سورگوم شیرین رشد کمی و کیفی ارقام این گیاه را افزایش داد. همچنـین اسـتفاده از محلـول‌پاشـی غلظت‌های مختلف منیزیم در کنار این ترکیب عملکرد قند را در این گیاه افزایش داد.

کلمات کلیدی: حذف مخزن، اتفون، محلول‌پاشی منیزیم، عملکرد قند، اتانول

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- نظارت، س.، غلامی، ا.، اصغری، ح.ر.، برادران فیروزآبادی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی تغییر روند تخصیص مواد فتوسنتزی و غلظت‌های مختلف سولفات منیزیم بر عملکرد کمی و کیفی شیرابه ارقام سورگوم شیرین. دومین کنگره بین المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران.

۲- نظارت، س.، غلامی، ا.، برادران فیروزآبادی، م.، اصغری، ح.ر. ۱۳۹۵. مطالعه تاثیر سولفات منیزیم و تغییر روابط مبدا و مقصد بر رشد کمی و کیفی ارقام سورگوم شیرین. دومین کنگره بین المللی و چهاردهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران.

۳- نظارت، س.، غلامی، ا.، برادران فیروزآبادی، م.، اصغری، ح.ر. ۱۳۹۸. اثر حذف مقصد و محلول‌پاشی منیزیم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد قند دو رقم سورگوم شیرین. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۹ (۱) : ۱۵۵-۱۷۲.

4- Nezarat, S., Gholami A., Asghari H.R., Baradaran Firouzabadi M. 2018. Sweet Sorghum Response to Magnesium Fertilization and Top Removal. Sugar Tech. 20: 305-311.

فهرست مطالب

فهرست اشکال د
فصل اول: مقدمه و کلیات ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۱ سورگوم ۲
۱-۳ خصوصیات زراعی ۴
۱-۳ انواع سورگوم ۶
فصل دوم: بررسی منابع ۱۱
۲-۱ ارقام سورگوم شیرین ۱۲
۲-۲ تغذیه معدنی ۱۵
۲-۳ حذف مخزن ۱۸
۲-۴ آنزیم‌های هیدرولیزکننده ساکارز ۲۲
۲-۴-۱ ساکارز سینتاز ۲۳
۲-۴-۲ اینورتازها ۲۴
۲-۴-۲-۱ اینورتازهای قلیایی- خنثی ۲۴
۲-۴-۲-۲ اینورتازهای اسیدی ۲۵
۲-۴-۲-۳ تنظیم فعالیت اینورتازها ۲۶
۲-۴-۳ ساکارز فسفات سینتاز ۲۶
فصل سوم: مواد و روش‌ها ۲۹
۳-۱ مشخصات محل اجرای آزمایش ۳۰
۳-۲ خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک ۳۰
۳-۳ طرح آزمایش ۳۱
۳-۴ اعمال تیمارهای آزمایش ۳۱
۳-۵ عملیات زراعی ۳۲
۳-۶ برداشت ۳۳
۳-۷ صفات مورد بررسی ۳۳
۳-۷-۱ صفات زراعی ۳۳
۳-۷-۱-۱ کارایی مصرف آب ۳۴
۳-۷-۲ صفات فیزیولوژیک ۳۴
۳-۷-۲-۱ شاخص سطح برگ ۳۴
۳-۷-۲-۲ شاخص سطح برگ ویژه ۳۴
۳-۷-۲-۳ نسبت سطح برگ ۳۵
۳-۷-۲-۴ شاخص سطح اسمیلات‌کننده ۳۵
۳-۷-۲-۵ شاخص سبزینگی ۳۵
۳-۷-۲-۶ میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ ۳۵
۳-۷-۲-۷ اندازه‌گیری آنزیمی ۳۶

۳-۷-۲-۷-۱ عصاره آنزیمی ۳۶
۳-۷-۲-۷-۲ تعیین فعالیت آنزیم ۳۷
۳-۷-۳ صفات کمی و کیفی شیرابه ۳۸
۳-۷-۳-۱ عملکرد شیرابه ۳۹
۳-۷-۳-۲ راندمان تولید شیرابه ۳۹
۳-۷-۳-۳ pH شیرابه ۳۹
۳-۷-۳-۴ وزن حجمی شیرابه ۳۹
۳-۷-۳-۵ درصد بریکس (ضریب شکست) ۳۹
۳-۷-۳-۶ قندهای محلول ۴۰
۳-۷-۳-۶-۱ شفاف‌سازی ۴۰
۳-۷-۳-۶-۲ قندهای احیاکننده (قبل از هیدرولیز) ۴۰
۳-۷-۳-۶-۳ قند کل ۴۱
۳-۷-۳-۶-۴ ساکارز ۴۲
۳-۷-۳-۶-۵ گلوکز ۴۲
۳-۷-۳-۶-۶ فروکتوز ۴۲
۳-۷-۳-۷ عملکرد قند ۴۳
۳-۷-۳-۸ عملکرد بالقوه اتانول ۴۳
۳-۸ تجزیه و تحلیل داده‌ها ۴۳
فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۵
۴-۱ صفات زراعی ۴۶
۴-۱-۱ ارتفاع بوته ۴۶
۴-۱-۲ قطر ساقه ۵۰
۴-۱-۳ وزن خشک برگ ۵۱
۴-۱-۴ وزن خشک ساقه ۵۵
۴-۱-۵ عملکرد علوفه تر ۵۸
۴-۱-۶ عملکرد بیولوژیک ۶۲
۴-۱-۷ کارایی مصرف آب (ماده خشک) ۶۵
۴-۱-۸ کارایی مصرف آب (قند) ۶۸
۴-۲ صفات فیزیولوژیک ۷۲
۴-۲-۱ شاخص سطح برگ ۷۲
۴-۲-۲ سطح ویژه برگ ۷۴
۴-۲-۳ نسبت سطح برگ ۷۷
۴-۲-۴ شاخص سبزینگی ۸۱
۴-۲-۵ رنگیزه‌های فتوسنتزی ۸۴
۴-۳ صفات کمی و کیفی شیرابه ۹۶
۴-۳-۱ عملکرد شیرابه ۹۶
۴-۳-۲ راندمان تولید شیرابه ۱۰۰
۴-۳-۳ pH شیرابه ۱۰۳

۴-۳-۴ وزن حجمی شیرابه ۱۰۵
۴-۳-۵ درصد بریکس ۱۰۷
۴-۳-۶ قندهای محلول ۱۱۱
۴-۳-۶-۱ گلوکز شیرابه ۱۱۱
۴-۳-۶-۲ فروکتوز شیرابه ۱۱۵
۴-۳-۶-۳ ساکارز شیرابه ۱۱۷
۴-۳-۶-۴ قند کل شیرابه ۱۲۳
۴-۳-۷ عملکرد قند ۱۲۷
۴-۳-۸ عملکرد بالقوه اتانول ۱۳۱
۴-۳-۹ شاخص سطح اسمیلات‌کننده ۱۳۳
۴-۴ آنزیم‌های متابولیزکننده ساکارز ۱۳۶
۴-۴-۱ فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی ۱۳۶
۴-۴-۲ فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول ۱۴۰
۴-۴-۳ فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز ۱۴۴
۴-۴-۴ فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز ۱۴۷
نتیجه‌گیری ۱۵۰
پیشنهادها ۱۵۲
پیوست ۱۵۳
مراجع ۱۶۰

فهرست اشکال

شکل۱-۴. اثر محلول‌پاشی منیزیم بر ارتفاع بوته در سورگوم شیرین ۴۹
شکل۲-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن بر میزان ارتفاع بوته در سورگوم شیرین ۴۹
شکل۳-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن بر قطر ساقه ۵۲
شکل۴-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر قطر ساقه ۵۲
شکل ۵-۴. اثر حذف مخزن بر وزن خشک برگ ۵۴
شکل۶-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر وزن خشک برگ ۵۴
شکل۷-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر وزن خشک ساقه ۵۷
شکل۸-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر وزن خشک ساقه ۵۷
شکل ۹-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد علوفه تر ۶۰
شکل۱۰-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن بر عملکرد علوفه تر ۶۰
شکل۱۱-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد علوفه تر ۶۱
شکل۱۲-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان عملکرد بیولوژیک ۶۳
شکل۱۳-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان عملکرد بیولوژیک ۶۴
شکل۱۴-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان مصرف آب (ماده خشک) ۶۶
شکل۱۵-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان مصرف آب (ماده خشک) ۶۶
شکل۱۶-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان مصرف آب (عملکرد قند) ۶۹
شکل۱۷-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان مصرف آب (عملکرد قند) ۷۱
شکل۱۸-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن بر شاخص سطح برگ ۷۳
شکل۱۹-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ ۷۳
شکل۲۰-۴. اثرمتقابل حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان سطح ویژه برگ ۷۶
شکل۲۱-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی بر میزان سطح ویژه برگ ۷۶
شکل۲۲-۴. اثر متقابل سال × رقم بر نسبت سطح برگ ۷۹
شکل۲۳-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن بر نسبت سطح برگ ۷۹
شکل۲۴-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن بر شاخص سطح برگ ۸۰
شکل۲۵-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن بر شاخص سبزینگی ۸۰
شکل۲۶-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر شاخص سبزینگی ۸۳
شکل۲۷-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان شاخص سبزینگی ۸۳
شکل۲۸-۴. اثر سال آزمایش بر میزان کلروفیل a ۸۵
شکل۲۹-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل ۸۵
شکل۳۰-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل b ۸۹
شکل۳۱-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل b ۹۰
شکل۳۲-۴. اثر حذف مخزن بر میزان کاروتنوئیدها در سال ۱۳۹۳ ۹۰
شکل۳۳-۴. اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کاروتنوئیدها در سال ۱۳۹۳ ۹۱
شکل۳۴-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کاروتنوئیدها در سال ۱۳۹۴ ۹۱
شکل۳۵-۴. اثر متقابل سال × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل کل ۹۲

شکل۳۶-۴. اثر متقابل حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل کل ۹۳
شکل۳۷-۴. اثر متقابل سال × رقم بر میزان کلروفیل کل ۹۳
شکل۳۸-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی بر عملکرد شیرابه ۹۶
شکل۳۹-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد شیرابه ۹۹
شکل۴۰-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن بر راندمان تولید شیرابه در سال ۱۳۹۳ ۱۰۲
شکل۴۱-۴. اثر رقم بر راندمان تولید شیرابه در سال ۱۳۹۴ ۱۰۲
شکل۴۲-۴. اثر متقابل حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان تولید شیرابه در سال ۱۳۹۴ ۱۰۳
شکل۴۳-۴. اثر رقم بر میزان pH شیرابه سورگوم شیرین ۱۰۵
شکل۴۴-۴. اثر سال آزمایش بر میزان وزن حجمی شیرابه ۱۰۶
شکل۴۵-۴. اثر حذف مخزن بر میزان وزن حجمی شیرابه ۱۰۶
شکل۴۶-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر درصد بریکس ۱۰۹
شکل۴۷-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر درصد بریکس ۱۰۹
شکل۴۸-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر درصد بریکس ۱۱۰
شکل۴۹-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان گلوکز شیرابه ۱۱۲
شکل۵۰-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان گلوکز شیرابه ۱۱۴
شکل۵۱-۴. اثر محلول‌پاشی منیزیم بر فروکتوز شیرابه ۱۱۶
شکل۵۲-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن بر میزان فروکتوز شیرابه ۱۱۶
شکل۵۳-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر ساکارز شیرابه ۱۱۸
شکل۵۴-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر ساکارز شیرابه ۱۱۸
شکل۵۵-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر ساکارز شیرابه ۱۲۲
شکل۵۶-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن بر میزان قند کل شیرابه ۱۲۴
شکل۵۷-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر قند کل شیرابه ۱۲۴
شکل۵۸-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان قند کل شیرابه ۱۲۶
شکل۵۹-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد قند ۱۲۹
شکل۶۰-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد قند ۱۳۰
شکل۶۱-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد بالقوه اتانول ۱۳۲
شکل۶۲-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده ۱۳۵
شکل۶۳-۴. اثر متقابل اثر سال × حذف مخزن بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده ۱۳۵
شکل۶۴-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن بر فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی ۱۳۸
شکل۶۵-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی ۱۳۸
شکل۶۶-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی ۱۳۹
شکل۶۷-۴. اثر متقابل سال × رقم × حذف مخزن بر فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول ۱۴۳
شکل۶۸-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول ۱۴۳
شکل۶۹-۴. اثر متقابل سال × رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز ۱۴۵
شکل۷۰-۴. اثر متقابل سال × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز ۱۴۵
شکل۷۱-۴. اثر متقابل رقم × حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز ۱۴۹

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

کمبود منابع آب در ایران به علت تغییرات شرایط اقلیمی از یک سو و افزایش هزینه تولید محصولات قندی به واسطه افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی از سوی دیگر نیاز به تغییر سیستم‌های مدیریتی این محصولات را بیش از پیش نمایان ساخته است. از جمله راهکارهای موجود در این زمینه، کشت گیاهان جایگزین با پتانسیل عملکرد بالا و راندمان مصرف بهینه آب و نیز سازگار به شرایط آب و هوایی کشور است.

۱-۲ سورگوم

سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) گیاهی از خانواده غلات است و از نظر اهمیت در بین غلات در دنیا بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم قرار دارد. بنابراین سورگوم در دنیا در درجه اول به عنوان یک غله مطرح می‌شود. این گیاه در مقایسه با اکثر غلات درجه حرارت‌های بالا را بهتر تحمل می‌نماید (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۴) .

سطح زیر کشت سورگوم در جهان در سال ۲۰۱۶ میلادی حدود ۴۴ میلیون هکتار بوده که بخش عمده این سطح زیرکشت را ارقام سورگوم دانه‌ای به خود اختصاص داده است. نیجریه با سطح زیرکشت حدود ۹ میلیون هکتار در مقام اول قرار دارد و ایالات متحده امریکا با سطح زیر کشت حدود ۲/۵ میلیون هکتار بیشترین محصول را در جهان تولید نموده و بزرگترین صادرکننده این محصول است و در مقابل چین بیشترین میزان واردات آن را به خود اختصاص داده است (فائو، ۲۰۱۷).

سطح زیر کشت سورگوم در ایران با برخی محصولات علوفه‌ای دیگر مانند ارزن مخلوط شده و تا حدود ۱۱۵ هزار هکتار گزارش شده است و براین اساس آمار مشخصی از سطح کشت واقعی سورگوم در ایران در دسترس نیست (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶).

سورگوم شیرین نوعی از سورگوم است کـه مـی‌توانـد مقـادیر قابـل‌تـوجهی از قنـدهای محلـول را در سلول‌های پارانشیم ساقه خود ذخیره نماید و با تعداد محدودی ژن که مسئول تجمـع و ذخیـره ایـن قندها هستند از سورگوم دانه‌ای متمایز می‌شود (راتناواتی و همکاران، ۲۰۱۰). این گیاه بـا نیـاز آبـی کم، دوره رشد کوتاه (۵-۳ ماه)، توان تولید ماده خشک بالا و ذخیره قندهای محلول در ساقه، توانایی رشد در شرایط اقلیمی و خاک‌های نامناسب را داشته و بر این اساس بـه عنـوان گیـاهی ارزشـمند در چرخه تولید قند و سوخت‌های زیستی معرفی شده است (اریکسون و همکاران، ۲۰۱۲؛ راو و همکاران، ۲۰۰۹). راندمان مصرف آب بالا و تحمل به خشکی در سورگوم شیرین از جمله ویژگی‌هایی است کـه کشت این گیاه را در مقایسه با سایر گیاهان قندی مانند چغندرقند در مناطقی که بارش محدود بوده و هزینه آبیاری نیز بسیار بالا است قابل توجیه می‌نماید.

هرچند امروزه هیبریدهای مختلفی از سورگوم شیرین با هدف افزایش میزان لیگنوسلولز، قند، نشاسته و ماده خشک معرفی شده‌اند اما پیشرفت در این زمینه در مقایسه با ذرت، چغندرقند و نیشکر با توجه به سابقه کم مطالعات فیزیولوژیکی و زراعی روی سورگوم شیرین بسیار اندک است. در ایران اصـلاح و مطالعه ارقام سورگوم شیرین به صورت مجزا از انواع علوفه‌ای صورت نگرفته و تنها به معرفی ارقامی با قابلیت تولید قند اکتفا شده است. حال آنکه به دلیل وسعت بالای مناطق خشـک و نیمـه خشـک در ایران، لزوم تغییر الگوی کشت چغندرقند در این مناطق بیش از پیش نمایان شده و در نتیجه بررسی امکان کشت و توسعه ارقام سورگوم شیرین به عنوان گیاه قندی جایگزین در این منـاطق مـورد نیـاز است.

از نظر فیزیولوژیکی سورگوم شیرین جزء گیاهان چهارکربنه طبقه‌بندی می‌گردد و بنابراین از کـارایی فتوسنتزی بالایی برخوردار است. مدیریت مطلوب گیاه با توجه به شرایط اقلیمـی، نـوع خـاک و رقـم می‌تواند ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در ساقه را بهبـود بخشـیده و میـزان عملکـرد سـاقه و عملکـرد شیرابه گیاه را که از آن قند استحصال می‌گردد افزایش دهد (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۴).

در گذشته عموما سورگوم در مناطقی کشت می‌شد که برای کشت سایر گیاهان مساعد نبود. اما امروزه با اصلاح و معرفی ارقام جدید، این گیاه در شرایط مطلوب محیطی محصولی قابل توجه را تولید می‌نماید.

۳-۱ خصوصیات زراعی

سورگوم در برابر خشکی پایدار است ولی برای تولید علوفه زیاد، نیاز به آبیاری دارد که نیاز آبی آن حداقل معادل ۵۰۰ میلی‌متر بارندگی در فصل رشد است (کریمی، ۱۳۷۶). این گیاه راندمان مصرف آب بالاتری در مقایسه با سایر گیاهان قندی دارد به‌طوری‌که به ۳۳ تا ۵۰ درصد آب کمتری در مقایسه با نیشکر نیاز دارد (هانتر و آندرسون، ۱۹۹۷).

سورگوم نسبت به سایر غلات نیز جهت رشد و نمو به آب کمتری نیاز دارد به طوری که طبق تحقیقات انجام شده برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک به ۳۳۲ لیتر آب نیاز دارد در صورتی‌که این نیاز آبی برای ذرت ۳۶۸ لیتر، جو ۴۳۴ لیتر و گندم ۵۱۴ لیتر است (هوس، ۱۹۸۵).

سینگ و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که سیستم ریشه‌ای در ذرت و سورگوم از نظر مورفولوژی و نمو ساختاری متفاوت هستند. سورگوم یک ریشه اولیه ساده تولید کرده و در ادامه ریشه‌های ثانویه از کولئوپتیل در مرحله ۵-۴ برگی بوجود می‌آیند در حالی که ذرت ۷-۳ ریشه اولیه تولید کرده و ریشه‌های ثانویه از کولئوپتیل در مرحله دو برگی ظاهر می‌شوند. نتایج بررسی‌ها بر روی ذرت و سورگوم در شرایط مختلف تنش آبی نشان داده است که در شرایط آبیاری مطلوب بین این دو گیاه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد اما در شرایط تنش شدید، عملکرد بیولوژیک سورگوم ۲۷ درصد بیشتر از ذرت بود. این نتایج نشان داد توسعه ریشه، تراکم ریشه و وزن خشک ریشه در پایان فصل سورگوم در مقایسه با ذرت بیشتر بوده و به همین دلیل توان جذب آب بیشتری در مقایسه با ذرت دارا است (شیتن هیلم و شروتر، ۲۰۱۴).

سورگوم گیاهی روز کوتاه است. ارقام حساس به طول روز دارای جوانه‌های رویشی انتهایی هستند که تا زمانی که طول روز به اندازه کافی کوتاه شود به صورت رویشی باقی می‌مانند و تمایز آنها به جوانه‌های زایشی صورت نمی‌گیرد.

گیاهچه جنینی سورگوم چهاربرگ حقیقی دارد و برگ‌های بعدی پس از سبز شدن تولید می‌شود. پس از سبز شدن تا رسیدن به رشد زایشی، تعداد و سطح برگ گیاه تدریجا افزایش می‌یابد. تعداد برگ در انواع سورگوم بسته به ارقام از ۱۴ تا ۳۱ برگ متفاوت است (هوس، ۱۹۸۵). پس از تشکیل جوانه زایشی و توقف تولید برگ، توسعه سطح برگ ادامه یافته تا آن‌که در زمان گرده‌افشانی به حداکثر سطح خود می‌رسد و از آن به بعد ثابت می‌ماند.

از جمله ویژگی‌های مهم سورگوم قرار گرفتن این گیاه در تناوب زراعی با سایر گیاهان مانند ذرت و سویا است که امکان مدیریت زراعی و استفاده از ماشین‌آلات را فراهم می‌نماید. همچنین، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که کشت سویا، لوبیا، آفتابگردان و چاودار زمستانه قبل از سورگوم، عملکرد آن را افزایش داده و نیز به حفظ منابع خاک کمک می‌کنند که سیستم تولید را پایدارتر می‌نماید (باکستون و همکاران، ۱۹۹۹).

سورگوم در بسیاری از خاک‌ها از رسی تا شنی رشد می‌کند اما بهترین رشد خود را در خاک‌های لومی و شنی لومی دارد. بعلاوه، به محدوده‌ای از pH از ۵ تا ۸/۵ و خشکی خاک متحمل است. این سازگاری گسترده سبب می‌شود تا در شرایطی که خاک برای کشت سایر گیاهان مناسب نیست قابلیت کشت داشته باشد (زگادا-لیزارو و مونتی، ۲۰۱۲).

مانند بسیاری از گیاهان میزان کود مورد نیاز برای سورگوم شیرین به درجه حاصلخیزی خاک بستگی دارد ولی معمولا سورگوم نیاز کودی کمتری نسبت به سایر گیاهانی که به صورت ردیفی کشت می‌شوند دارد. به عنوان نمونه نیاز سورگوم به نیتروژن به عنوان عامل موثر در تعادل انرژی یک گیاه، حدود ۴۰ درصد کمتر از ذرت است (مونتی و ونتوری، ۲۰۰۳).

۴-۱ انواع سورگوم

انواع سورگوم را می‌توان به شرح ذیل طبقه‌بندی نمود:

- سورگوم دانه‌ای: ارقامی پاکوتاه (۵۰ تا ۸۰ سانتیمتر) با دانه‌هایی سرشار از نشاسته که دانه آنها به منظور علوفه و تغذیه انسان کاربرد دارد.

- سورگوم شیرین: ارقامی با ساقه‌هایی نازک و بلند و غلظت‌های بالایی از قند در ساقه (به ترتیب حدود ۵۳ و ۳۷٪ هیدرات کربن غیرساختاری و ساختاری)، شیرابه آن برای تهیه شربت، قند و اتانول مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- سورگوم علوفه ای: ارقامی با میزان پروتئین و فیبر بالا (بین ۵۹ تا ۶۳٪ هیدرات کربن ساختاری و ۲۲-۲۸٪ هیدرات‌های کربن غیرساختاری) که کل ماده خشک جهت تامین علوفه برداشت می‌شود.

- سورگوم فیبری: ارقامی بلند با ساقه هایی بسیار نازک و سرشار از سلولز و همی سلولز (به ترتیب حدود ۷۷ و ۲۰٪ هیدرات کربن ساختاری و غیرساختاری) که سلولز آن در صنایع تولید کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به طور کلی، میزان هیدرات‌های کربن غیرساختاری در انواع سورگوم شیرین بیشتر از انواع علوفه‌ای و فیبری است و در انواع فیبری و علوفه‌ای هیدرات‌های کربن ساختاری غالب هستند. هرچند انواع قندی، علوفه‌ای و فیبری به دلیل تشابه در بسیاری از صفات به طور کامل قابل تفکیک نیستند و نمی توان هیبریدهای سورگوم علوفه‌ای یا فیبری یافت که دارای مقادیر قابل توجهی قندهای محلول در ساقه نباشند.

در بین انواع سورگوم شیرین به نژادگران دو نوع قندی (sugar) و شربتی(syrup) را در نظر می‌گیرند که در نوع قندی میزان ساکارز بالاتر است و در نوع شربتی ترکیبی از گلوکز و فروکتوز به صورت غالب وجود دارد که کریستالیزه نمی شوند (مونک و میلر، ۱۹۸۴).

سورگوم شیرین در مقایسه با نیشکر دارای مزایای خاصی است از جمله اینکه از طریق بذر تکثیر می‌شود و گیاهی یکساله است که در حدود چهار ماه در مقایسه با ۱۲ تا ۱۶ ماه در نیشکر قابل برداشت است (ردی و همکاران، ۲۰۰۵). مقایسه شیرابه سورگوم شیرین در مقایسه با نیشکر نشان داده است که شیرابه سورگوم شیرین غلیظ و تیره، با چگالی بالا و حاوی کلروفیل است در حالی‌که شیرابه نیشکر روشن و شفاف، با چگالی پایین و تقریبا مساوی آب و فاقد کلروفیل است (راتناواتی و همکاران، ۲۰۱۱).

شیرابه استخراج شده از ساقه‌های سورگوم شیرین عموما دارای ۱۳-۱۰ درصد قندهای قابل تخمیر است که مشابه غلظت قندهای موجود در شیرابه نیشکر است (برادفورد، ۲۰۰۸). ساکارز قند غالب در شیرابه است و پس از آن مقادیر قابل توجهی گلوکز، فروکتوز و حتی نشاسته قابل مشاهده است. ترکیب شیرابه تابع رقم و شرایط محیطی است. کاندیانا و همکاران (۲۰۰۶) ۸۵٪ ساکارز، ۹٪گلوکز و ۶٪ فروکتوز را در شیرابه سورگوم شیرین گزارش کردند. قندهای هگزوز گلوکز و فرکتوز کربوهیدرات‌های غیرساختاری اصلی در میانگره‌های جوان و در حال توسعه هستند (هافمن-توما و همکاران، ۱۹۹۶) در حالی‌که غلظت ساکارز در میانگره‌های در حال رسیدگی بیشتر از گلوکز و فروکتوز است (تارپلی و ویتور، ۲۰۰۷).

شیرابه حاصل از ساقه‌ها به دو روش قابل استفاده خواهد بود. در روش اول به صورت مستقیم و به سرعت وارد فرآیند تخمیر می‌شود که پیش از آن باید pH و میزان قند آن تصحیح شود. در این حالت درجه بریکس باید حدود ۱۵ باشد. در روش دوم شیرابه تغلیظ می‌شود تا درجه بریکس به حدود ۵۵ تا ۶۵ و یا گاهی ۸۰ برسد. در این حالت شیرابه برای چندین ماه با کمترین تغیر در کیفیت باقی می‌ماند.

امروزه استفاده از اتانول به عنوان منبع سوختی پایدار و پاک و در سراسر جهان مورد توجه قرار گرفته است که می‌تواند سبب کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای و نیز توسعه اقتصاد کشاورزی شود (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۴). تولید اتانول می‌تواند از منابع مختلف گیاهی صورت گیرد که از جمله آنها می‌توان

به گیاهان نشاسته‌ای (ذرت و غلات)، گیاهان قندی (چغندرقند، نیشکر و سورگوم شیرین) و مواد سلولزی (چوب و بقایای گیاهی) اشاره نمود (وو و همکاران، ۲۰۱۰). سورگوم شیرین قادر است ۵/۲ تا ۸/۴ گرم اتانول را به ازای هر ۱۰۰ گرم وزن تر گیاه تولید نماید (ساکلاریو-ماکرانتاناکی و همکاران، ۲۰۰۷).

در بسیاری از موارد برای تولید اتانول از سورگوم شیرین فرآیند تخمیر صورت می‌گیرد. برای این منظور از مخمرهای مطلوب استفاده می شود که یکی از مهم‌ترین گونه‌های تجاری قابل استفاده *Saccharomyces cerevisiae* است که به راحتی در دسترس قرار دارد.

در نتیجه فرآیند تخمیر قندها، اتانول، دی اکسید کربن و بیومس مخمر تولید می‌گردد. میزان اتانول حاصل از سورگوم شیرین می تواند ۵۵ تا ۷۰ لیتر به ازای هر تن ساقه پاکسازی شده باشد. اگر اتانول به عنوان سوخت زیستی همراه با بنزین مورد استفاده قرار گیرد باید غلظت آن افزایش یابد و همچنین با استفاده از الک‌های مولکولی یا فیلتراسیون غشائی پاکسازی شود (مونتیرو و همکاران، ۲۰۱۲).

علی‌رغم مزیت‌های سورگوم شیرین یکی از مشکلات اصلی تهیه قند و در نهایت اتانول از این گیاه سرعت تجزیه بالای قندهای ذخیره شده در ساقه آن است. قندهای قابل تخمیر موجود در شیرابه ساقه به طور مستقیم با استفاده از مخمر می‌تواند به اتانول تبدیل گردد. مطالعات نشان داده است که ۲۰ درصد قندهای قابل تخمیر در سه روز اول پس از برداشت در شرایط نگهداری در دمای اتاق به‌وسیله فعالیت‌های باکتری های موجود از بین می‌رود که خود سبب افزایش فعالیت باکتریایی و کاهش pH محیط می‌شود. چنانچه شیرابه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شوند هیچ اختلاف معنی‌داری در میزان pH، مقادیر قند و خصوصیات قند مشاهده نخواهد شد (ژیاورانگ وو و همکاران، ۲۰۱۰). براین اساس بهترین راهکار برای حفظ قند موجود در ساقه آن است که پس از برداشت، شیرابه ساقه جمع‌آوری و ذخیره شود و یا به اتانول تبدیل گردد (بریان و همکاران، ۱۹۸۱). از سوی دیگر چنانچه ساقه کامل گیاه برداشت شود تا یک هفته کاهش معنی‌داری در میزان قند ساقه

رخ نمی‌دهد اما اگر سورگوم شیرین با چاپر علوفه برداشت شود نیمی از قندهای قابل تخمیر خود را در طی یک هفته از دست خواهد داد که بیشترین میزان کاهش در ۲۴ ساعت نخست خواهد بود (ایلاند و همکاران، ۱۹۸۳).

زمان برداشت سورگوم شیرین باید منطبق بر حداکثر تجمع قند در ساقه باشد که این زمان به ژنوتیپ و شرایط محیطی وابسته است (هانتر و آندرسون، ۱۹۹۷). بررسی‌ها نشان داده است که مناسب‌ترین زمان برای برداشت، همزمان با مرحله خمیری نرم تا خمیری سخت در دانه‌ها است (بردفورد، ۲۰۰۸؛ لینگل، ۱۹۸۷). از جمله مشکلاتی که در تولید اقتصادی قند از سورگوم شیرین وجود دارد فرآیند گلدهی در گیاه است. با ورود گیاه به مرحله رشد زایشی بخش عمده‌ای از فتوسنتز جاری گیاه و نیز مواد ذخیره شده در طول رشد رویشی در ساقه، برای پر شدن دانه‌ها اختصاص خواهد یافت که در نتیجه ذخیره مواد فتوسنتزی در ساقه محدود شده و میزان قند قابل استخراج از ساقه‌ها کاهش خواهد یافت (آستین ۱۹۸۰).

یکی از راهکارهای اساسی برای رفع این مشکل حذف اندام زایشی به عنوان مخزنی قوی است که با ساقه برای تخصیص مواد فتوسنتزی رقابت می‌نماید. برای حذف مخزن (اندام زایشی) در سورگوم شیرین می‌توان پیش از خروج خوشه از غلاف برگ آخر اقدام به حذف مکانیکی اندام زایشی نمود که در سطح وسیع این عمل با سیستم‌های مکانیزه موجود در مزارع نیشکر قابل انجام است. علاوه بر آن امروزه ترکیبات شیمیایی کارآمدتر و کم‌هزینه‌تر نیز برای رفع این معضل معرفی شده‌اند. اتفون ترکیبی است که با یک واکنش شیمیایی به آهستگی در گیاهان اتیلن آزاد کرده و می‌تواند به عنوان بازدارنده گلدهی عمل نماید. در ایران هنوز مطالعه دقیقی روی تاثیر حذف مخزن به ویژه با استفاده از اتفون بر رشد و عملکرد در سورگوم شیرین صورت نگرفته است و مطالعات موجود تنها به بررسی تاثیرات اتفون به عنوان تنظیم‌کننده رشد در این گیاه پرداخته است. در این تحقیق تلاش شده است تا هر دو روش حذف مکانیکی و حذف شیمیایی (با استفاده از اتفون) مخزن مورد مقایسه قرار گرفته و همچنین تاثیر این روش‌ها بر صفات مختلف گیاه مورد ارزیابی قرار گیرد.

از جمله عوامل دیگر موثر بر افزایش عملکرد قند در سورگوم شیرین، تغذیه معدنی گیاه است. کاربرد عناصر معدنی با تاثیر بر فرآیندهای بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و آنزیمی سبب رشد بهینه گیاه و افزایش توان انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های هدف به منظور افزایش عملکرد می‌گردد. منیزیم یکی از عناصر غذایی اصلی است که نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه شامل فتوسنتز (به عنوان عنصر مرکزی در مولکول کلروفیل)، تولید قندها، انتقال هیدرات‌های کربن، تشکیل روغن‌ها، کنترل جذب سایر عناصر غذایی و افزایش تثبیت نیتروژن در گره‌های بقولات ایفا می‌نماید. همچنین این عنصر به عنوان یک فعال‌کننده آنزیمی در بسیاری از واکنش‌های گیاه عمل می‌نماید (آلیسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ مارشنر، ۱۹۹۵). با توجه به نقش اساسی منیزیم در تولید، تخصیص و استفاده از مواد فتوسنتزی به ویژه در گیاهان قندی، کمبود آن تولید ماده خشک و توزیع آن بین اندام‌های مختلف گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

براساس آنچه گفته شد و با توجه به مزایایی که برای سورگوم شیرین قابل تصور است، در پژوهش حاضر عوامل موثر بر عملکرد قند در ارقام مختلف این گیاه و نیز تاثیر حذف مخزن و تغذیه معدنی با منیزیم بر آنها مورد بررسی قرار گرفته است. شناخت دقیق تاثیر این عوامل بر رشد و عملکرد در سورگوم شیرین امکان استفاده بهینه از آنها را در زراعت این گیاه و توسعه تولید تجاری آن فراهم خواهد آورد. بنابراین اهداف زیر در تحقیق حاضر مورد مطالعه قرار گرفته است:

- ارزیابی تفاوت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم سورگوم شیرین
- بررسی تاثیر حذف مخزن به روش‌های مختلف بر رشد کمی و کیفی ارقام سورگوم شیرین
- ارزیابی تاثیر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف منیزیم بر عملکرد کمی و کیفی قند در سورگوم شیرین
- بررسی وجود اثر متقابل بین عوامل آزمایش از نظر تاثیر بر رشد ارقام سورگوم شیرین
- تعیین مناسب‌ترین روش حذف مخزن و غلظت منیزیم با هدف بهبود عملکرد قند در ارقام سورگوم شیرین

فصل دوم: بررسی منابع

۱-۲ ارقام سورگوم شیرین

سورگوم شیرین گیاهی دیپلوئید با ژنوم نسبتا کوچک است که امکان اصلاح کارآمد ارقام را فراهم می‌نماید. اصلاح و انتخاب در سورگوم شیرین با هدف افزایش عملکرد قند و تولید بذر صورت می‌گیرد.

در انتخاب یک رقم سورگوم شیرین برای کشت در هر منطقه عوامل متعددی باید مورد توجه قرار گیرد. محصول تولیدی یا عملکرد قند اغلب نخستین عاملی است که ملاک انتخاب قرار می گیرد، اما زمان رسیدگی فیزیولوژیک، استحکام ساقه و مقاومت به بیماری‌ها نیز عوامل مهمی در انتخاب رقم محسوب می‌گردند (درس و همکاران، ۲۰۱۸).

عملکرد قند در سورگوم شیرین از طریق وزن تر ساقه، وزن عصاره استخراج شده از ساقه، درجه خلوص، درصد ساکارز و قندهای احیا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (اسمیت و همکاران، ۱۹۸۷).

سلیمانی و همکاران (۱۳۸۹) با مطالعه تاثیر تراکم گیاهی بر عملکرد ساقه و ذخیره ساکارز در دو رقم سورگوم شیرین ریو و کلر نشان دادند بین دو رقم مورد بررسی از نظر میزان وزن تر ساقه، عملکرد عصاره ساقه و درصد بریکس تفاوت معنی دار وجود داشت.

درجه بریکس که برای کمی کردن میزان مواد جامد موجود در یک محلول به کار می‌رود، شاخص مناسب دیگری است که برای تعیین میزان قند در شیرابه‌های سورگوم شیرین به کار می‌رود. درجه بریکس با توجه به نوع رقم و منطقه کشت و بویژه مرحله برداشت می‌تواند تغییر نماید (ردی و همکاران، ۲۰۰۵).

از جمله صفات دیگری که در فرآیند شناسایی و تولید ارقام باید مورد توجه قرار گیرد وجود سیستم ریشه‌ای افشان و پرحجم، پوشش مومی بر روی ساقه‌ها و برگ‌ها به منظور کاهش تلفات آب، بالا بودن کارایی مصرف آب و تحمل تنش‌های مختلف محیطی مانند خشکی، شوری و مسمومیت آلومینیوم است (فرانکوئیس و همکاران، ۱۹۸۴).

سورگوم شیرین در دنیا به دو صورت ارقام خالص و واریته‌های هیبرید کشت می‌شود (هوس، ۱۹۸۵). هر دو این روش‌های کشت در ایران مدنظر قرار گرفته و به ایجاد ارقام و واریته های هیبرید منجر شده است.

مطالعات بر روی شناسایی و معرفی ارقام مختلف سورگوم شیرین در تمام دنیا در حال انجام است. کاواهیگاشی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی ۱۰۹ رقم مختلف سورگوم شیرین در ژاپن، نشان دادند بین بریکس شربت سورگوم و قند کل و غلظتهای ساکارز همبستگی معنی داری وجود دارد که به این ترتیب در فرآیند اصلاح می توان از این شاخص به عنوان ابزاری کارآمد برای انتخاب رقم مناسب استفاده نمود. المدرس و همکاران (۲۰۰۸) با مقایسه نه رقم و لاین مختلف سورگوم نشان دادند که میزان ساکارز و عملکرد دانه فاکتورهایی هستند که نشان دهنده چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی و تسهیم آن در بین مخازن مختلف می باشند. در ارقام مورد بررسی در این آزمایش، میزان ساکارز از ۱۲۵/۶ گرم در کیلوگرم وزن تر ساقه در رقم ریو تا ۲۸/۸ گرم در کیلوگرم در رقم تورنو متغیر بود. هانسیگی و همکاران (۲۰۱۰) ۱۲ و ۱۴ ژنوتیپ سورگوم شیرین را از نظر ویژگی‌های عملکرد، کیفیت شیرابه و تولید اتانول به ترتیب طی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ ژنوتیپ‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که در بین سال‌های آزمایش بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک از ژنوتیپ PAC52093 به میزان ۴۸ تن در هکتار، بیشترین قند کل از ژنوتیپ NSS 255 (۱۴/۶ درصد) به دست آمد و بیشترین قند احیا شونده در ژنوتیپ SSV 84 (۲/۷۳ درصد) مشاهده گردید.

با شروع تحقیقات سورگوم در ایران از سال ۱۳۶۵، لاین‌های خالصی در شرایط آب و هوایی کشور تولید گردید که در برنامه‌های مختلف اصلاح سورگوم از جمله ایجاد ارقام خالص مورد استفاده قرار گرفته اند (فومن اجیرلو، ۱۳۷۵). رقم خالص سورگوم KFS2 که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است حاصل تحقیقات فوق الذکر است. فومن (۱۳۸۴) با تحقیق بر روی لاین‌های امید بخش سورگوم شامل KFS1، KFS2 و KFS3 در تراکم‌های مختلف کاشت و با بررسی صفات اندازه‌گیری

شده بیان کرد که بین ارقام مورد بررسی تنوع ژنتیکی وجود دارد بویژه اینکه والدین این ارقام متفاوت هستند و در نتیجه وجود تنوع ژنتیکی در بین آنها قابل انتظار است.

برنامه اصلاحی KFS3 (پگاه) رقم دیگری که در تحقیق حاضر مورد مطالعه قرار گرفته است، از سال ۱۳۶۸ با انجام اولین تلاقی آن بین یک رقم داخلی و یک رقم خارجی شروع شد. والد مادری رقم خارجی Early orange و والد پدری رقم LFS56 از توده‌های بومی ایران بود که به روش انتخاب تک بوته خالص‌سازی شده بود. براساس نتایج این طرح‌ها رقم KFS3 نه تنها یک رقم سورگوم علوفه‌ای با کمیت و کیفیت مناسب است بلکه یک رقم سورگوم شیرین نیز به حساب می‌آید. بالا بودن میزان قند در ساقه‌های این رقم، سبب وقوع تخمیر مطلوب‌تر در سیلوها و افزایش کیفیت علوفه حاصل می‌شود. نمونه بذر ارقام سورگوم معرفی شده در سال ۲۰۰۴ به درخواست یک شرکت اروپایی که بر روی گیاهان دارای قند جهت تولید اتانول تحقیق می‌کند وارد مجارستان شد و در سال ۲۰۰۶ در تعدادی از کشورهای اتحادیه اروپا مورد بررسی قرار گرفت و قند بالای آنها مورد تایید قرار گرفت (فومن و همکاران، ۱۳۸۷).

کسرایی و همکاران (۱۳۸۰) با ارزیابی هفت رقم مختلف سورگوم نشان دادند که ارقام KFS1، KFS2 و KFS4 در مقایسه با سایر ارقام از بنیه بذری بالاتری برخوردار می باشند و درصد سبز بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین رقم KFS3 با تولید علوفه تر و خشک به ترتیب ۱۲۳ و ۲۹/۴۴ تن در هکتار بیشترین و رقم LFS59 (خالص‌سازی شده از توده‌های بومی) با ۷۱/۳۹ و ۱۹/۶۷ تن در هکتار کمترین عملکرد را دارا بودند.

خزایی (۱۳۹۰) با مقایسه ارقام امیدبخش سورگوم شامل KFS2، KFS3، KFS12، KFS17 و KFS18 در سطوح مختلف آبیاری نشان داد که ارقام از نظر عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر، تعداد برگ در ساقه، قطر ساقه و ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری نشان دادند. همچنین با بررسی شاخص‌های مختلف تحمل خشکی اظهار داشت که دو رقم KFS2 و KFS3 مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی هستند.

۲-۲ تغذیه معدنی

در ارقام سورگوم شیرین مانند سایر غلات، دو منبع هیدرات کربن در تأمین مواد فتوسنتزی به هنگام پر شدن دانه مشارکت دارند، یکی محصولات فتوسنتز جاری که مستقیما به دانـه انتقـال مـی‌یابنـد و دیگری مواد فتوسنتزی که به طور موقت در اندام‌های رویشی ذخیره شده تـا در ایـن زمـان بـه دانـه منتقل شوند (آستین۱۹۸۰). شرایط رشد از جوانه زنی تا گلدهی تعیـین کننـده میـزان ذخیـره مـواد غذایی در اندام‌های رویشی است. در شرایط مطلوب رشد گیاه، تولید مواد فتوسنتزی و ذخیـره‌سـازی آنها در حجم بالایی رخ می‌دهد در حالی که با وقوع تنش‌های محیطی میـزان تولیـد و ذخیـره‌سـازی تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر مـی‌نمایـد (دیویدسـون و چـاوالیر،۱۹۹۲). نـیکلاس و تـورنر (۱۹۹۳) گزارش کردند که سهم مواد ذخیره شده در زمان پیش از گلدهی در عملکرد دانه بیشتر تـابع عوامـل محیطی است تا ژنتیک گیاه. به عنوان مثال ماسونی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که با تغییر بافت خاک سهم مواد ذخیره‌ای منتقل شده به دانه بین ۱۶ تا ۲۹ درصد متغیر اسـت. بـه ایـن ترتیـب هـر عاملی که سبب تغییر شرایط رشد گیاه گردد می‌تواند بر میزان تجمع و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه‌ها به دانه تأثیرگذار باشد.

ارقام سورگوم شیرین خاصیت گرماپذیری و رطوبت دوستی فراوانی دارند که همراه شدن این شـرایط با مدیریت بهتر عناصر غذایی دستیابی به عملکرد بالاتر را امکان‌پذیر خواهـد نمـود. بنـابراین تـامین عناصر غذایی مورد نیاز تا رسیدن به حداکثر عصاره استحصالی از ساقه جهـت دسـتیابی بـه حـداکثر عملکرد قند از اهمیت خاصی برخوردار است.

منیزیم یکی از عناصر معدنی اصلی است که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشـیمیایی در گیاه دخالت دارد و به صورت مستقیم رشد و نمو را تحت تاثیر قـرار مـی‌دهـد (گرنـداس و فـوهرس، ۲۰۱۳). اصلی‌ترین نقش منیزیم در گیاه حضور آن در ساختار مولکول کلروفیـل در کمـپلکس جـذب نور در کلروپلاست و تولید مواد فتوسنتزی است (کاکماک و یازیکی، ۲۰۱۰). همچنین این عنصـر بـه

عنوان کوفاکتوری اساسی در بسیاری از فرآیندهای آنزیمی مرتبط با فسفوریلاسیون، دفسفوریلاسیون و هیدرولیز ترکیبات مختلف عمل می‌نماید (مارشنر و همکاران، ۱۹۹۶). با معرفی ارقامی با عملکرد بالا و کاربرد گسترده کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای افزایش محصول و نیز عدم بازگرداندن بقایا به خاک سبب شده است تا تخلیه منیزیم در خاک‌ها افزایش یابد. در بسیاری از خاک‌ها به ویژه با بافت سبک و نیز خاک‌های اسیدی با ضریب نفوذ و آبشویی بالا علائم کمبود منیزیم قابل مشاهده است. علاوه بر شرایط کمبود عناصر غذایی در خاک بالا بودن میزان پتاسیم خاک نیز می‌تواند با ایجاد شرایط آنتاگونیستی سبب کمبود منیزیم گردد (منگل و کرکبی، ۱۹۸۷).

منیزیم در خاک با یون‌های دیگری مانند کلسیم، پتاسیم، سدیم، آمونیوم، آهن و آلومینیم رقابت می‌کند که در این بین پتاسیم بیشترین رقابت را با منیزیم دارد. در سیستم‌های کشاورزی امروز مقادیر بالایی از کودهای پتاسیم و آمونیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد که سبب غیرقابل دسترس شدن این عنصر شده و در نتیجه اثرات رشدی آن را محدود می‌نمایند (ال-فولی و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی منیزیم به تنهایی یا در ترکیب با سایر ریزمغذی‌ها می‌تواند تاثیر معنی‌داری بر سطح برگ پرچم، میزان کلروفیل برگ و ماده خشک تولید شده در گیاهان داشته باشد (متوالی و همکاران، ۲۰۱۰). منیزیم می‌تواند عرض روزنه، طول و سرعت تنفس را افزایش دهد که در نهایت منجر به جذب بهتر عناصر توسط گیاه می‌شود (پوترا و همکاران،۲۰۱۲).

همچنین این ترکیب قادر است از طریق تاثیر بر سوخت و ساز ساکارز، تاثیر بر فعالیت بافت‌های مقصد و بارگیری در بافت آبکش سبب افزایش عملکرد قند در گیاهان قندی شود (هرمانس و همکاران، ۲۰۰۶؛ جین و همکاران، ۲۰۱۳). در واقع کمبود منیزیم بارگیری ساکارز در آوند آبکش را از طریق کاهش ترکیب Mg-ATP تحت تاثیر قرار می‌دهد و در نتیجه فعالیت H^+-ATPase را که نیروی محرک برای بارگیری فعال ساکارز است محدود می‌نماید (مارشنر و همکاران، ۱۹۹۶). تن و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند کاربرد منیزیم با توجه به میزان حساسیت ژنوتیپ‌های سورگوم به خاک‌های اسیدی سبب افزایش ماده خشک گیاه می‌گردد. غلظت بحرانی این عنصر در گیاه سورگوم با نمونه

برداری از برگ‌های پایین قبل از خوشه رفتن ۰/۲۵ درصد است (ملکوتی، ۱۳۸۰). جـزک و همکـاران (۲۰۱۵) افزایش میزان شاخص سبزینگی، سرعت فتوسنتز خالص و مـاده خشـک انـدام هـوایی را در نتیجه محلول‌پاشی سولفات منیزیم در ذرت گزارش دادند.

کمبود منیزیم بر رشد گیاه و تخصیص ماده خشک بین ریشه و اندام هوایی تاثیرگذار است (هرمـانس و همکاران، ۲۰۰۵). در شرایط کمبود این عنصر، رشد ریشه به شدت کاهش یافته و در نتیجه نسـبت وزن خشک اندام هوایی به ریشـه را تغییـر مـی‌دهـد. منیـزیم نقـش‌هـای فیزیولـوژیکی متنـوعی در سیستم‌های بیولوژیکی ایفا می‌نماید. در بین عناصر غذایی اساسی که مورد نیاز گیاهان است، منیـزیم نقش مهمی در بارگیری آوند آبکش و انتقال مواد فتوسنتزی به بافت‌های مخزن مانند ریشه‌هـا، نـوک ساقه‌ها و بـذرها دارد (کاکمـاک و همکـاران، ۱۹۹۴). همچنـین اثـرات مثبـت منیـزیم بـر فتوسـنتز، فعال‌سازی آنزیم‌ها و شکل‌گیری و استفاده از ATP اثبات شده است (هرمانس و همکاران، ۲۰۰۵).

دینگ و ژو (۲۰۱۱) در بررسی تاثیر کمبود منیزیم بر رشد برنج نشان دادنـد کـه کمبـود ایـن عنصـر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را افزایش داد. این محققین معتقدند افـزایش تخصـیص مـواد فتوسنتزی به صورت قندهای محلول به ریشه که در نهایت منجر به افزایش سـطح، طـول و میـانگین قطر ریشه می‌شود عامل تغییر نسبت وزن ریشه به اندام هوایی است.

منیزیم در متابولیسم مواد هیدروکربنی به ویژه در چرخه اسید سیتریک که در تنفس گیاه موثر است دخالت دارد. مصرف مناسب کودهای منیزیم دار در مزارع علوفه و سایر محصولاتی که با کمبود ایـن عنصر مواجه هستند، می تواند ضمن افزایش محصول، بر تغذیه و سلامتی انسان و دام نیز موثر باشـد (ملکوتی، ۱۹۹۹).

مطالعات نشان داده است که کاربرد سولفات منیزیم چه بـه روش خـاکی و چـه محلـول‌پاشـی سـبب افزایش غلظت نیتروژن، کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن و مس در بافت‌های اندام‌های هـوایی مـی‌شـود. بیشترین تاثیر با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات منیزیم به روش خاکی یا ۵ گرم در لیتـر در روش محلول‌پاشی بود (ال-زاناتی، ۲۰۱۲).

محلول‌پاشی عناصری مانند بر، منگنز، روی و منیزیم بر روی گیاه در شرایط خاکهای ایران، بـه علـت رفع سریع کمبود، آسان تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشـی از تجمـع ایـن عناصـر در خـاک و جلوگیری از تثبیت، مناسب تر است (ملکوتی و تهرانی، ۲۰۰۵). فراهم بودن مقدار کافی منیزیم سبب بهبود راندمان مصرف نیتروژن و تجمع نیتروژن در دانه می‌شود. همچنـین رانـدمان جـذب نیتـروژن توسط گیاهان در حضور منیزیم افزایش می‌یابد (کاکماک ، ۲۰۱۳) .

۳-۲ حذف مخزن

درگیاهان C_3 هیدرات‌های کربنی مانند فروکتان‌ها در واکوئل ذخیره می‌شود در حالی کـه در گیاهـان C_4 مانند سورگوم و ذرت مقادیر بالایی از هیدرات‌های کربن غیر ساختاری ماننـد گلـوکز، فروکتـوز و بویژه ساکارز در بافت‌های رویشی تجمع می‌یابند. تجمع ساکارز در ساقه گیاه سـورگوم شـیرین بـا دو هدف صورت می‌پذیرد: بخشی از آن به عنوان ذخیره‌ای موقت و قابل دسترس برای مرحلـه پـر شـدن دانه و بخش دیگر به عنوان ذخیره‌ای برگشت‌ناپذیر. بنابراین ساقه سورگوم شیرین در کنار دانه‌های در حال پرشدن به عنوان مخزنی مجزا عمل می‌نماید.

تفاوت ظرفیت بافت‌های مخزن در رقابت برای جذب و استفاده از مواد فتوسنتزی کـه قـدرت مخـزن نامیده می‌شود می‌تواند بر کنترل انتقال از فلوئم و تخصیص هیدرات‌های کربن موثر باشد (بیه‌میدین و همکاران، ۲۰۱۳).

پس از ورود ساکارز از بافت‌های مبدا به فلوئم، این ترکیب با جریان شـیرابه‌ای در مسـیرهای طـولانی جابه‌جا می‌شود. با توجه به نوع گیاه، بافت و مرحله نموی، ساکارز می‌تواند به صورت سیمپلاسـتی یـا آپوپلاستی از فلوئم خارج و وارد مخزن گردد (لالوند و همکاران، ۲۰۰۳). در نیشکر تجمـع سـاکارز در میانگره های سـاقه از طریـق مسـیر تخلیـه سیمپلاسـتی اسـت کـه پـس از تخلیـه سـاکارز از طریـق پلاسمودسماتا به سلول‌های ذخیره‌ای پارانشیم سـاقه مـی‌رسـد (را و همکـاران، ۲۰۰۵). اگـر مسـیر آپوپلاستی مورد استفاده قرار گیرد، ساکارز باید از غشـاء پلاسـمایی لولـه آونـدی خـارج شـده و وارد

آپوپلاست شود تا پس از آن توسط سلول مجاور جذب گردد که این مدل در سورگوم مشاهده می‌شود (مانس و مک بی، ۱۹۸۶).

برخی محققان معتقد بودند که تجمع ساکارز در ساقه سورگوم شیرین در ابتدای فاز زایشی آغاز می‌گردد و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با تجمع آن با غلظت ساکارز همبستگی ندارد (لینگل، a ۱۹۸۷). مطالعات بعدی نشان داد که تجمع ساکارز می تواند در برخی ارقام سورگوم شیرین پیش از شروع فاز زایشی آغاز شود و باز هم در این آزمایشات همبستگی بین آنزیم‌های دخیل در متابولیسم ساکارز و غلظت آن وجود نداشت (هافمن-توما و همکاران، ۱۹۹۶). بر اساس این اطلاعات، محققین هر دو پژوهش پیشنهاد کردند که انتقال ساکارز به داخل سلول پارانشیم از همان الگوی تجمع ساکارز در ساقه پیروی می‌نماید. همچنین ساکارز به صورت مستقیم و بدون تجزیه اولیه به قندهای هگزوز و سنتز مجدد به ساقه سورگوم شیرین وارد می‌شود (لینگل، ۱۹۸۷b؛ تارپلی و ویتور، ۲۰۰۷).

فورتمیر و شوبرت (۱۹۹۵) با مقایسه لاین‌های بارور و عقیم سورگوم شیرین نشان دادند که به دلیل وجود مخزن اضافی دانه در لاین‌های بارور، عملکرد هیدرات‌های کربن محلول در اندام‌های رویشی آنها ۴۳ درصد کمتر از لاین‌های عقیم بود. بنابراین عدم ظهور خوشه در سورگوم شیرین می‌تواند عاملی در افزایش میزان تجمع قندهای محلول در پارانشیم ساقه باشد.

در واقع در گیاهانی مانند نیشکر و سورگوم شیرین با رسیدن گیاه به فاز زایشی و گلدهی، مخزنی جدید در گیاه شکل می‌گیرد که با ساقه برای انتقال و ذخیره مواد فتوسنتزی به رقابت می‌پردازد و چنانچه بتوان به روشی از وقع گلدهی جلوگیری نمود امکان افزایش عملکرد ساقه و قند فراهم می‌شود.

نیکل (۱۹۸۴) روش‌های مختلفی را برای کنترل گلدهی در نیشکر معرفی نمود که از جمله آنها می‌توان به ایجاد وقفه نوری در طول شب برای ارقام حساس به فتوپریود، کاهش دمای محیط، حذف برگ‌ها، کنترل آبیاری و استفاده از ترکیبات شیمیایی اشاره نمود. بسیاری از این روش‌ها در سطح

وسیع و در تولید تجاری نیشکر قابل اجرا نیستند اما ترکیبات شیمیایی به خوبی می‌تواند برای کنترل گلدهی به کار گرفته شود.

عوامل مختلفی در انتخاب نوع ترکیب شیمیایی مورد استفاده برای کنترل گلدهی تاثیرگذار هستند که از جمله آنها می‌توان به وضعیت تغذیه‌ای گیاه، سن رشدی گیاه و شرایط آن، شرایط اقلیمی، اثرات سمیت ماده شیمیایی برای گیاه و محیط، هزینه اثربخشی ترکیب شیمیایی نسبت به افزایش عملکرد و در نهایت تاثیرات آن بر فرآوری قند از شیرابه اشاره نمود (نیکل، ۱۹۸۴). اولین ترکیب مورد استفاده تجاری مالیک هیدرازید بود که تا حدود ۶۰ درصد گلدهی را کنترل می‌نمود. مونورون و دیورون نیز ترکیبات دیگری هستند که برای کنترل شیمیایی گلدهی قابل استفاده هستند. دیکوات ترکیبی بود که در کشورهای مختلف از سال ۱۹۶۵ تا ۱۹۷۵ با اثرات مثبت بر حذف گلدهی در نیشکر مورد استفاده قرار گرفت اما دیکوات به دلیل ایجاد علائم سوختگی بر روی اندام‌های هوایی چندان مطلوب نبوده و منجر به تاثیر نامطلوب بر میزان تولید قند در گیاه شد (هاردی و همکاران، ۱۹۸۶). از جمله اثرات اتیلن بر روی گیاهان می‌توان به ممانعت از گلدهی، جلوگیری از رشد انتهایی ساقه، شکستن خواب بذر، افزایش ریشه‌دهی، پیری برگ و واکنش به تنش‌های محیطی اشاره نمود (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

اتفون با نام علمی ۲-کلرواتیل فسفونیک اسید (2-Chloroethylphosphonic acid) در دهه ۱۹۶۰ کشف شد که به سهولت در آب حل شده و بر روی گیاهان محلول‌پاشی می‌شود. این ماده با یک واکنش شیمیایی به آهستگی اتیلن آزاد می‌نماید. واکنش گیاهان به اتیلن به گونه گیاهی، رقم، غلظت و زمان کاربرد آن بستگی دارد (فاستر و همکاران،۱۹۹۱).

ممانعت از گلدهی در گیاهان با اتفون نخستین بار در ۱۹۷۶ مشاهده گردید (روسترون، ۱۹۷۷). زمانی که اتفون در زمان مناسب قبل از آغاز گلدهی به کار برده شود، علاوه بر توقف فرآیند تشکیل گل، سبب طولانی شدن دوره رشد رویشی و تولید زیست توده بیشتر می‌شود (المدرس و همکاران،۲۰۱۱). هاردی و همکاران (۱۹۸۶) با بررسی تاثیر اتفون در دو رقم نیشکر نشان دادند که

این ترکیب با توقف فرآیند گلدهی می‌تواند عملکـرد گیـاه را بـیش از ۳۰ درصـد افـزایش دهـد. هـام (۲۰۰۱) نیز نشان داد کاربرد اتفون با غلظت ۴۸٪ علاوه برآنکه می‌تواند عملکرد قند و میـزان تجمـع ساکارز به عنوان قند اصلی را در ارقام مختلف نیشکر افزایش دهد سبب کاهش شدید میـزان گلـدهی در این گیاه می‌گردد که میزان تاثیر آن با توجه به غلظت و زمان کاربرد متفاوت است.

بررسی‌ها نشان داده‌اند که محلول‌پاشی اتفون می‌تواند سبب تاخیر در گرده افشـانی سـورگوم دانـه‌ای (اوکربی و همکاران،۲۰۰۱) و یا کاهش وزن خوشـه تـا حـدود ۶۱ درصـد شـود (ماسـدو و همکـاران، ۲۰۱۷).

به‌علاوه محققان بیان داشته‌اند که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در غـلات، مـی‌توانـد شـاخص سطح برگ و میزان تجمع ماده خشک را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد (امام و موید، ۲۰۰۰) یوسف زاده و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی چهار غلظت صفر، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام اتفـون بـر روی رشد و عملکرد رقم سوفرا سورگوم شیرین نشان دادند با افزایش میـزان غلظـت اتفـون عملکـرد بیولوژیک و عملکرد خشک ساقه به طور معنی‌داری افزایش یافت. این محققان با هدف کنترل گلدهی از اتفون استفاده نکرده و پس از ظهور غلاف‌های گل‌دهنده در انتهای سـاقه بـه محلـول‌پاشـی اقـدام کردند که این کار تنها منجر به کاهش عملکرد دانه گردید.

راو و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف اتفون شامل ۱۰۰، ۲۵۰ و ۴۰۰ میلـی‌گـرم در لیتر بر پنج رقم نیشکر پرداختند و نشان دادند که با افزایش غلظت اتفـون عملکـرد قنـد و میـزان تجمع ساکارز به طور معنی‌داری افزایش یافت.

استفاده از ترکیبات شیمیایی در محصولاتی که در چرخه تغذیه انسان مورد استفاده قرار می‌گیرند به دلیل داشتن بقایا در مواد غذایی باید مورد توجه قرار گیرند. از آنجایی که ترکیبات حاصل از هیدرولیز اتفون به صورت بخار و یا محلول در آب هستند بنابراین از نظر تئوری فاقد بقایا بـه شـمار مـی‌رونـد. هرچند بررسی‌ها نشان داده است که در غلظت‌های بالاتر از ۸۰۰ پی‌پی‌ام به میزان بسـیار نـاچیزی از

بقایا در برخی محصولات گزارش شده است که عمدتا با استانداردهای مشخص شده برای میزان بقایا تطابق کامل دارد (سایر، ۱۹۷۴).

علاوه بر حذف شیمیایی، حذف مکانیکی اندام زایشی نیز در سطح وسیع و به صورت مکانیزه قابل اجرا است. برودهد (۱۹۷۲) با بررسی تاثیر حذف انتهای ساقه در مراحل مختلف رشد سورگوم شیرین نشان داد که حذف اندام زایشی سبب افزایش درجه بریکس شیرابه و میزان ساکارز و نشاسته موجود در آن می‌گردد. هرچند حذف مکانیکی مخزن عملکرد ساقه و عملکرد قند را تحت تاثیر قرار نداد. از سوی دیگر هر چه حذف ساقه در مراحل ابتدایی تشکیل گل باشد تاثیر بیشتری بر میزان تجمع ساکارز در شیرابه ساقه دارد.

راجاندران و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی ده ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان دادند که حذف خوشه در مرحله گلدهی وزن خشک ساقه، میزان شیرابه استخراج شده و عملکرد قند را نسبت به گیاهان شاهد افزایش دادند.

۲-۴ آنزیم‌های هیدرولیزکننده ساکارز

در طی فرآیند انتقال و تجمع ساکارز در بافت‌های ذخیره‌ای، فعالیت آنزیم‌های مختلف درگیر در متابولیسم قند مورد نیاز است تا جریان یک سویه ساکارز (از فلوئم به سلولهای پارنشیمی در مخزن) برقرار و غلظت اسمزی سلول حفظ شود.

در گیاهان، دو مسیر آنزیمی برای تجزیه ساکارز شناخته شده است. اول ساکارز سینتاز و دوم اینورتاز. اگرچه هر دو آنزیم یک سوبسترا دارند ولی محصول واکنش آنها متفاوت است (وینتر و هابر، ۲۰۰۰). در پژوهش حاضر نخستین بار است که فعالیت چهار نوع آنزیم مختلف دخیل در فرآیند هیدرولیز ساکارز در ارقام KFS2 و KFS3 مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌گیرند.

۱-۴-۲ ساکارز سینتاز

ساکارز سینتاز آنزیمی است که در سنتز ساکارز در بافت‌های مبدا مانند برگ‌ها به شدت فعالیت می‌کند و از یوریدین دی فسفات (UDP) -گلوکز و فروکتوز به عنوان پیش ماده استفاده می‌نماید (هافمن-توما، ۱۹۹۶). همین آنزیم در بافت‌های مخزن در مسیر عکس عمل کرده و ساکارز را به UDP-G و فروکتوز تبدیل می‌کند. بسیاری از گیاهان حداقل دو نوع ایزوفرم ساکارز سینتاز را در خود دارند که از نظر توالی‌های اسید آمینه و ویژگی‌های بیوشیمیایی تقریبا یکسان هستند. با این حال، تنظیم ژنی آنها کاملا متفاوت است و به ویژگی‌های نموی و الگوی تظاهر خاص هر اندام بستگی دارد. پلی‌پپتیدهای ساکارز سینتاز در داخل سیتوپلاسم قرار دارند و با توجه به ویژگی‌های فسفوریلاسیون آنها محلول هستند و یا محکم به کمپلکس سلولز سینتاز در غشاء پلاسمایی یا آکتین اسکلتی متصل هستند.

ساکارز سینتاز نقش مهمی در ورود ساکارز به متابولیسم سلولی در سلول‌های غیرفتوسنتزی ایفا می‌کند و تا حدودی در تعیین قدرت مخزن نقش دارد (زرنر و همکاران، ۱۹۹۵). ساکارز سینتاز در بافت‌های آوندی، تامین‌کننده انرژی برای بارگیری فلوئم از طریق تامین سوبسترای مورد نیاز برای تنفس است (هانگی و فلمینگ،۲۰۰۱). ایزوفرم‌های مختلفی از این آنزیم وجود دارند که عمدتا در سیتوزول یافت می شوند. هرچند ارتباط بین ساکارز سینتاز و پلاسمالما (آمور و همکاران، ۱۹۹۵) و تونوپلاست (اچوریا و گونزالس، ۲۰۰۰) نیز گزارش شده است. برای رشد معمول اندام‌های مختلف گیاه مانند غده های سیب زمینی (زرنر و همکاران، ۱۹۹۵)، میوه‌های گوجه فرنگی (داوست و همکاران، ۱۹۹۹)، الیاف پنبه (روان و همکاران، ۲۰۰۳) و دانه های ذرت (چوری و همکاران، ۱۹۹۸) ایزوفرم‌های مجزای ساکارز سینتاز مورد نیاز است.

در شرایط کمبود اکسیژن، ساکارز سینتاز در مقابل اینورتازها از اهمیت بیشتری برخوردار است (کوچ،۲۰۰۴) چرا که برای ورود محصولات تجزیه شده به گلیکولیز پس از تجزیه ساکارز به وسیله این آنزیم ATPکمتری نیاز است. در شرایط کمبود اکسیژن که به سرعت مانع فعالیت اینورتازها

می‌شود، ساکارز سینتاز همچنان قادر به حمایت ساخت سلولز و کالوس در شرایط کمبود اکسیژن است (سوبایه و ساچس، ۲۰۰۳) و می‌تواند سوبسترای مورد نیاز برای گلیکولیز را در شرایط بی‌هوازی یا تنش های اسمزی فراهم نماید.

۲-۴-۲ اینورتازها

اینورتازها ساکارز را از طریق تجزیه پیوند ۱آلفا-۲ بتا- گلیکوزید به صورت برگشت‌ناپذیر به دو قند گلوکز و فروکتوز می شکنند. اینورتازها نقش مهمی در متابولیسم کربن و سیگنال‌دهی قند ایفا می‌کنند. ایزوفرم‌های مختلفی از اینورتاز وجود دارد که در مراحل مختلف نموی فعالیت می‌کنند. این ایزوفرم‌ها در قسمت‌های مختلف داخل سلول از جمله سیتوزول، واکوئل و دیواره سلولی قرار دارند که براساس pH مطلوب برای فعالیت، آنها را به اینورتازهای خنثی- قلیایی و اسیدی طبقه‌بندی می‌کنند. اینورتازهای واکوئلی و دیواره سلولی از انواع اسید اینورتازها هستند که متعلق به خانواده یکسانی از گلیکوزید هیدرولازها (GH) هستند (GH32) ؛ در حالی که اینورتازهای خنثی- قلیایی با توجه به توالی اولیه اسیدهای آمینه شباهتی به انواع اسیدی ندارند و در خانواده دیگری از گلیکوزید هیدرولازها قرار می‌گیرند (GH100) (استورم و تانگ، ۱۹۹۹؛ لامنس و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۴-۲-۱ اینورتازهای قلیایی - خنثی

pH مطلوب این نوع آنزیم‌ها به ترتیب نزدیک به ۶/۵ و ۸ است و ساکارز تنها سوبسترای آنها به شمار می‌رود. مطالعات بر روی نقش فیزیولوژیکی این گروه از اینورتازها نشان می‌دهد که فعالیت آنها در سیتوزول برای رشد و نمو طبیعی گیاه حیاتی است (بارات و همکاران، ۲۰۰۹؛ جیا و همکاران،۲۰۰۸؛ ولهام و همکاران، ۲۰۰۹). تاپیش از این تصور می‌شد که اینورتازهای قلیایی- خنثی منحصرا در سیتوزول قرار دارند اما اخیرا این آنزیم‌ها در کلروپلاست‌ها و میتوکندری نیز شناسایی شده‌اند (موراياما و هاندا، ۲۰۰۷).

۲-۲-۴-۲ اینورتازهای اسیدی

همانگونه که از نام این آنزیم‌ها مشخص است pH مطلوب برای این گـروه ۳/۵ و ۵/۵ اسـت. موقعیـت این آنزیم‌ها عمدتا دیواره سلول و واکوئل است. اگر چه اسید اینورتازها بیشتر هیدرولیز ساکارز را انجام می‌دهند با این حال قادرند پیش ماده‌های دیگری که ساختار اصلی آنها حاوی ساکارز است نیز تجزیه کنند (ورهایست و همکاران، ۲۰۰۷). در بافت‌های در حال توسعه تجزیـه ذخیـره سـاکارز در واکوئـل اصلی‌ترین منبع تامین قندهای شش کربنه در داخل سلول است (رولاند و همکاران، ۲۰۰۶). در طـی این فرآیند، ترکیبات فعال اسمزی به داخل واکوئل منتقل می‌شوند، که در آن فعالیت اینورتاز واکوئلی منجر به افزایش فشار اسمزی مورد نیاز برای توسعه سلول ها می‌گردد (کوچ، ۲۰۰۴).

اینورتازهای دیواره سلولی مسئول تجزیه ساکارز در آپوپلاست هستند. فعالیت این آنزیم‌ها عامل اصلی تعیین کننده قدرت مخزن است که از طریق فعال کردن بارگیری قند و حفظ شیب ساکارز به داخـل بافت‌های مخزن عمل می‌کند. قندهای شش کربنه تولید شده در آپوپلاست می‌تواند توسط ناقلین این قندها که عموما با اینورتازهای دیواره سلولی هم‌زمان بیان مـی شـوند وارد سـلولهای مخـزن شـود. از سوی دیگر، این آنزیم‌ها در بافتهای مخزن که ارتباطات پلاسمودسماتا در آنهـا از بـین مـی‌رود ماننـد بذور در حال نمو یا گرده نقش اساسی دارند (کـوچ، ۲۰۰۴؛ وسـچک و همکـاران، ۲۰۰۳). همچنـین فعالیت اینورتاز دیواره سلولی در گیاه مادر در طی نمو اولیه بذر، رشد جنین را بـا اسـتفاده از تقسـیم سلولی افزایش می‌دهد. در مرحله انتقال بعدی، فعالیت اینورتاز دیواره سلولی کاهش می‌یابد و جنـین از رشد میتوزی وارد فاز تمایز و رشد از طریق توسعه سلولی می‌شود. این کـاهش فعالیـت آنزیمـی بـا افزایش فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز همراه است (رولاند و همکاران، ۲۰۰۶). بر ایـن اسـاس مشـخص می‌شود که به طور معمول در مرحله نمو فعالیت اینورتاز بیشتر است که با فرآیند رشد فعال در ارتباط است در حالی که فعالیت ساکارز سینتاز با فرآیندهای ذخیره و تمایز مرتبط است.

۳-۲-۴-۲ تنظیم فعالیت اینورتازها

سازوکارهای مختلفی در داخل گیاه وجود دارند که فعالیت‌های اینورتازها را کنترل می‌نمایند. از جمله مواردی که در تنظیمات رونویسی اینورتازها نقش مهمی ایفا می‌کند پاسخ به تغییرات محیطی است (کوچ، ۲۰۰۴). انواع مختلفی از اینورتازهای دیواره سلولی در پاسخ به تنش‌هایی مانند گرسنگی(کانتنتو و همکاران، ۲۰۰۴)، پیری (بالیبرا لارا و همکاران، ۲۰۰۴)، ایجاد زخم (ایفینگر، ۲۰۰۶) و مقابله با پاتوژن‌ها (اسمان و همکاران، ۲۰۰۸) فعال می‌شوند. همچنین بیان ژن‌های مرتبط با اینورتاز واکوئلی با تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، کمبود اکسیژن و سرما تنظیم می‌شوند (رویتسچ و گونزالز، ۲۰۰۴). تظاهر اینورتاز می‌تواند توسط برخی هورمون‌های گیاهی نیز تحت تاثیر قرار گیرد. مهم‌ترین مثال در این زمینه، القاء تولید اینورتاز دیواره سلولی توسط سیتوکینین است که به تاخیر افتادن پیری در توتون ترانس ژنیک با تولید سیتوکینن با افزایش فعالیت اینورتازهای دیواره سلولی همبستگی نشان داده است (بالیبرا لارا و همکاران، ۲۰۰۴).

۳-۴-۲ ساکارز فسفات سینتاز

ساکارز فسفات سینتاز در فرآیند سنتز ساکارز فسفات عمل می‌کند که در مرحله بعد در بافت‌های منبع به وسیله ساکارز فسفات فسفاتاز به ساکارز تبدیل شده و سپس در فلوئم بارگیری می‌شود. در بافت‌های مخزن این آنزیم در فرآیند سنتز مجدد ساکارز از هگزوزها که توسط اینورتاز تولید شده‌اند نقش دارد.

ساکارز فسفات سینتاز و اینورتازهای واکوئل (اسید اینورتاز) نقش مهمی در تنظیم جریان‌های ساکارز در بافت‌های مخزن دارند و مطالعات نشان داده است که بین فعالیت آنها و میزان تجمع ساکارز در ساقه نیشکر همبستگی وجود دارد (زو و همکاران، ۱۹۹۷).

ساکارز فسفات سینتاز دارای ۵ ایزوزفرم است که ۴ مورد آن در ساقه های گندم بیان می‌شوند و در انتقال ساکارز از ساقه به سنبله در حال پر شدن نقش دارند. در کنار نقش آنزیم‌های دخیل در

متابولیسم ساکارز که جریان این ترکیب در گیاه را تنظیم می‌نمایند، ناقلین ساکارز در غشاءهای واکوئل و پلاسما نیز در توزیع آن نقش دارند (سائور، ۲۰۰۷).

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مشخصات محل اجرای آزمایش

این پژوهش در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ۵۴ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریا طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اجرا گردید.

براساس آمار بلندمدت هواشناسی، در این منطقه دوره خشک از اواسط اردیبهشت ماه شروع و تا نیمه آبان ماه ادامه دارد. بقیه ماه‌های سال جزء دوره مرطوب محسوب می‌گردد. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبروژه، خشک و سرد است. اطلاعات آب و هوایی ماهیانه در طی فصل رشد در منطقه مورد مطالعه و در طول دو سال زراعی اجرای آزمایش در جدول ۳-۱ آورده شده است.

جدول ۱-۳- اطلاعات آب و هوایی ماهیانه شاهرود طی ماه‌های اجرای آزمایش

	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین
			۱۳۹۳		
میانگین دما (°C)	۲۴/۲	۲۸/۶	۲۸/۵	۲۶/۰	۲۶/۸
بارندگی(mm)	۱۷/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۴/۴
			۱۳۹۴		
میانگین دما (°C)	۲۶/۸	۲۸/۸	۲۶/۹	۲۲/۴	۲۶/۲
بارندگی(mm)	۰/۱	۹/۳	۰/۵	۱۷/۷	۶/۹

۳-۲ خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک

به منظور تعیین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه، نمونه مرکبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک جمع‌آوری شد. در آزمایشگاه، نوع بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری مشخص گردید. برای اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی خاک، از روش عصاره‌گیری گل اشباع برای تعیین pH وEC، از روش فلیم‌فوتومتری و اولسن به ترتیب برای اندازه‌گیری پتاسیم و فسفر قابل جذب گیاه، روش کجلدال برای میزان نیتروژن کل و روش کمپلکس‌متری برای تعیین میزان منیزیم و کلسیم خاک استفاده شد. در جدول ۳-۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در طی دو سال نشان داده شده است.

جدول ۲-۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

سال	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته خاک (pH)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	نیتروژن کل (%)	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	وزن مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	بافت خاک	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)
۱۳۹۳	۱/۴	۷/۹	۱۶	۱۵۰	۰/۰۵	۲۰/۷	۱/۴۶	لوم	۳۲۵	۷۸
۱۳۹۴	۱/۳	۷/۸	۱۲	۱۵۰	۰/۰۵	۱۹/۷	۱/۵۹	لوم	۳۳۶	۸۶/۴

۳-۳ طرح آزمایش

در این پژوهش اثرات سه عامل آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. سطوح هر یک از عوامل مورد مطالعه در آزمایش عبارتند از:

الف- دو رقم سورگوم شیرین: KFS2، KFS3

ب- حذف مخزن (اندام زایشی) : عدم حذف مخزن، حذف مکانیکی و حذف شیمیایی با اتفون

ج- محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف منیزیم : صفر، ۴ میلی‌مولار و ۸ میلی‌مولار

۳-۴ اعمال تیمارهای آزمایش

دو رقم مورد بررسی در آزمایش شامل KFS2 و KFS3 ، جزء ژنوتیپ‌های برتر و از منابع ژنتیکی بخش ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر هستند که فرآیند اصلاح آن در بخش بررسی منابع پیش از این آمده است. این دو رقم با دوره رشد ۱۲۰ روز مناسب کشت در مناطق گرم و خشک به‌شمار می‌روند.

تیمارهای حذف مخزن با توجه به رسیدن گیاه به مرحله رشدی مورد نظر در سال‌های مختلف آزمایش اعمال شد. برای حذف مکانیکی مخزن، در مرحله پنجم رشد گیاه (S_5) و پیش از خروج خوشه از غلاف (حدود ۹۰ روز پس از کاشت) انتهای ساقه قطع گردید. در حذف شیمیایی، از

محلول‌پاشی اتفون خالص با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر پیش از آغاز تمـایز نقطـه رشـدی گیـاه در مرحله سه رشد (S_3) (حدود ۵۰ روز پس از کاشت) استفاده شد.

در سطح عدم حذف مخزن هیچ گونه تیمار فیزیکی و شیمیایی اعمال نگردید.

سطوح مختلف منیزیم از منبع سولفات منیزیم ($MgSO_4.7H_2O$) پس از محاسبه میزان منیزیم مورد نیاز به صورت محلول‌پاشی و در دو مرحله با فاصله زمانی ۱۰ روز طی فاز رشد سریع گیاه (مرحله سوم رشدی سورگوم شیرین) انجام شد. در هر مرحله کل غلظت منیزیم مورد نیاز بـرای اعمـال تیمارهـای آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. برای محلول‌پاشی اتفون و منیزیم از دستگاه سمپاش پشتی نازل‌دار به گونه‌ای استفاده شد که اندام‌های هوایی گیاه کاملا خیس گردید. در زمان محلول‌پاشی، بـه منظـور جلوگیری از پاشش محلول به کرت‌های مجاور، هر کرت توسط دیوار پلاستیکی احاطه شد. به منظـور تصحیح اثر رطوبت ناشی از محلول‌پاشی بر روی بوته‌ها، در تیمار صـفر منیـزیم محلـول‌پاشـی بـا آب خالص صورت گرفت.

۳-۵ عملیات زراعی

روش آبیاری در این پژوهش، آبیاری نواری با استفاده از لوله‌های تیپ با سوراخ‌های ۳۰ سانتی‌متری و آبدهی دو لیتر بر ساعت در هر متر طول بود. برای هر کرت آزمایشی چهار خط کاشت و دو خط لولـه تیپ به طول شش متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی هر ردیف کاشت ده سانتی‌متـر بـود و در دو طرف هر خط لوله تیپ، کاشت محصول به فاصله ده سانتی‌متر از لوله و ۳۰ سانتی‌متر لوله بعـدی انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت بذرها انجام و آبیـاری بعـدی تمـام کـرت‌هـا تـا زمـان برداشت به صورت پنج روز یکبار صورت گرفت. برای محاسبه میـزان آب مـورد اسـتفاده در کـرت‌هـا کنتورهایی در مسیر سیستم آبیاری نصب گردید. به منظور جلوگیری از هر گونه اختلاط، بین هـر دو کرت مجاور یک خط به صورت نکاشت قرار داده شد.

کشت در اواخر اردیبهشت ماه و با توجه به مساعد شدن شرایط جوی و دمای خاک به روش دستی انجام گرفت. به دلیل رعایت اصول تناوب زراعی، عملیات کاشت در سال دوم در همان قطعه سال اول انجام نشد. 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. مبارزه با علف های هرز در دو مرحله رشدی سه و پنج برگی به وسیله وجین دستی انجام گرفت و پس از آن با توجه به ایجاد پوشش کافی در زمین علف‌های هرز به خوبی کنترل شدند. در طول دوره رشد گیاه، هیچ گونه بیماری مشاهده نشد ولی مهم‌ترین آفتی که مزرعه سورگوم را مورد حمله قرار داد، شته بود که برای جلوگیری از خسارت آن از سمپاشی دیازینون با غلظت ۱/۵ در هزار در زمان شدت آلودگی استفاده شد.

۳-۶ برداشت

برداشت نهایی در زمان رسیدن دانه در خوشه‌های کرت‌های شاهد (عدم حذف مخزن) به مرحله خمیری نرم تا خمیری سخت (S_7-S_8) که مطابق با حداکثر تجمع قند در ساقه سورگوم شیرین است انجام شد (سوبرامانیان، ۲۰۱۳). برای رعایت اثر حاشیه‌ای در هر کرت، دو ردیف کناری و ۵۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر کرت حذف شد.

۳-۷ صفات مورد بررسی

۳-۷-۱ صفات زراعی

برای تعیین عملکرد علوفه تر، بوته‌ها از سطحی معادل یک مترمربع برداشت شده و پس از حذف خوشه‌های موجود در بوته‌ها در محل مزرعه توزین شدند. سپس برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک بوته‌ها به اجزای آن شامل ساقه (حاوی غلاف برگ) و برگ‌ها تقسیم و در آون در دمای ۷۰ درجه

سانتی‌گراد تا زمان ثابت شدن وزن خشک نگهداری شدند. وزن خشک اجزا براساس گرم در متر مربع تعیین گردید و مجموع وزن‌های خشک به جز خوشه به عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شد. همچنین برای تعیین صفات رویشی پنج بوته از هر کرت آزمایشی برداشت و میانگین صفات اندازه‌گیری شده در آنها ثبت شد. برای تعیین ارتفاع بوته فاصله از سطح زمین تا محل آخرین برگ توسعه‌یافته در ساقه و برای قطر ساقه بخش میانی اولین میان‌گره ساقه اندازه‌گیری شد.

۳-۷-۱-۱ کارایی مصرف آب

برای محاسبه کارایی مصرف آب از رابطه زیر استفاده شد:

$$WUE = \frac{Y}{I}$$

در این رابطه WUE کارایی مصرف آب براساس آب آبیاری (I)، Y عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و I میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. در این پژوهش کارایی مصرف آب به ازای عملکرد بیولوژیک براساس ماده خشک تولید شده به جز خوشه و نیز به ازای عملکرد قند محاسبه شد.

۳-۷-۲ صفات فیزیولوژیک

۳-۷-۲-۱ شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ از نسبت کل سطح برگ به سطح زمین پوشش داده شده بدست می‌آید. به همین منظور با تعیین سطح برگ بوته‌ها در مرحله خمیری نرم (S_7) و با توجه به مساحت نمونه‌برداری LAI محاسبه گردید. برای محاسبه سطح برگ از حاصل‌ضرب طول برگ در عرض آن در ضریب ۰/۷۴۷ استفاده شد (استیکلر و همکاران، ۱۹۶۱).

۳-۷-۲-۲ شاخص سطح برگ ویژه (SLA)

برای محاسبه شاخص سطح برگ ویژه در مرحله اندازه‌گیری سطح برگ، از نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ استفاده گردید (گاردنر و همکاران، ۱۹۹۰).

۳-۲-۷-۳ نسبت سطح برگ (LAR)

نسبت سطح برگ که نشان‌دهنده سطح فتوسنتزکننده به میزان ماده خشک تولیدی است، از تقسیم سطح برگ بوته بر میزان وزن خشک کل بوته حاصل و به صورت سانتی‌متر مربع بر گرم گزارش شد.

۳-۲-۷-۴ شاخص سطح اسمیلات‌کننده

برای محاسبه این شاخص از تقسیم عملکرد قند بر میزان سطح برگ استفاده شد و به صورت میزان قند تولید شده به ازای واحد سطح برگ گزارش گردید (سزول و همکاران، ۲۰۱۵).

۳-۲-۷-۵ شاخص سبزینگی

شاخص سبزینگی به صورت غیر مستقیم و با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 (Minolta Ramsey، ژاپن) اندازه‌گیری شد. برای این منظور در مرحله خمیری نرم (S_7) در محدوده زمانی ساعت ۱۰ تا ۱۲ صبح در داخل هر کرت پنج قرائت از یک سوم انتهایی جوان‌ترین برگ کاملا توسعه یافته انجام شده و میانگین این اعداد به عنوان میزان کلروفیل مربوط به آن کرت ثبت گردید.

۳-۲-۷-۶ میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ

میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ در مرحله خمیری نرم (S_7) بر اساس روش آرنون (۱۹۴۹) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ۰/۵گرم از نمونه تر برگ پس از توزین در یک هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع خرد شده و به خوبی له شد. ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه اضافه شده سپس با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Ependurf، آلمان) گردید. پس از سانتریفیوژ، روشناور لوله‌ها به بالون ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری انتقال یافته، بر روی مواد ته نشین شده لوله‌ها مجددا ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ریخته و با همان دور سانتریفیوژ انجام و محلول حاصل به محلول درون بالون‌ها اضافه گردید. سپس حجم بالون با استفاده از استون ۸۰ درصد به ۵۰ میلی‌لیتر

رسانده شد. جهت اندازه گیری کلروفیل از محلول درون بالون‌ها درون کووت ریخته و با استفاده از اسپکتروفتومتر (Lambda، انگلستان) مقدار جذب در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b، و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها قرائت گردید. در نهایت با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد. برای نمونه شاهد از استون ۸۰ درصد استفاده شد.

$$\text{Chl a (mg g FW}^{-1}) = [12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645})] \times V/ (W \times 1000)$$
$$\text{Chl b (mg g FW}^{-1}) = [22.9\ (A_{645}) - 4.68(A_{663})] \times V/ (W \times 1000)$$
$$\text{Chl total (mg g FW}^{-1}) = [20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})] \times V/ (W \times 1000)$$
$$\text{Car (mg g FW}^{-1}) = [1000\ (A_{470}) - 1.82\ (\text{Chl a}) - 85.02(\text{Chl b})\ /198] \times V/ (W \times 1000)$$

۳-۷-۲-۷ اندازه‌گیری آنزیمی

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های اینورتاز خنثی (NI)، اسید اینورتاز محلول (SAI)، ساکارز سینتاز (SS) و ساکارز فسفات سینتاز (SPS) در ساقه سورگوم شیرین در مرحله خمیری نرم تا خمیری سخت (S_7-S_8) براساس روش یانگ و همکاران (۲۰۱۳) صورت گرفت.

۳-۷-۲-۷-۱ عصاره آنزیمی

برای تهیه عصاره آنزیمی، در مزرعه از دومین میانگره انتهایی بوته‌های سورگوم در هر کرت نمونه‌هایی به صورت تصادفی انتخاب و پس از جدا کردن از ساقه اصلی بلافاصله در نیتروژن مایع قرار داده شدند. در محل آزمایشگاه، میانگره‌ها در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع پودر گردیدند و بافت پودر شده به تیوب‌های دو میلی‌لیتری منتقل گردید. با در نظر گرفتن نسبت وزن تر به بافر استخراج به میزان ۰/۲ تا ۰/۳ گرم در میلی‌لیتر، تیوب‌ها با محلول بافر به حجم رسانده شدند. تمامی مراحل استخراج در دمای چهار درجه سانتیگراد در داخل یخ انجام شد.

برای تهیه بافر استخراج، تمام ظروف با آب مقطر و اتانول شسته شده و در اتوکلاو استریل شدند. ترکیب بافر استخراج شامل ۵۰ میلی‌مولار هپس (Hepes) با pH ۷/۵ ، پنج میلی‌مولار کلرید منیزیم ($MgCl_2$)، یک میلی‌مولارEDTA ، ۲/۵ میلی‌مولار DTT، ۰/۰۵ درصد حجمی تریتون (Triton X-100) و ۰/۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر آلبومین گاوی (BSA) بود. پس از اضافه نمودن بافر استخراج و ترکیب آن با نمونه‌ها، محلول با کاغذ صافی فیلتر شد تا ترکیب هموژنیزه بدست آید. سپس به مدت ده دقیقه و در دمای چهار درجه سانتیگراد با دور ۱۲۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. روشناور بدست آمده در داخل تیوب های جداگانه ۱/۵ میلی‌لیتری ریخته شد که این عصاره برای اندازه‌گیری آنزیم های NI و SAI به کار برده شد.

برای آنزیم‌های SS و SPS به روشناور سولفات آمونیوم ($(NH_4)_2SO_4$) اضافه شده و پس از ۳۰ دقیقه رسوب‌دهی در ۱۸۰۰۰ دور در دمای چهار درجه سانتیگراد سانتریفیوژ شدند. پس از حذف روشناور بافر نمک‌زدایی (۵۰ میلی‌مولار هپس با pH ۷/۵، ۵ میلی‌مولار کلرید منیزیم، ۲/۵ میلی‌مولار DTT و ۰/۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر آلبومین گاوی) اضافه شده و رسوب حل گردید. روشناور در این مرحله با استون نمک‌زدایی گردید.

۲-۷-۲-۷-۳ تعیین فعالیت آنزیم

برای سنجش میزان فعالیت NI و SAI، ۲۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به ۲۸۰ میکرولیتر محلول اندازه‌گیری شامل ۱۴۰ میلی‌مولار استات سدیم (pH=۴/۵ برای NI؛ pH=۷/۵ برای SAI) و ۱۷۵ میلی‌مولار ساکارز اضافه گردید. سپس با استفاده از ۴۹۰ میکرولیتر ۳-۵ دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید (DNS) و حمام آب جوش به مدت پنج دقیقه واکنش آنزیمی متوقف گردید. پس از خنک شدن محلول قرائت با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر انجام شد. محلول آزمایش بدون ساکارز به عنوان شاهد در نظر گرفته و میزان فعالیت آنزیم‌ها براساس منحنی استاندارد گلوکز تعیین گردید.

جهت تهیه معرف DNS یک گرم ۳-۵ دی نیتروسالسیلیک‌اسید در ۲۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم با غلظت دو میلی‌مولار (یک گرم هیدروکسید سدیم به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده می شود) حل شد. همچنین ۳۰ گرم تارتارات سدیم پتاسیم (نمک راشل) در حدود ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و دو محلول با یکدیگر ترکیب و به حجم نهایی ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. ترکیب نمک راشل مانع حل کردن اکسیژن توسط معرف و تثبیت رنگ محلول می‌شود.

برای آنزیم‌های SS و SPS، دردمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و در pH=۷/۵، ۳۵ میکرولیتر از عصاره آنزیمی نمک‌زدایی شده به ۳۵ میکرولیتر محلول آزمایش اضافه گردید. محلول آزمایش SPS شامل ۱۰۰ میلی‌مولار هپس (Hepes) با pH ۷/۵، ۲۰ میلی‌مولار گلوکز-۶- فسفات، چهار میلی‌مولار فروکتوز- ۶- فسفات، سه میلی‌مولار UDP-گلوکز، پنج میلی‌مولار کلرید منیزیم، یک میلی‌مولار EDTA بود. محلول آزمایش SS محتوی ۵۰ میلی‌مولار هپس (Hepes) با pH ۷/۵، ۱۵ میلی‌مولار کلرید منیزیم، ۲۵ میلی‌مولار فروکتوز و ۲۵ میلی‌مولار UDP-گلوکز بود. واکنش با قرار دادن نمونه‌ها در دمای۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه انجام و سپس با حمام آب جوش به مدت سه دقیقه واکنش آنزیمی متوقف گردید. ساکارز تولید شده در این واکنش‌ها با روش آنترون (هندل، ۱۹۶۸) تعیین گردید. محلول آزمایش بدون UDP -گلوکز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

۳-۷-۳ صفات کمی و کیفی شیرابه

در زمان برداشت نهایی از هر کرت ده بوته به طور تصادفی جهت تهیه شیرابه ساقه جمع‌آوری شد. جهت استحصال شیرابه از ساقه‌ها، ابتدا برگ‌ها و خوشه‌ها حذف و سپس ساقه‌های حاصل پس از توزین به قطعات ریز خرد شده و در پرس مخصوص که جهت استخراج شیرابه ساخته شده بود قرار داده شدند. در پرس ساخته شده با استفاده از جک هیدرولیکی و فشار بر صفحه صلب در داخل یک استوانه، ساقه‌ها متراکم و شیرابه از صافی موجود در زیراستوانه خارج، جمع آوری و توزین گردید.

به منظور کاهش احتمال تجزیه و تخمیر قندهای موجود در شیرابه‌ها و حفظ ترکیب آنها، فرآیند خرد کردن و استحصال شیرابه در کوتاه‌ترین زمان ممکن انجام گرفت و برای اندازه‌گیری‌های بعدی نمونه‌ها در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

۳-۷-۳-۱ عملکرد شیرابه

حجم و وزن شیرابه استحصال شده از ده ساقه سورگوم شیرین در هر کرت آزمایشی تعیین و عملکرد شیرابه براساس متر مکعب در هکتار محاسبه گردید.

۳-۷-۳-۲ راندمان تولید شیرابه

راندمان تولید شیرابه یا قابلیت استخراج شیرابه براساس رابطه زیر محاسبه گردید (گوئیگو و همکاران، ۲۰۱۱).

$$\text{راندمان تولید شیرابه} = \frac{\text{وزن شیرابه استخراج شده}}{\text{وزن ساقه های خرد شده}} \times 100$$

۳-۷-۳-۳ pH شیرابه

میزان pH نمونه‌های شیرابه پس از یخ‌زدایی نمونه‌ها اندازه گیری شد.

۳-۷-۳-۴ وزن حجمی شیرابه

وزن حجمی شیرابه‌های حاصل با اندازه‌گیری وزن مقدار مشخصی از حجم نمونه‌ها مشخص گردید.

۳-۷-۳-۵ درصد بریکس (ضریب شکست)

تعیین ضریب شکست یا درصد بریکس با استفاده از رفرکتومتر (ATAGO N1-E ATAGO، ژاپن) تعیین شد. در این دستگاه با قرار دادن چند قطره از شیرابه قندی بر روی منشور و تنظیم آن ضریب شکست

ماده قندی قرائت می‌شود. از آنجایی که درجه‌بندی دستگاه بر اساس درصد وزن قند در محلول در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده است با توجه به دمای آزمایشگاه و جدول تصحیح درصد بریکس محاسبه گردید.

۳-۷-۳-۶ قندهای محلول

۳-۷-۳-۶-۱ شفاف سازی

برای اندازه‌گیری قندها ابتدا محلول و یا شیرابه قندی صاف و شفاف شده و مواد معلق در محلول حذف شدند. برای شفاف‌سازی شیرابه‌های ساقه، ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه‌های شیرابه همراه با دو میلی‌لیتر استات سرب اشباع در فالکون ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شده و با آب مقطر به حجم رسانده شد. سپس به مدت پنج دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شدند تا مواد ناخالص ته‌نشین گردند. برای خارج نمودن یون‌های سرب اضافی، به روشناور حاصل مقداری دی‌پتاسیم‌اگزالات اضافه گردید تا بلورهای آن رسوب دهند سپس محلول صاف گردید تا محلول شفافی بدست آید. این محلول برای اندازه‌گیری میزان قند کل، ساکارز و گلوکز به کار برده شد.

۳-۷-۳-۶-۲ قندهای احیاکننده (قبل از هیدرولیز)

برای اندازه‌گیری میزان قندهای موجود در شیرابه‌های حاصل از روش حجمی لین – آینون (اگان و همکاران،۱۹۸۱) استفاده شد. در این روش از دو محلول فهلینگ A (۳۴/۶۴ گرم سولفات مس (کریستال) که با آب مقطر به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود) و محلول فهلینگ B (۱۷۳ گرم تارتارات مضاعف سدیم و پتاسیم و ۵۰ گرم سود با آب مقطر به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود) استفاده شد.

در مرحله اول پنج میلی‌لیتر محلول فهلینگ A و پنج میلی‌لیتر محلول فهلینگ B به همراه سه تا چهار قطره شناساگر متیلن‌بلو و مقداری آب مقطر (۲۰ میلی‌لیتر) برای جلوگیری از تبخیر سریع در

یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری مخلوط شده و حرارت داده شد تا حدود دو دقیقه بجوشد. در مرحله دوم ۲۵ میلی‌لیتر از محلول شفاف شده شیرابه را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و از آن برای تیتراسیون استفاده شد. ختم عمل محو شدن رنگ آبی و بروز رنگ قرمز آجری (Cu_2O) است و براساس رابطه زیر میزان قندهای احیاکننده قبل از هیدرولیز در نمونه حاصل می شود.

$$n = \frac{F \times 100 \times 100}{V \times 25 \times 25}$$

F: فاکتور فهلینگ (براساس محلول استاندارد قند)

V: حجم محلول مصرفی بر حسب میلی‌لیتر

n: قندهای احیا کننده (قبل از هیدرولیز) بر حسب گرم در صد گرم

۳-۶-۳-۷-۳ قند کل

برای محاسبه میزان قند کل به ۲۵ میلی‌لیتر محلول شفاف شیرابه که با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شده، پنج میلی‌لیتر اسیدکلریدریک غلیظ اضافه کرده و به مدت ده دقیقه در حمام آب با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خنک شدن بالن چند قطره شناساگر فنل‌فتالئین به آن افزوده و با هیدروکسید سدیم غلیظ (۴۰ درصد) تا ایجاد رنگ صورتی کم‌رنگ پایدار خنثی شد. پس از اطمینان از پایداری رنگ، با آب مقطر به حجم رسانده شد. در مرحله بعد، از این محلول برای تیتراسیون محلول‌های فهلینگ A و B استفاده شد ختم عمل بروز رنگ آجری است. براساس رابطه زیر میزان قند کل محاسبه گردید.

$$\mathrm{N} = \frac{F \times 100 \times 100 \times 100}{V \times 25 \times 25}$$

F: فاکتور فهلینگ (براساس محلول استاندارد قند)

V: حجم محلول مصرفی بر حسب میلی‌لیتر

N: قند کل بر حسب گرم در صد گرم

۴-۶-۳-۷-۳ ساکارز

برای تعیین میزان ساکارز موجود در شیرابه از رابطه زیر استفاده گردید.

$$S = (N-n) \times 0.95$$

N= قند کل (قند پس از هیدرولیز)

n= قندهای احیاکننده (قبل از هیدرولیز)

S= درصد ساکارز در ۱۰۰ گرم نمونه

0.95= نسبت وزن مولکولی ساکارز به وزن مولکولی گلوکز و فروکتوز

۵-۶-۳-۷-۳ گلوکز

جهت اندازه‌گیری میزان گلوکز به ۲۵ میلی‌لیتر از محلول شفاف شده قندی، ۲۰ میلی‌لیتر محلول ید (۰/۱ نرمال) و پنج میلی‌لیتر محلول سود (۰/۵ نرمال) اضافه گردید. پس از مخلوط کردن مواد درب ارلن بسته شده و به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. در مرحله بعد با پنج میلی‌لیتر محلول دو نرمال اسید سولفوریک اسیدی شده و بلافاصله زیادی ید موجود به وسیله محلول هیپوسولفیت سدیم (۰/۱ نرمال) سنجیده شد. به عنوان معرف از چسب نشاسته استفاده شد. تفاوت تیتراسیون یک نمونه شاهد و نمونه مقدار یدی را که به وسیله محلول قندی مصرف شده است مشخص نمود. در نهایت با توجه به آنکه هر یک میلی‌لیتر محلول ید ۰/۱ نرمال معادل ۰/۰۰۹۰۱ گرم گلوکز است میزان گلوکز در نمونه‌ها محاسبه شد.

۶-۶-۳-۷-۳ فروکتوز

با در نظر داشتن مقدار قند کل، ساکارز و گلوکز مقدار فروکتوز محاسبه شد.

(گلوکز + ساکارز) - قند کل = فروکتوز

لازم به ذکر است تمام قندهای اندازه‌گیری شده به میلی‌گرم در میلی‌لیتر شیرابه تبدیل شده و براساس این واحد گزارش شدند.

۳-۷-۳-۷ عملکرد قند

عملکرد قند براساس میزان قند کل موجود در شیرابه و طبق رابطه زیر محاسبه گردید (بورکس و همکاران، ۲۰۱۵).

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

۳-۷-۳-۸ عملکرد بالقوه اتانول

بر طبق روش اسپنسر و ماد (۱۹۶۳) عملکرد بالقوه اتانول از طریق رابطه زیر تعیین شد.

$$\text{عملکرد بالقوه اتانول } (l\ ha^{-1}) = \text{عملکرد شیرابه } (l\ ha^{-1}) \times \frac{\text{میزان قند (بریکس)}}{100} \times \frac{0.85}{1.76}$$

در این رابطه 0.85/1.76 فاکتور تصحیح برای تبدیل قند به اتانول است.

۳-۸ تجزیه و تحلیل داده‌ها

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. جهت مقایسه میانگین برهمکنش معنی‌دار اثر عوامل آزمایش، از روش برش‌دهی اثرات متقابل (Slicing) براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱ صفات زراعی

۴-۱-۱ ارتفاع بوته

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثرات اصلی رقم، حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سال×حذف مخزن در سطح احتمال پنج درصد بر ارتفاع بوته در سورگوم شیرین معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱).

براساس نتایج رقم KFS3 با ارتفاع بوته ۲۱۴/۳ سانتی‌متر به‌طور معنی‌داری دارای ارتفاع بوته بیشتری در مقایسه با رقم KFS2 با ارتفاع بوته ۱۹۹/۷ سانتی‌متر بود.

بررسی مقایسه‌های میانگین نشان داد محلول‌پاشی منیزیم با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار میزان ارتفاع بوته در سورگوم شیرین شدند و مقادیر این صفت را به ترتیب ۷ و ۵ درصد در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش دادند. بین دو سطح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم از نظر تاثیر بر ارتفاع بوته تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۴-۱).

برش‌دهی اثرات متقابل سال×حذف مخزن نشان داد در سال ۱۳۹۳، حذف مکانیکی مخزن تاثیر معنی‌داری بر میزان ارتفاع بوته در مقایسه با عدم حذف مخزن نداشت . اما حذف شیمیایی مخزن سبب کاهش معنی‌دار میزان ارتفاع بوته شد (شکل ۴-۲). در سال ۱۳۹۴ نیز حذف شیمیایی مخزن منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته شد به طوری که میزان این صفت را از ۲۱۰/۸ سانتی‌متر در تیمار عدم حذف مخزن و ۲۱۶/۲ سانتی‌متر در حذف مکانیکی مخزن به ۱۹۸/۷سانتی‌متر کاهش داد. بین حذف مکانیکی مخزن و عدم حذف مخزن در این سال نیز تفاوت آماری وجود نداشت (شکل ۴-۲).

ارتفاع بوته یکی از عوامل مهم در عملکرد علوفه و قند در سورگوم شیرین است. ارتفاع بوته به تعداد و طول میانگره‌ها بستگی دارد. گره‌ها به صورت متوالی تا زمان انتقال مریستم از رشد رویشی به رشد زایشی تشکیل می‌شوند. این فرآیند تحت کنترل ژنتیک و نیز غلظت هورمون‌های رشد در داخل گیاه

می‌باشد. به نظر می‌رسد کاربرد اتفون با تاثیر بر غلظت سایر هورمون‌های گیاه سبب کاهش میزان ارتفاع شده باشد.

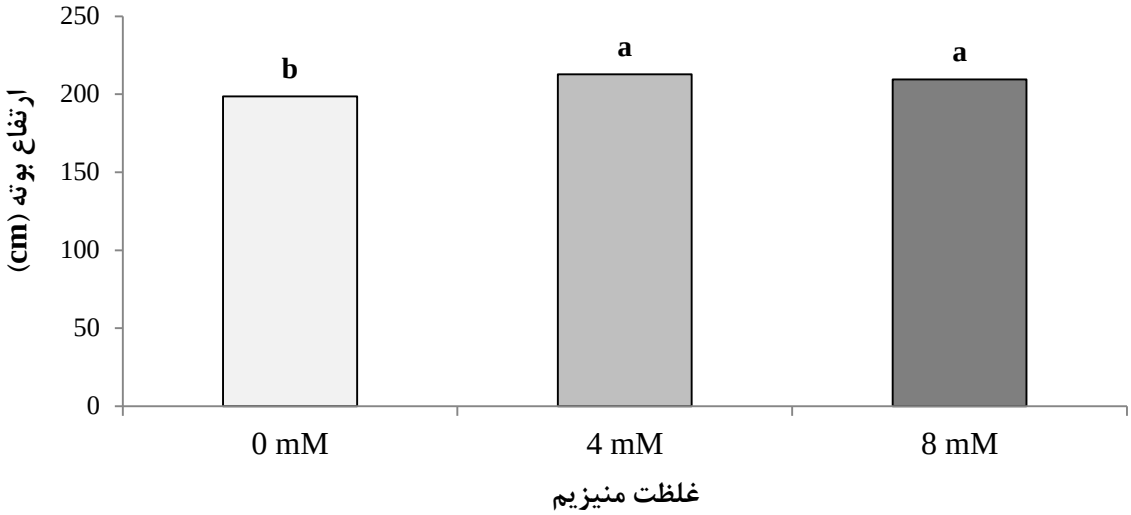
یکی از نتایج افزایش ارتفاع، تشکیل برگ‌های جدید در گیاه است که در این حالت برگ‌های جدید با کارایی بیشتر، مقدار بیشتری از نور خورشید را دریافت کرده و باعث افزایش عملکرد علوفه و قند در سورگوم می‌شوند (فومن، ۱۳۸۴).

فومن (۱۳۸۴) با بررسی دو رقم KFS2 و KFS3 نشان داد که ارتفاع بوته در این دو رقم سورگوم با یکدیگر متفاوت بود. این محقق معتقد است اختلاف ارتفاع بین این دو رقم ناشی از تفاوت والدین و وجود تنوع ژنتیکی در بین آن‌ها است. از سوی دیگر این محقق در بررسی دیگری نشان داد که در سال‌های مختلف یک آزمایش می‌تواند ارتفاع بوته‌های این دو رقم با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشته باشند که این مسئله نشان می‌دهد میزان ارتفاع علاوه بر ژنتیک می‌تواند تابع تغییر شرایط محیطی نیز باشد (فومن، ۱۳۸۹). سریدهار و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه خود ۸۸ رقم سورگوم را در هندوستان مورد بررسی قرار داده و این ارقام را از نظر ارتفاع بوته، تعداد پنجه و علوفه تر طبقه‌بندی نمودند. بیشترین علوفه تر در بین این ارقام ۶۱۰ گرم در هر بوته و کمترین آن ۱۱۴ گرم در هر بوته بود. میزان ارتفاع بوته نیز از ۲۴۰ سانتی‌متر تا۸۰ سانتی‌متر در بین ارقام مختلف متغیر بود. صفری و همکاران (۱۳۸۹) نیز نشان دادند بین ارقام مختلف سورگوم از نظر ارتفاع بوته تفاوت معنی‌دار وجود دارد. این محققان معتقدند درجه حرارت، کمبود آب و وضعیت حاصلخیزی خاک میزان توسعه برگ‌ها، دوام سطح برگ و ارتفاع بوته را تحت تاثیر قرار می دهند. به نظر می‌رسد در دو رقم مورد بررسی در آزمایش حاضر تفاوت ژنتیکی از نظر میزان ارتفاع وجود نداشته و تنها عوامل محیطی و تیمارهای آزمایش بر آن تاثیرگذار بودند.

در آزمایش حاضر محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در سورگوم شیرین شد. زاناتی و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تاثیر محلول‌پاشی غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ گرم در لیتر سولفات منیزیم بر گیاه گندم نشان دادند، محلول‌پاشی سولفات منیزیم سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته‌ها در

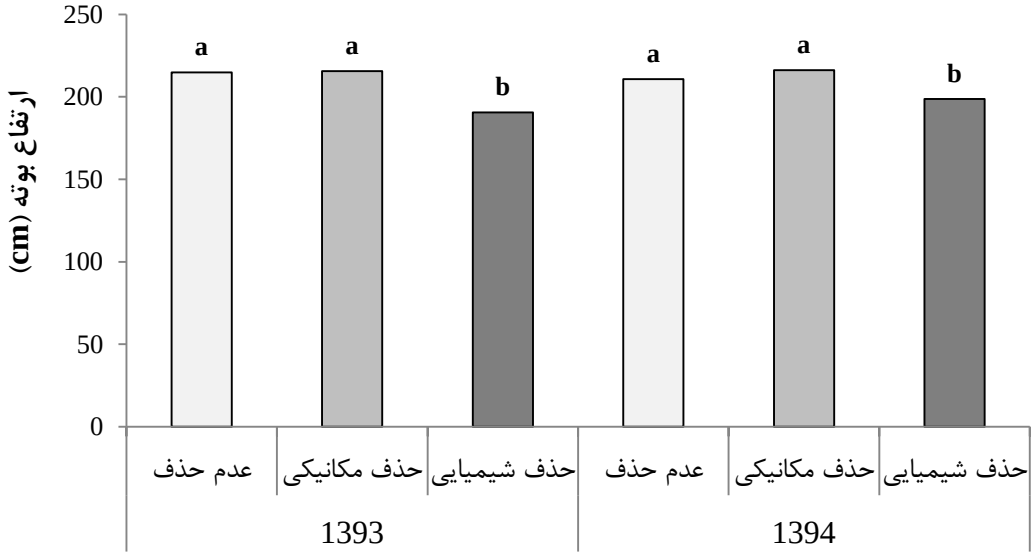
مقایسه با تیمار شاهد شد. هرچند بین غلظت‌های مختلف تفاوتی وجود نداشت. هارتز و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که کمبود منیزیم علاوه بر تاثیر بر کاهش رشد ریشه، ارتفاع بوته در سورگوم را کاهش می‌دهد.

از سوی دیگر نتایج آزمایش حاضر نشان داد کاربرد اتفون در حذف شیمیایی مخزن سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در سورگوم شیرین شد. این نتایج با یافته‌های فاستر و همکاران (۱۹۹۱) که کاهش ارتفاع بوته‌های جو را در کنار افزایش ماده خشک گیاه و پنجه‌زنی در نتیجه کاربرد اتفون گزارش نمودند مطابقت دارد. شکوفا و امام (۲۰۰۸) نیز با بررسی تاثیر محلول‌پاشی اتفون و سایکوسل به ترتیب با غلظت‌های ۲۸۰ و ۲۲۰۰ گرم در هکتار بر رشد و عملکرد گندم نشان دادند که کاربرد این ترکیبات هورمونی از طریق کاهش طول میانگره‌ها سبب کاهش ارتفاع بوته گردید. ماسدو و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که محلول‌پاشی اتفون در سورگوم شیرین ارتفاع بوته را در مقایسه با تیمار شاهد تا ۲۶ درصد کاهش داد که این کاهش ارتفاع احتمال ورس بوته‌ها را کم نموده و ضمن تسهیل فرآیند برداشت امکان افزایش تراکم را فراهم می‌نماید. کاروالهو و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که کاربرد ترکیباتی مانند اتفون می‌تواند ارتفاع گیاه را تا ۳۳/۹ درصد کاهش دهد. این محققین ممانعت از سنتز جیبرلین را عامل کاهش ارتفاع در بوته های سورگوم شیرین می‌دانند.



شکل۱-۴. اثر محلول‌پاشی منیزیم بر ارتفاع بوته در سورگوم شیرین حاصل از تجزیه مرکب

حروف یکسان بیانگر وجود عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل۲-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن بر میزان ارتفاع بوته در سورگوم شیرین در سال‌های آزمایش

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۴-۱-۲ قطر ساقه

نتایج آزمایش نشان داد قطر ساقه در سورگوم شیرین به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرات اصلی سال آزمایش، حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم و اثر دو گانه سال×رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی رقم، رقم ×حذف مخزن، سال×حذف مخزن و حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثرات سه گانه سال×رقم×حذف مخزن و رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۱).

براساس برش‌دهی اثرات متقابل در سال ۱۳۹۳، حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن به طور معنی‌داری قطر ساقه را در هر دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی نسبت به عدم حذف مخزن افزایش دادند. همچنین در رقم KFS2 بین حذف مکانیکی مخزن با قطر ساقه ۲/۷ میلی‌متر و حذف شیمیایی مخزن با قطر ساقه ۲۰/۳ میلی‌متر تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۴-۳). در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن به طورمعنی‌داری قطر ساقه را به ترتیب به میزان ۲۱ و ۲۹ درصد در مقایسه با عدم حذف مخزن افزایش دادند که میزان قطر ساقه در این دو تیمار از مقادیر قطر ساقه در رقم KFS3 نیز بیشتر بود. بین سطوح حذف مخزن در رقم KFS3 در این سال تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۴-۳).

برش‌دهی اثرات متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی در شکل ۴-۴ نشان داد در رقم KFS2 حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن همراه با سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌دار قطر ساقه در بوته‌های سورگوم در مقایسه با تیمارهای عدم حذف مخزن و سطوح محلول‌پاشی منیزیم شدند. همچنین در تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن افزایش غلظت منیزیم محلول‌پاشی، قطر ساقه را به طور معنی‌داری افزایش داد. بر این اساس بیشترین قطر ساقه از محلول‌پاشی با غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم همراه با تیمارهای حذف مکانیکی مخزن (۲۳/۸ میلی‌متر) و حذف شیمیایی مخزن (۲۱/۷ میلی‌متر) بدست آمد (شکل ۴-۴). در رقم KFS3، تنها غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم همراه با حذف شیمیایی مخزن سبب افزایش معنی‌دار قطر ساقه در مقایسه با تیمارهای عدم حذف

مخزن و غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی منیـزیم و نیـز سـطح صـفر محلـول‌پاشـی در تیمـار حـذف شیمیایی شد . بین سایر ترکیب‌های تیماری در این رقم تفاوت معنی‌دار آماری وجود نداشـت (شـکل ۴-۴).

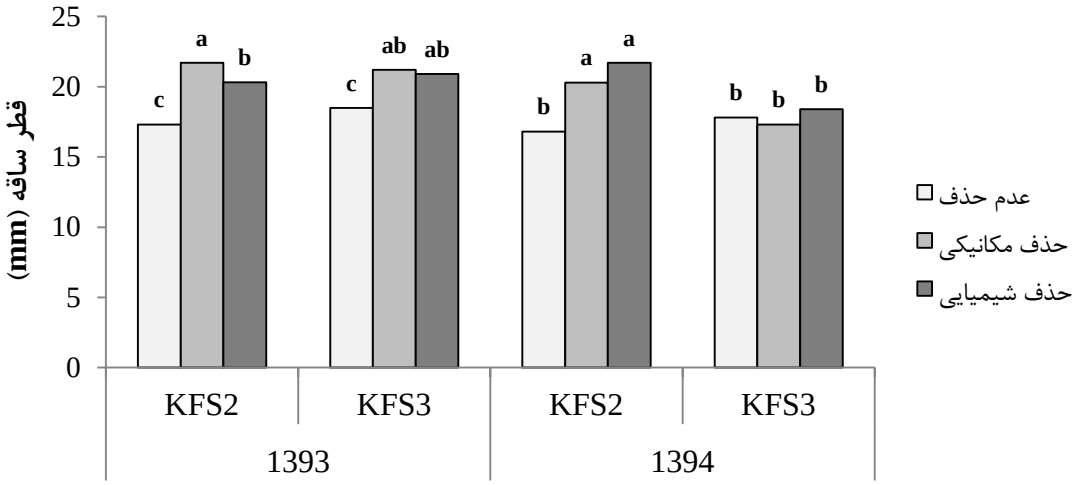
هر چند در آزمایش حاضر مشخص شد که بین دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی از نظر قطر ساقه تفاوت معنی‌دار وجود داشت اما فـومن (۱۳۸۹) نشـان داد بـین ارقـام KFS2 و KFS3 در سـال‌هـای مختلف آزمایش وی تفاوت معنی‌داری از نظر قطر ساقه وجود ندارد.

در این آزمایش محلول‌پاشی منیزیم همراه با حذف مکانیکی و شیمیایی مخـزن سـبب افـزایش قطـر ساقه گردیدند. این افزایش قطر ساقه می‌تواند امکان ذخیره بیشتر شیرابه را در ساقه سورگوم شـیرین فراهم نماید.

۳-۱-۴ وزن خشک برگ

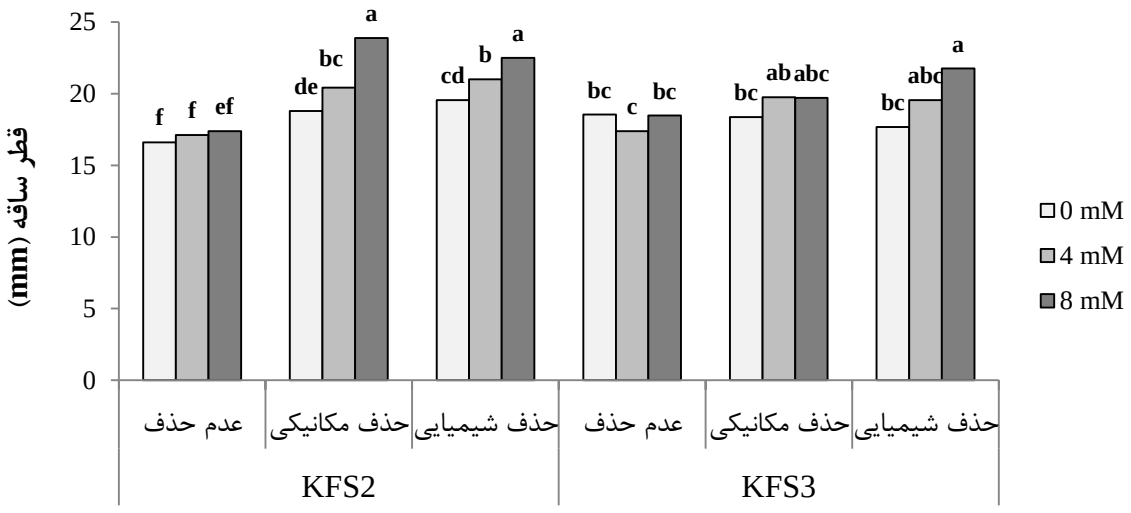
نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثر اصلی سال آزمایش، رقم، حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سال×رقم×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصـد بر میزان وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱).

بررسی مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۵ نشان داد تیمارهـای حـذف مکـانیکی و شـیمیایی مخـزن به‌طور معنی‌داری وزن خشک برگ را در بوته‌های سورگوم شیرین افزایش دادند. براسـاس ایـن نتـایج وزن خشک برگ از ۳۱۲/۲ گرم در متر مربع در تیمار عدم حذف مخزن به ۳۵۹/۳ گرم در متر مربـع در حذف مکانیکی مخزن و ۳۶۲/۹ گرم در حذف شیمیایی مخزن رسید. بین حذف مکانیکی و حـذف شیمیایی مخزن از نظر تاثیر بر وزن خشک برگ تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد و این دو تیمار در یـک گروه آماری قرار گرفتند.



شکل۳-۴. اثر متقابل سال× رقم× حذف مخزن بر قطر ساقه حاصل از تجزیه مرکب

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



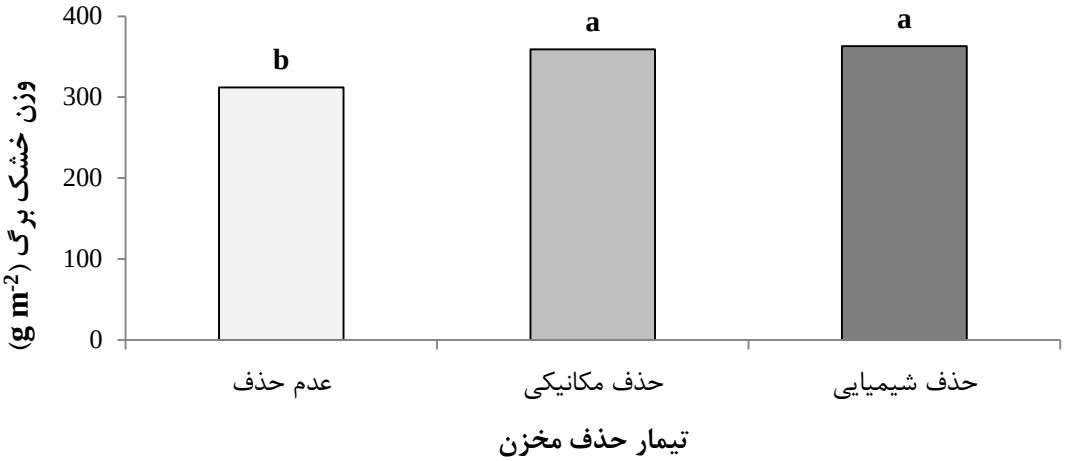
شکل۴-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر قطر ساقه

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

برش‌دهی اثرات متقابل سال×رقم×محلول‌پاشی منیزیم نشان داد در سال ۱۳۹۳، محلول‌پاشی با غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS3 وزن خشک برگ را به طور معنی‌داری نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی افزایش داد. بین سایر تیمارهای آزمایشی در این سال تفاوتی از نظر تاثیر بر وزن خشک برگ مشاهده نشد (شکل ۴-۶). در سال ۱۳۹۴، بیشترین وزن خشک برگ از تیمار حذف شیمیایی مخزن همراه با محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم (به ترتیب با مقادیر ۳۶۱/۹ و ۳۷۰/۲ گرم بر مترمربع) در رقم KFS3 حاصل شد که با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی تفاوت معنی‌دار نشان دادند.

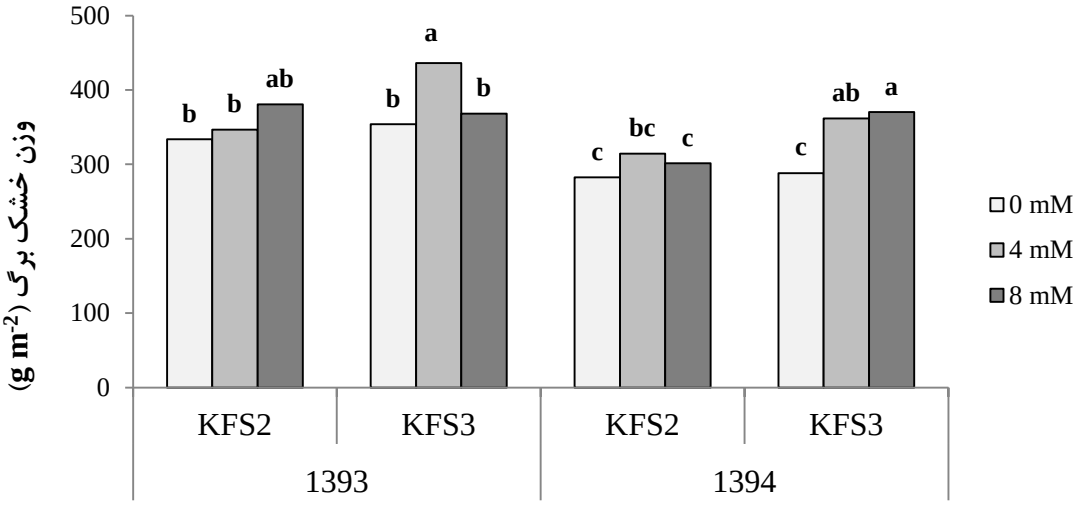
آگوانگ و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شیرین نشان دادند که بین آنها از وزن خشک برگ تفاوت معنی‌دار وجود داشت. بالا بودن وزن خشک برگ در یک رقم سورگوم جزء بسیار مهمی از انتخاب رقم به شمار می‌رود. در اغلب کشورها عموما ارقامی از سورگوم را برای توسعه کشت انتخاب می‌نمایند که علاوه بر بالا بودن میزان علوفه تر و علوفه خشک، از نسبت برگ به ساقه بیشتری برخوردار باشند (لودهی و همکاران، ۱۹۹۴).

بالا بودن وزن خشک برگ در نتیجه حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم همانند شرایط آزمایش حاضر تضمین‌کننده جذب بیشتر نور، فتوسنتز بیشتر، تولید ماده خشک بیشتر و در نهایت تجمع بیشتر مواد فتوسنتزی در ساقه‌های سورگوم شیرین است. این فرآیندها در نهایت منجر به بهبود کیفیت علوفه تولیدی و نیز افزایش عملکرد قند می‌شود (صفری و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۵-۴. اثر حذف مخزن بر وزن خشک برگ

حروف یکسان بیانگر وجود عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل۶-۴. اثر متقابل سال× رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر وزن خشک برگ

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۴-۱-۴ وزن خشک ساقه

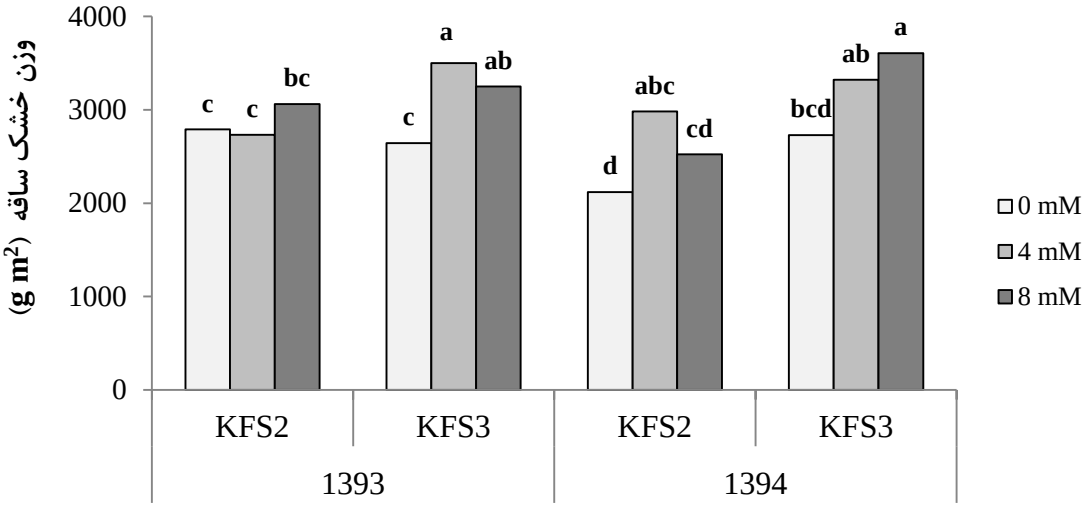
براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌های حاصل از آزمایش اثر اصلی رقم، حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و اثر سه‌گانه سال×رقم×محلول‌پاشی و سال×حذف مخزن × محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان وزن خشک ساقه در بوته‌های سورگوم شیرین معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱).

براساس مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۷، در سال ۱۳۹۳ افزایش غلظت منیزیم در محلول‌پاشی در رقم KFS2 تاثیری بر میزان وزن خشک ساقه نداشت. اما در رقم KFS3 افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش میزان وزن خشک ساقه شد به طوری‌که بیشترین وزن خشک ساقه در این سال از غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS3 به ترتیب با مقادیر ۳۳۲۳ و ۳۶۰۷ گرم بر متر مربع بدست آمد. در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 محلول‌پاشی با غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم (۲۹۸۲ گرم بر متر مربع) و در رقم KFS3 محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم (به ترتیب با مقادیر ۳۳۲۳ و ۳۶۰۷ گرم بر متر مربع) سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در رقم KFS2 (۲۱۱۹ گرم برمتر مربع) شدند (شکل ۴-۷).

برش‌دهی اثرات متقابل سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم بر وزن خشک ساقه نشان داد در سال ۱۳۹۳، تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن در غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه در بوته‌های سورگوم در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شدند (شکل ۴-۸). در سال ۱۳۹۴، در تیمار عدم حذف مخزن افزایش غلظت منیزیم در سطح ۴ و ۸ میلی‌مولار به ترتیب با مقادیر ۲۳۱۹ و ۲۷۲۹ گرم بر مترمربع سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (۱۷۵۸ گرم بر مترمربع) شد. در این سال تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن همراه با تمام سطوح محلول پاشی منیزیم میزان وزن خشک ساقه را نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۴-۸).

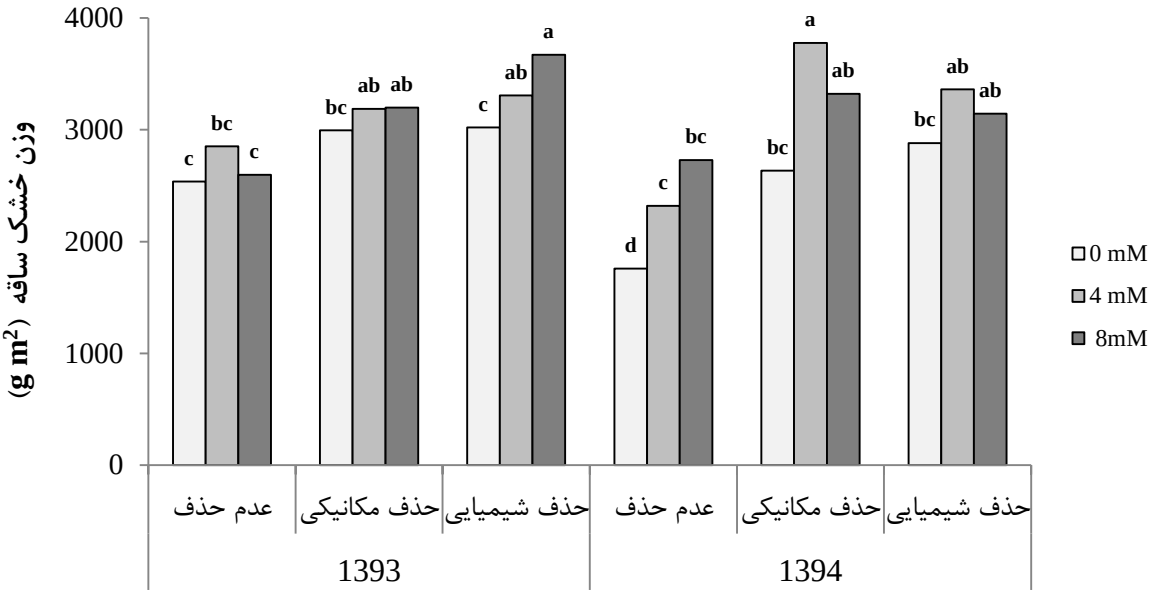
در مجموع نتایج بین دو رقم مورد بررسی در این آزمایش از نظر وزن خشک ساقه با مقادیر میانگین‌های ۲۷۰۱ گرم بر مترمربع در رقم KFS2 و ۳۱۷۶ گرم بر مترمربع در رقم KFS3 تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. گاناش کومار و همکاران (۲۰۱۰) نیز با بررسی ۱۹ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان دادند که عملکرد ساقه در بین ژنوتیپ‌های مختلف می‌تواند از ۳۵/۶۵ تا ۴۶/۳۲ تن در هکتار متغیر باشد.

جعفری بیله سوار و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند بین وزن ساقه و عملکرد علوفه خشک ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد و با بالا رفتن وزن ساقه عملکرد علوفه نیز افزایش خواهد یافت. شهسواری و نصرتی مومندی (۱۳۹۱) بیان داشتند که افزایش سطح برگ فعال و اندام‌های فتوسنتزکننده وزن خشک ساقه را در گیاه را افزایش می‌دهد. در آزمایش حاضر حذف شیمیایی و مکانیکی مخزن سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه شد که این تاثیر می‌تواند ناشی از تاثیر مثبت تیمارهای حذف مخزن بر قطر ساقه باشد. یوسف‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) نیز افزایش وزن خشک ساقه را در نتیجه محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اتفون در مقایسه با تیمار شاهد گزارش نمودند. هانسیگی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شیرین در طی دو سال آزمایش خود نشان دادند که وزن ساقه عامل اصلی افزیش عملکرد بیولوژیک در سورگوم شیرین است و هر عاملی که سبب افزیش وزن خشک ساقه شود تاثیر مستقیمی بر عملکرد بیولوژیک خواهد داشت.



شکل۷-۴. اثر متقابل سال× رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر وزن خشک ساقه

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۸-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر وزن خشک ساقه

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۴-۱-۵ عملکرد علوفه تر

نتایج آزمایش نشان داد عملکرد علوفه تر در بوته‌های سورگوم شیرین به طورمعنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی رقم، حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و نیز اثرات متقابل سال×حذف مخزن، سال×رقم×محلول‌پاشی، سال×رقم×حذف مخزن و سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۱).

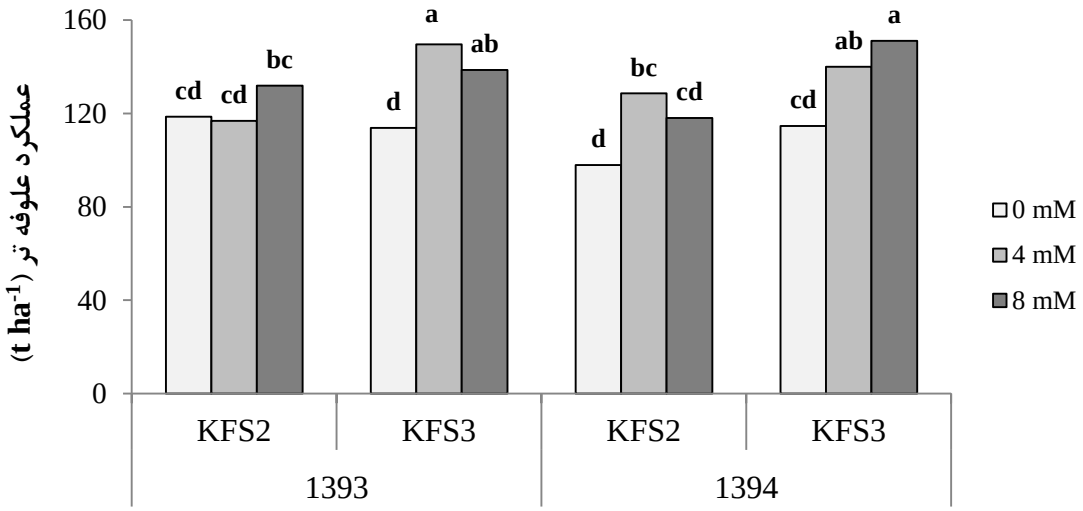
برش‌دهی اثرات متقابل در شکل ۴-۹ نشان داد در سال ۱۳۹۳، سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم در رقم KFS2 تاثیر معنی‌داری بر عملکرد علوفه تر نداشت و میانگین‌های حاصل در یک سطح آماری قرار گرفتند. در مقابل در رقم KFS3 محلول‌پاشی منیزیم با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار به ترتیب با مقادیر ۱۴۹/۶ و ۱۳۸/۷ تن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه تر در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم KFS2 و KFS3 (به ترتیب با مقادیر ۱۱۸/۷ و ۱۱۳/۹ تن در هکتار) شد.

در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 افزایش غلظت منیزیم تا سطح ۴ میلی‌مولار سبب افزایش عملکرد علوفه تر در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. اما در غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان عملکرد علوفه تر کاهش یافت و با سطح صفر محلول‌پاشی و نیز ۴ میلی‌مولار تفاوتی نداشت (شکل ۴-۹). در رقم KFS3 افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان عملکرد علوفه تر شد به طوری‌که میزان این صفت در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب ۲۲ و ۳۲ درصد در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی افزایش نشان داد.

براساس مقایسه‌های میانگین سال×رقم×حذف مخزن در سال ۱۳۹۳، در هر دو رقم KFS2 و KFS3 میزان عملکرد علوفه تر به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن قرار گرفت و با تیمار عدم حذف مخزن در هر دو رقم مورد بررسی اختلاف معنی‌دار نشان دادند (شکل ۴-۱۰). همچنین حذف شیمیایی مخزن در رقم KFS3 با حذف مکانیکی مخزن در رقم KFS2 اختلاف معنی‌دار نشان داد و در گروه آماری مجزا قرار گرفتند (به ترتیب با مقادیر ۱۴۳/۵ و ۱۲۶/۶

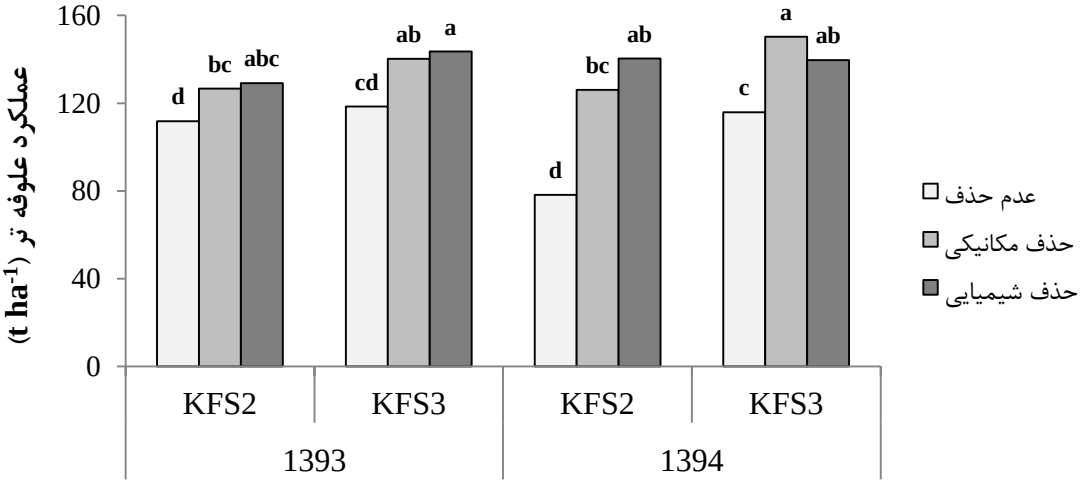
تن در هکتار). در سال ۱۳۹۴، نیز روند مشابهی مشاهده شد به‌طوری‌که تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن در هر دو رقم با تیمار عدم حذف مخزن در هر دو رقم سورگوم شیرین از نظر تاثیر بر عملکرد علوفه تر اختلاف معنی دار داشتند. بررسی میانگین‌های تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن مخزن در دو رقم مورد بررسی نشان داد بین حذف مکانیکی در هر دو رقم تفاوت معنی‌دار وجود داشت اما سایر تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۱۰).

برش‌دهی اثر متقابل سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم در شکل ۴-۱۱ آمده است. براساس مقایسه‌های میانگین حاصل در سال ۱۳۹۳، در تیمار عدم حذف مخزن محلول‌پاشی منیزیم تاثیر معنی‌داری بر عملکرد علوفه تر نداشت و میانگین‌های حاصل در یک سطح آماری قرار گرفتند. در حذف مکانیکی مخزن نیز روند مشابهی مشاهده شد هرچند حذف مکانیکی مخزن همراه با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان عملکرد علوفه تر را در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش داد. در حذف شیمیایی مخزن محلول پاشی منیزیم در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه تر در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در حذف شیمیایی مخزن و عدم حذف شد. در سال ۱۳۹۴، در تیمار عدم حذف مخزن افزایش غلظت منیزیم تا سطح ۸ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه تر در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. در این تیمار بین غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم از نظر تاثیر بر عملکرد علوفه تر تفاوت آماری وجود نداشت. در تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن نیز محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه تر در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در این دو تیمار شد. همچنین این ترکیبات تیماری میزان عملکرد علوفه تر را در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم افزایش معنی‌دار دادند (شکل ۴-۱۱).



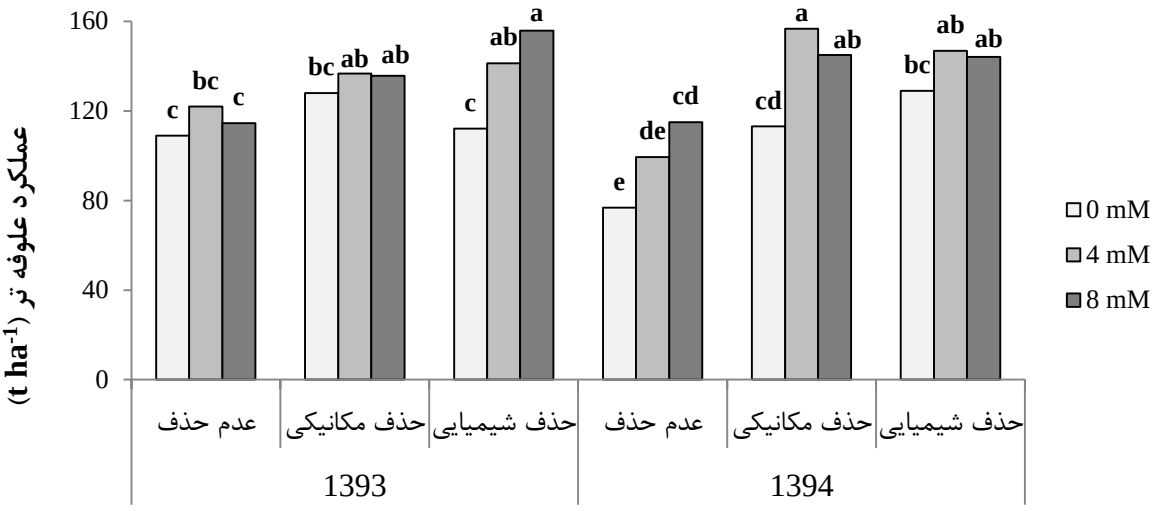
شکل۹-۴. اثر متقابل سال× رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد علوفه تر

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۱۰-۴. اثر متقابل سال× رقم× حذف مخزن بر عملکرد علوفه تر

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۱۱-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد علوفه تر

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

این نتایج نشان داد که عملکرد علوفه تر در دو رقم KFS2 و KFS3 به طور معنی‌داری تحت تاثیر شرایط محیطی آزمایش، تغذیه معدنی، حذف مخزن و اثرات متقابل بین این عوامل قرار گرفت (جدول پیوست ۱).

فومن (۱۳۸۹) با بررسی هشت رقم مختلف سورگوم نشان داد بین ارقام از نظر عملکرد علوفه تر تفاوت معنی‌دار وجود داشت که بیشترین و کمترین عملکرد علوفه تر را به ترتیب رقم نکتار با ۱۸۶/۸ و چاپر با ۱۳۷/۲ تن در هکتار تولید کردند و سایر ارقام بین این دو مقدار قرار گرفتند. همچنین در سال‌های مختلف آزمایش مقادیر عملکرد متفاوت بود که بیانگر تاثیرپذیری رشد و نمو سورگوم از شرایط محیطی است.

ال‌زاناتی و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان نمودند محلول‌پاشی منیزیم با تاثیر بر توازن عناصر غذایی در گیاه می‌تواند نقش مهمی بر بهبود رشد گیاه و تجمع ماده خشک در آن ایفا نماید. برخی محققین تاثیر مثبت منیزیم بر اندازه روزنه و سرعت تعرق را عامل موثر بر جذب بهتر عناصر در گیاه و رشد مطلوب آن دانسته‌اند (پوترا و همکاران، ۲۰۱۲).

۴-۱-۶ عملکرد بیولوژیک

نتایج آزمایش نشان داد اثر اصلی رقم، حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل سال×رقم×محلول‌پاشی و سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول پیوست۱).

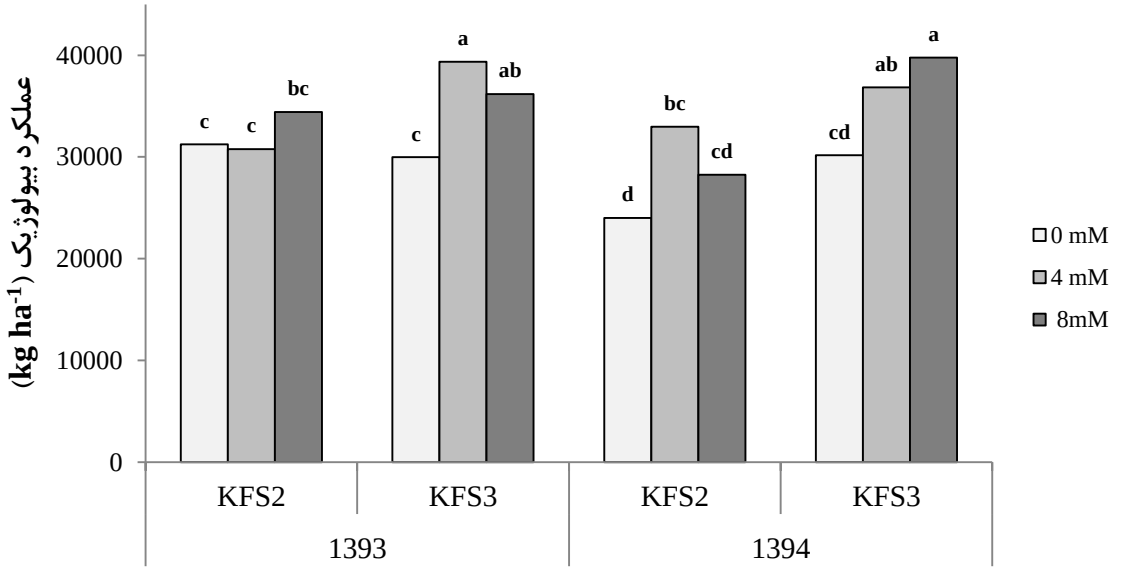
نتایج برش‌دهی اثرات متقابل در شکل ۴-۱۲ نشان داد در سال ۱۳۹۳، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک از محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS3 به ترتیب با مقادیر ۳۹۳۷۴ و ۳۶۱۹۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم (با مقادیر ۳۱۲۳۳ کیلوگرم در هکتار در رقم KFS2 و ۲۹۹۸۵ کیلوگرم در هکتار در رقم KFS3) تفاوت معنی‌دار داشت. در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 افزایش غلظت منیزیم محلول‌پاشی تا سطح ۴ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار و سپس در سطح ۸ میلی‌مولار منجر به کاهش میزان عملکرد بیولوژیک شد. در رقم KFS3 افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید به طوری‌که سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در این رقم عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی در همین رقم به ترتیب به میزان ۲۲ و ۳۲ درصد افزایش دادند بین سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS3 و سطح ۴ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS2 از نظر تاثیر بر عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۴-۱۲).

براساس مقایسه‌های میانگین اثر متقابل سال ×حذف مخزن ×محلول‌پاشی در شکل ۴-۱۳، در سال ۱۳۹۳، حذف شیمیایی مخزن همراه با محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم به طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک را نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به ترتیب به میزان ۲۶ و ۳۹ درصد افزایش داد. بین سایر تیمارهای آزمایشی از نظر تاثیر بر میزان عملکرد بیولوژیک در این سال تفاوت معنی‌دار وجود نداشت و میانگین‌ها در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۱۳). در سال ۱۳۹۴، در تیمار عدم حذف مخزن غلظت منیزیم در سطح ۸ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد

و میزان عملکرد بیولوژیک را از ۲۰۲۲۲ کیلوگرم در هکتار به ۳۰۲۵۰ کیلوگرم در هکتار رساند. در تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن همراه با سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم میزان عملکرد بیولوژیک به طور معنی‌داری نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش معنی‌دار دادند که مقادیر عملکرد بیولوژیک در این تیمارها از ۴۱۲۳۳ تا ۲۹۳۰۶ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (شکل ۴-۱۳).

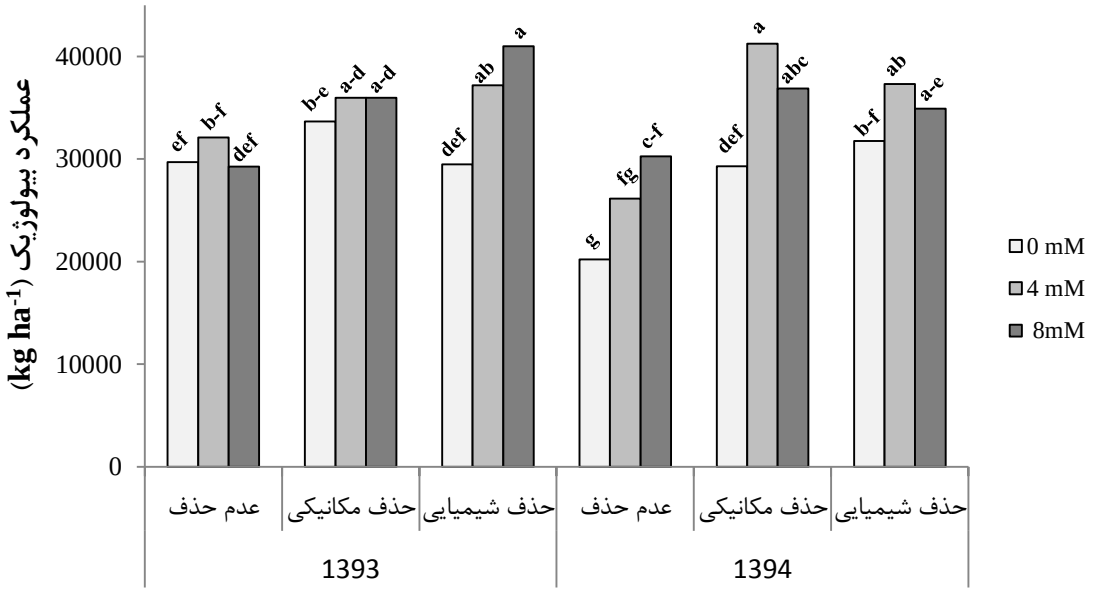
براساس این نتایج مشخص شد در سال‌های مختلف آزمایش واکنش بوته‌های سورگوم شیرین به تغذیه معدنی با منیزیم متفاوت است به‌طوری‌که در هر سال غلظت متفاوتی از این ترکیب سبب افزایش بیشتر ماده خشک گیاه و عملکرد بیولوژیک آن شده است. فومن (۱۳۸۴) معتقد است تفاوت در مقادیر صفات مورد بررسی در یک آزمایش در طی سال‌های مختلف بیانگر تاثیرپذیری این صفات در سورگوم از شرایط اقلیمی محیط آزمایش است.

نتایج این آزمایش نشان داد همراه شدن حذف مخزن با محلول‌پاشی منیزیم تاثیر تغذیه معدنی بر عملکرد بیولوژیک را بهبود بخشید. مطالعات پژوهشگران نشان داده است که حذف خوشه در سورگوم



شکل۱۲-۴. اثر متقابل سال× رقم × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان عملکرد بیولوژیک

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۱۳-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان عملکرد بیولوژیک

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

شیرین سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ و ساقه و در نتیجه وزن کل ماده خشک گیاه نسبت به شرایط شاهد می‌شود (اریکسون و همکاران، ۲۰۱۲). در مقابل شکوفا و امام (۲۰۰۸) نشان دادند که کاربرد اتفون با غلظت ۲۸۰ گرم در هکتار تاثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گندم نداشت. چاننا‌پگوپار و همکاران (۲۰۰۷) معتقدند عملکرد بیولوژیک تابعی از توان فتوسنتزی گیاه و میزان فعالیت بافت‌های فتوسنتزکننده است و هر عاملی که بر فتوسنتز گیاه تاثیرگذار باشد بر عملکرد بیولوژیک موثر است. در پژوهش حاضر نیز مشخص گردید با تاثیر حذف خوشه و کاربرد منیزیم بر میزان سطح برگ و افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ عملکرد بیولوژیک در دو رقم مورد بررسی افزایش پیدا نمود (شکل‌های ۴-۱۹ و ۴-۲۰). هرچند واکنش دو رقم به تیمارهای اعمال شده متفاوت بود. نتایج این آزمایش با یافته‌های میشرا و همکاران (۲۰۱۵) که نشان دادند عملکرد بیولوژیک در ارقام سورگوم شیرین در سطوح مختلف تغذیه معدنی واکنش‌های متفاوتی دارند همسو است. در واقع کاربرد منیزیم توانسته است ارتفاع بوته و توسعه بافت سبزینه‌ای را در بوته‌های سورگوم شیرین تحت

تاثیر قرار دهد و لذا با افزایش وزن خشک برگ‌ها موجب افزایش چشمگیر میزان ماده خشک تولیدی در گیاهان شود (یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۱). این افزایش بافت سبزینه‌ای می‌تواند کیفیت علوفه به جا مانده پس از استحصال قند را به طور محسوسی بهبود بخشد تا بتوان از آن به عنوان منبع تغذیه مطلوبی استفاده نمود.

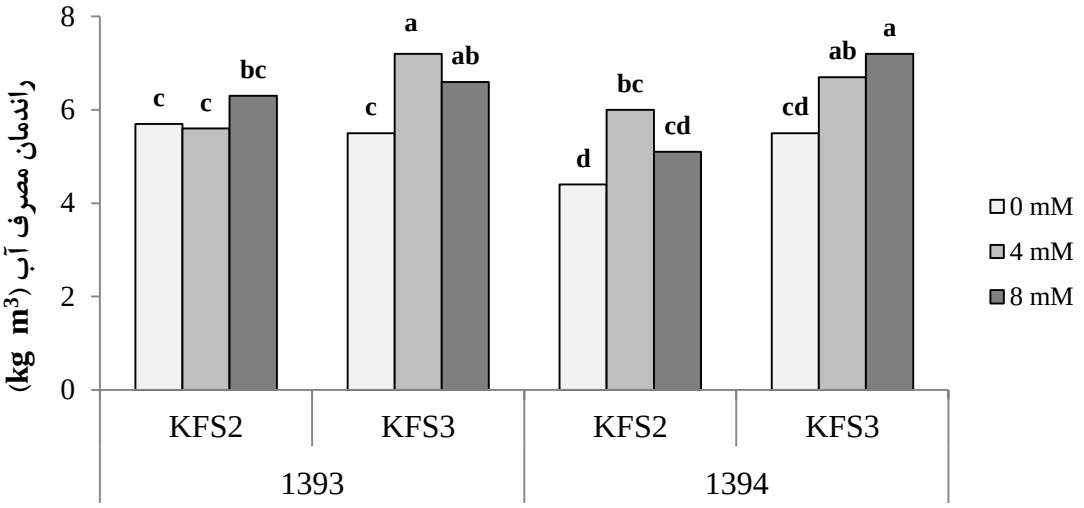
۴-۱-۷ کارایی مصرف آب (ماده خشک)

کارایی مصرف آب به صورت مقدار محصول تولیدشده به ازای واحد آب مصرف شده تعریف شده است که با واحد کیلوگرم بر متر مکعب سنجیده می‌شود (مولدن و همکاران، ۲۰۰۱). مقدار آب مصرفی از جنبه‌های مختلفی قابل تعریف است و از این‌رو کارایی مصرف آب نیز به روش‌های متفاوتی قابل محاسبه خواهد بود. در این پژوهش کارایی مصرف آب به ازای ماده خشک تولید شده و یا عملکرد بیولوژیک و نیز عملکرد قند حاصل از شیرابه سورگوم شیرین محاسبه شده است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

نتایج تجزیه مرکب داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد کارایی مصرف آب براساس میزان تولید ماده خشک به طورمعنی‌داری تحت تاثیر اثرات اصلی رقم، حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و نیز اثرات متقابل سال×رقم×محلول‌پاشی و سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۱).

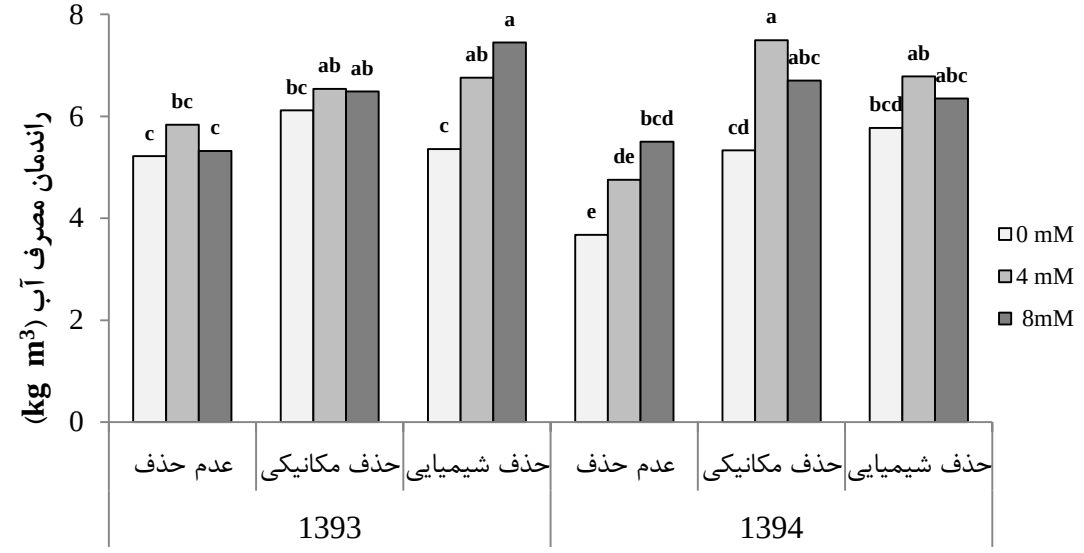
برش‌دهی اثر متقابل سال×رقم×محلول‌پاشی بر کارایی مصرف آب در شکل ۴-۱۴ نشان داد در سال ۱۳۹۳، در رقم KFS2 افزایش غلظت منیزیم در محلول‌پاشی تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت و هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم در یک گروه آماری قرار گرفتند. در رقم KFS3 محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به ترتیب به میزان ۳۱ و ۲۲ درصد شدند. در سال ۱۳۹۴،

در بین دو رقم مورد بررسی بیشترین مقادیر کـارایی مصـرف آب از تیمارهـای غلظـت ۸ میلـی‌مـولار منیزیم در رقم KFS3 (به میزان ۷/۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم در ارقام



شکل۱۴-۴. اثر متقابل سال× رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر کارایی مصرف آب (ماده خشک)

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۱۵-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر کارایی مصرف آب (ماده خشک)

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

KFS3 (۶/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و KFS2 (۶ کیلوگرم بر مترمکعب) حاصل شد که با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم سورگوم شیرین تفاوت معنی‌دار نشان دادند (شکل ۴-۱۴).

بررسی مقایسه‌های میانگین اثر متقابل سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی نشان داد در سال ۱۳۹۳، در تیمارهای عدم حذف مخزن و حذف مکانیکی مخزن افزایش غلظت منیزیم تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت و میانگین‌ها در یک سطح آماری قرار گرفتند. اما در حذف شیمیایی مخزن افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب بر حسب ماده خشک شد و میزان آن را از ۵/۴ کیلوگرم بر مترمکعب در سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به ۶/۸ و ۷/۵ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم رساند (شکل۴-۱۵). در سال ۱۳۹۴، در شرایط عدم حذف مخزن محلول‌پاشی با غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان کارایی مصرف آب را بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش داد. بین سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در این سطح حذف مخزن از نظر تاثیر بر کارایی مصرف آب تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. همچنین در این سال ترکیب تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن با هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب برحسب ماده خشک تولید شده در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شدند که مقادیر آن‌ها از ۵/۳ تا ۷/۴ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود (شکل ۴-۱۵).

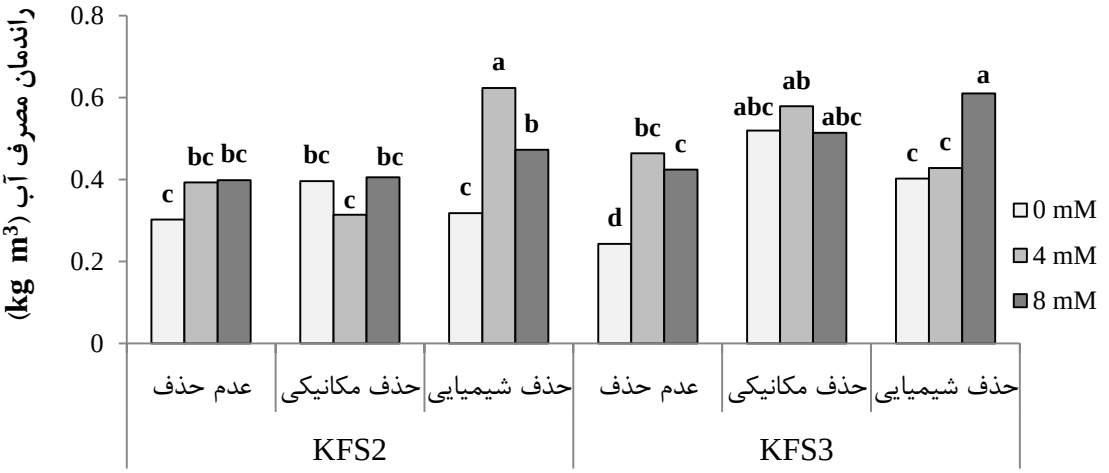
براساس نتایج کارایی مصرف آب (ماده خشک) با توجه به سال آزمایش متفاوت بود. این مسئله بیانگر تاثیر شرایط محیطی بر کارایی مصرف آب است. هرچند میزان بارندگی در دو سال مختلف این ازمایش تفاوت چندانی با یکدیگر نداشت به نظر می‌رسد عوامل دیگری در این تغییرات موثر هستند. از سوی دیگر بین ارقام مختلف از نظر تاثیر بر کارایی مصرف آب بر حسب ماده خشک تفاوت وجود داشت. اونکن و همکاران (۱۹۹۲) نیز افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب سورگوم را با توجه به نوع رقم و مقدار آب گزارش نمودند. وحیدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز با مقایسه رقم KFS3 با سایر ارقام سورگوم نشان دادند که کارایی مصرف آب در رقم KFS3 از سایر ارقام بالاتر و به میزان ۴/۳۴

کیلوگرم بر مترمکعب بود. این محققان بیان داشتند که بالا بودن کارایی مصرف آب آبیاری در رقم KFS3 نسبت به سایر ارقام به دلیل رشد اولیه سریع برگ‌ها و کاهش تبخیر از سطح خاک می‌باشد. همچنین نتایج آزمایش حاضر نشان دادند حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم بر کارایی مصرف آب تاثیر مثبت داشت که این تاثیر عمدتا از طریق بهبود شرایط رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک رخ داده است. به نظر می‌رسد چون سورگوم در گروه گیاهان چهار کربنه قرار دارد از توان تولید و ماده خشک بالایی برخوردار است و بر این اساس کارایی مصرف آب بالاتری نیز دارد.

۴-۱-۸ کارایی مصرف آب (عملکرد قند)

براساس نتایج تجزیه مرکب آزمایش اثر اصلی سال، نیز اثر دوگانه رقم×حذف مخزن و حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد و اثرات اصلی رقم، حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم و اثر سال×حذف مخزن و اثر سه‌گانه رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی و نیز اثر چهارگانه عوامل آزمایش در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد قند در سورگوم شیرین معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱).

بررسی مقایسه‌های میانگین اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم نشان داد در رقم KFS2 و در تیمارهای عدم حذف مخزن و حذف مکانیکی مخزن بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم از نظر تاثیر بر کارایی مصرف آب براساس عملکرد قند تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (شکل ۴-۱۶). در مقابل در این رقم حذف شیمیایی مخزن همراه با محلول‌پاشی غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش قابل ملاحظه کارایی مصرف آب شد که با سایر تیمارها در این رقم تفاوت معنی‌دار داشت. در رقم KFS3، در تیمار عدم حذف مخزن غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. در تیمارهای حذف



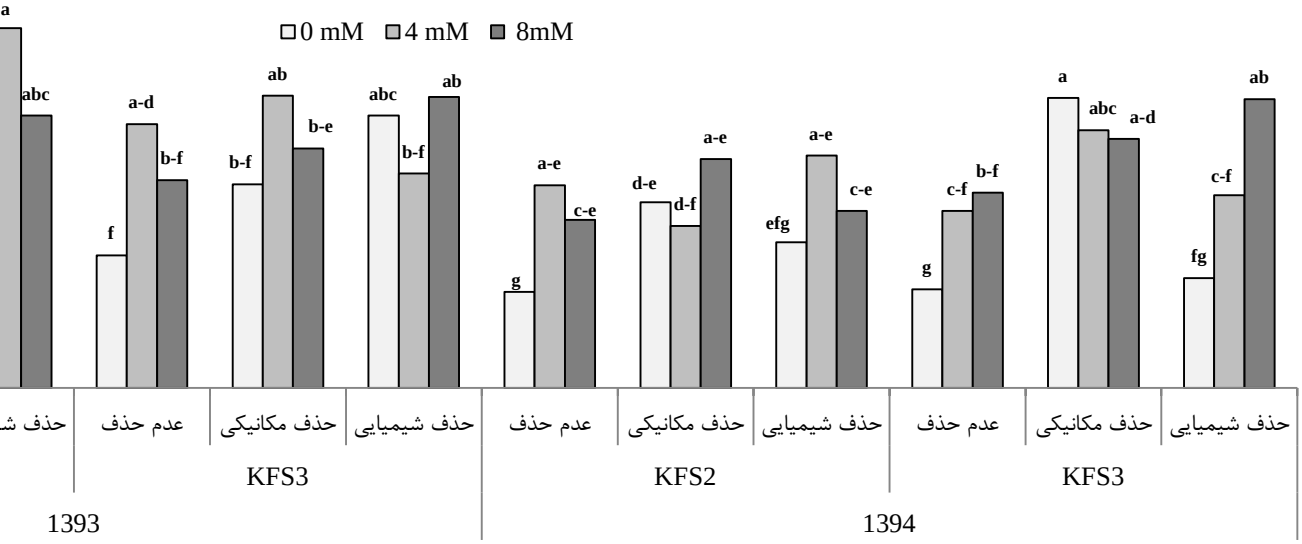
شکل۱۶-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان مصرف آب (عملکرد قند)

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

مکانیکی و شیمیایی مخزن محلول‌پاشی هر سه سطح منیزیم منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. مقادیر کارایی مصرف آب در این تیمارها از ۰/۴ کیلوگرم بر متر مکعب تا ۰/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود (شکل ۴-۱۶). برش‌دهی اثر متقابل چهارگانه عوامل آزمایش بر کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد قند در شکل ۴-۱۷ آمده است. براساس نتایج در سال ۱۳۹۳، در رقم KFS2 تیمار حذف شیمیایی مخزن و غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب با مقادیر ۰/۷۵ و ۰/۵۷کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بودند. در این سال و در رقم KFS3 بیشترین کارایی مصرف آب از غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم در تیمارهای حذف مکانیکی مخزن و عدم حذف مخزن و نیز سطح صفر و ۸ میلی‌مولار منیزیم در تیمار حذف شیمیایی بدست آمد. در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 به جز تیمار حذف شیمیایی مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم سایر ترکیب تیمارهای محلول‌پاشی منیزیم و حذف مخزن میزان کارایی مصرف آب را در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (۰/۲۱کیلوگرم بر مترمکعب) و تیمار حذف شیمیایی مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (۰/۲۳کیلوگرم بر مترمکعب) به طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۴-۱۷). در رقم KFS3 در تیمارهای عدم حذف مخزن و نیز حذف شیمیایی مخزن با افزایش غلظت منیزیم از

سطح صفر محلول‌پاشی به سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان کارایی مصرف آب افزایش معنی‌دار یافت. در تیمار حذف مکانیکی مخزن هرچند بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد ولی این تیمارها با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم اختلاف معنی‌دار نشان دادند.

کارایی مصرف آب اساسا صفتی است که از توانایی گیاه برای تولید بالقوه مشتق شده است و ممکن است با شرایط محیطی برهمکنش داشته باشد (هال و همکاران، ۱۹۹۴). گنگ و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند رشد و توسعه ریشه سورگوم شیرین به نحوی است که می‌تواند در شرایط تنش خشکی، آب را از عمق ۲۷۰ سانتی‌متری جذب نماید بدون آنکه میزان عملکرد آن در مقایسه با ذرت، چغندر قند و چغندر علوفه‌ای کاهش یابد. ردی و همکاران (۲۰۰۷) بیان داشتند که سورگوم شیرین برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک نیاز به ۳۱۰ کیلوگرم آب دارد در حالی که این میزان در مورد ذرت ۳۷۰ کیلوگرم آب به ازای تولید یک کیلوگرم ماده خشک است. همانگونه که در نتایج آزمایش حاضر نیز مشاهده شد توانایی دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی در جذب آب و نیز استفاده از سیستم آبیاری تیپ در کنار حذف مخزن و استفاده از محلول‌پاشی منیزیم کارایی مصرف آب را به طور معنی‌داری افزایش داد که در شرایط کمبود منابع آبی کشور در بخش کشاورزی بسیار قابل توجه است.



شکل ۱۷-۴. اثر متقابل سال× رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان مصرف آب (عم

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌د

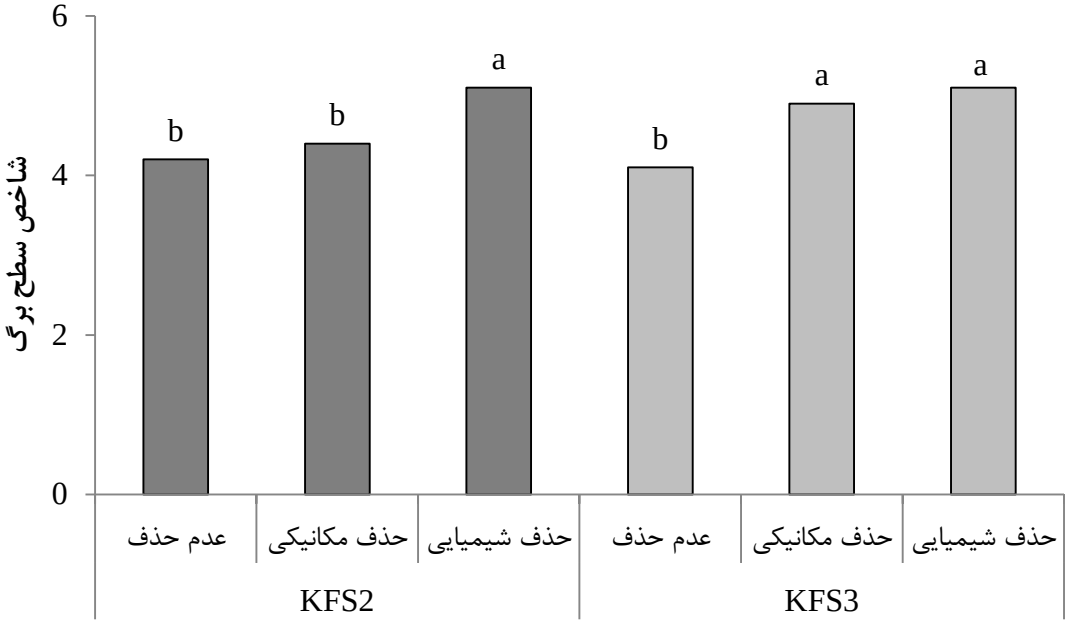
۴-۲ صفات فیزیولوژیک

۴-۲-۱ شاخص سطح برگ (LAI)

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد شاخص سطح برگ به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی سال آزمایش، حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل رقم×حذف مخزن، حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثر سه‌گانه سال× حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۲).

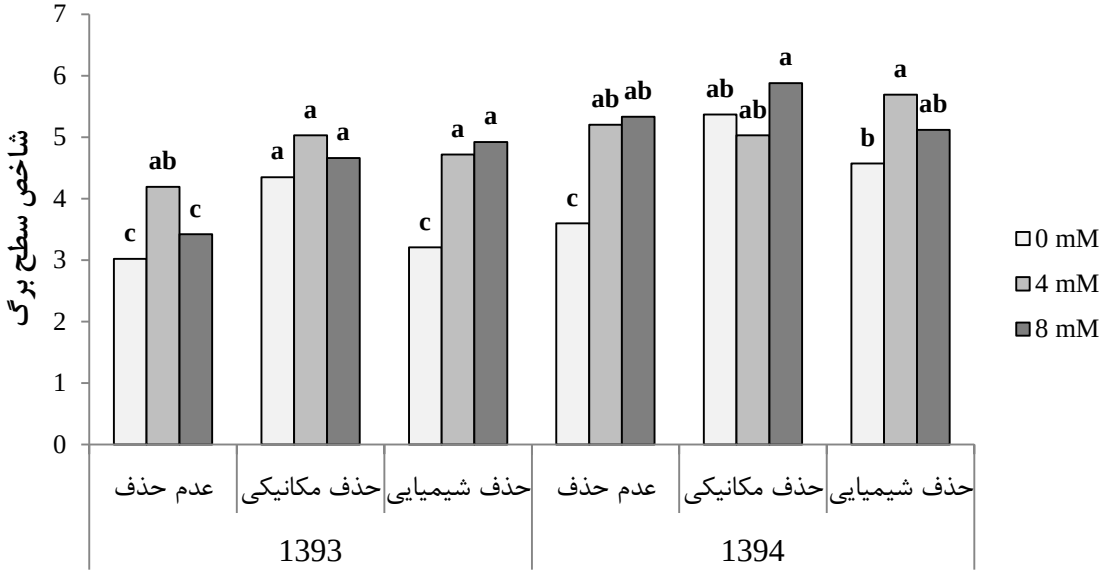
براساس برش‌دهی اثرات متقابل، در رقم KFS2 حذف شیمیایی مخزن و در رقم KFS3 حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن به طور معنی‌داری شاخص سطح برگ را نسبت به سطح عدم حذف مخزن افزایش دادند (شکل ۴-۱۸). مقایسه میانگین اثرات متقابل در شکل ۴-۱۹ نشان داد در سال ۱۳۹۳، عدم حذف مخزن و سطوح صفر و ۸ میلی‌مولار منیزیم و نیز حذف شیمیایی مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم کمترین مقدار شاخص سطح برگ را به ترتیب با مقادیر ۳/۰۲، ۳/۴۲ و ۳/۲۱ داشتند. سایر تیمارها با اختلاف معنی‌داری نسبت به این تیمارها در گروه آماری دیگر قرار گرفتند. در سال ۱۳۹۴، تمام تیمارهای آزمایش میزان شاخص سطح برگ را نسبت به تیمارعدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به طور معنی‌داری افزایش دادند که این افزایش از ۲۷ تا ۶۱ درصد متغیر بود (شکل ۴-۱۹).

شاخص سطح برگ، میزان جذب فوتون نوری، فتوسنتز، تخصیص مواد فتوسنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد (تسیالتاس و ماسلاریس، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر حذف مخزن به صورت شیمیایی و مکانیکی سبب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ شد. شکوفا و امام (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که استفاده از اتفون شاخص سطح برگ در گندم را به طور معنی‌داری از ۳/۶ به ۴/۶ افزایش داد که سبب افزایش تجمع ماده خشک در گیاه شد. سایر محققان نیز نشان دادند که



شکل ۱۸-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن بر شاخص سطح برگ

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس روش برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۱۹-۴. اثر متقابل سال×حذف مخزن× محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

حذف خوشه در سورگوم شیرین در مرحله گلدهی پایداری سطح برگ را افزایش مـی‌دهـد و گیـاه در بازه زمانی بیشتری در طول فصل رشد امکان فتوسنتز حداکثری را دارد (فـراریس، ۱۹۸۱a). در واقـع پتانسیل فتوسنتزی و توان رشد گیاهان وابسته به سطح برگ می‌باشد و از آنجا کـه حـذف خوشـه در مرحله‌ای از رشد صورت گرفته است که توسعه برگ‌های جوان در انتهای ساقه به پایان نرسیده است لذا حذف اندام زایشی هم به صورت مکانیکی و هم شیمیایی در مقایسه با تیمارهای عدم حذف مخزن سبب توزیع مناسب‌تر نور در داخل سایه‌انداز بوته‌های سورگوم شیرین شده و سطح بـرگ و در ادامـه میزان فتوسنتز گیاه را افزایش داده است.

با اعمال تیمارهای حذف مخزن میزان شاخص سطح برگ در هر رقم سورگوم شیرین افزایش یافـت و در این بین محلول‌پاشی با منیزیم نیز رشد و توسعه برگی در دو رقم سورگوم شیرین را بهبود بخشید. شریفی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی سه رقم مختلف سورگوم نشان دادند که سطح برگ در سورگوم به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر عوامل تغذیه‌ای قرار می‌گیرد. افزایش سطح برگ با محلول‌پاشی منیـزیم در سایر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۳).

۴-۲-۲ سطح ویژه برگ (SLA)

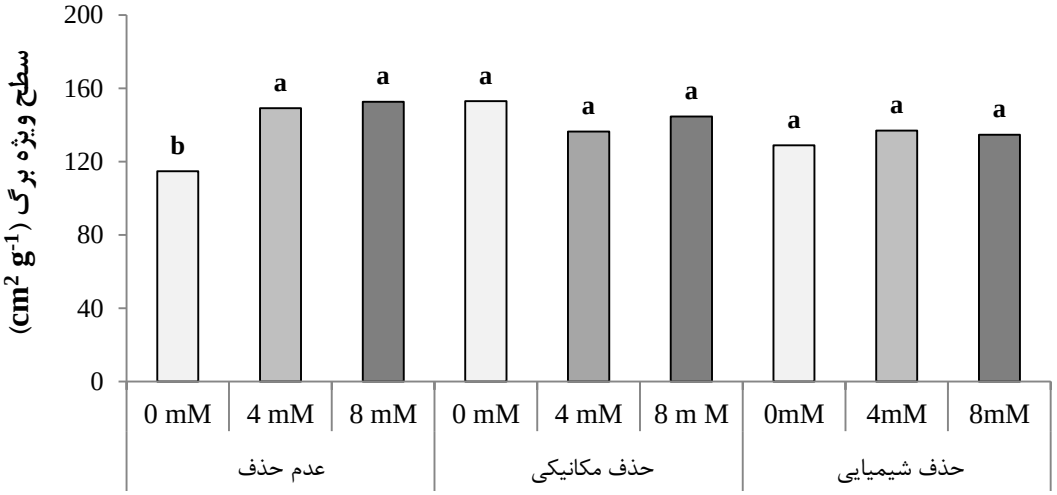
نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد اثر اصلی سال آزمایش و سال×رقم×محلـول‌پاشـی در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی رقم و سال×رقم، حذف مخـزن×محلـول‌پاشـی منیـزیم در سـطح احتمال پنج درصد بر سطح ویژه برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست ۲).

بررسی میانگین‌های حاصل از برش‌دهی اثر متقابل حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم در شـکل ۴-۲۰ نشان داد با محلول‌پاشی منیزیم در تیمار عدم حذف مخزن میزان سطح ویژه برگ افـزایش معنـی‌دار یافت به‌طوری‌که میزان سطح ویژه برگ در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم بـه ترتیـب ۲۹/۹ و ۳۳/۱ درصد بیش از سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم بود. در مقابل در تیمارهـای حـذف شـیمیایی و حـذف مکانیکی مخزن تفاوت معنی‌داری در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم مشاهده نشد و تیمارهـا

در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۲۰). براساس مقایسه‌های میانگین در سال ۱۳۹۳، اثر محلول‌پاشی منیزیم بر میزان سطح ویژه برگ در رقم KFS2 معنی‌دار نبود و مقادیر این صفت در هر سه سطح منیزیم یکسان بود. در مقابل در رقم KFS3 با افزایش غلظت منیزیم میزان سطح ویژه برگ به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. در این رقم غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم با مقدار ۱۳۰/۷ سانتی‌مترمربع بر گرم وزن خشک برگ بیشترین و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به میزان ۹۵/۱ سانتی‌مترمربع بر گرم وزن خشک برگ کمترین میزان سطح ویژه برگ را داشتند (شکل ۴-۲۱). در سال ۱۳۹۴، افزایش غلظت منیزیم در رقم KFS2 سبب افزایش و در رقم KFS3 موجب کاهش سطح ویژه برگ شد هرچند این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبود.

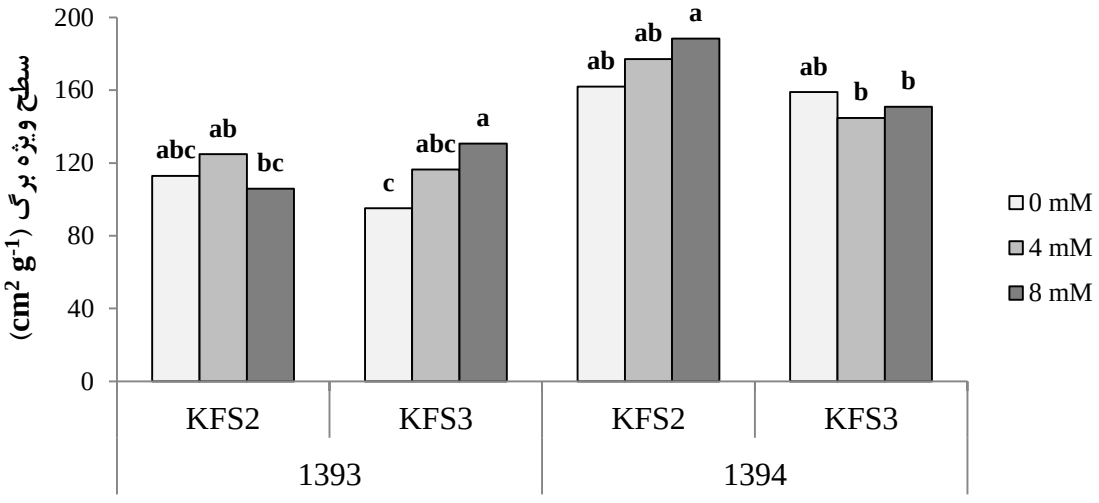
تغییر در روند تاثیر محلول‌پاشی با منیزیم بر میزان سطح ویژه برگ ناشی از تاثیر شرایط محیطی بر این تیمار آزمایشی در سال‌های مختلف آزمایش است. همچنین مطالعات نشان داده است عامل اصلی اثرگذار بر سطح ویژه برگ وضعیت عناصر معدنی برگ است چرا که عناصر معدنی کافی اجازه می‌دهند هم برگ‌های پیر و هم برگ‌های جوان نیاز خود به عناصر غذایی را تامین کنند و لذا شدت فتوسنتز در برگ‌های مسن‌تر کاهش نیابد (گاردنر و همکاران، ۱۹۹۰).

از سوی دیگر نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن تغییر در غلظت منیزیم تاثیری بر سطح ویژه برگ نداشت. به نظر می‌رسد اعمال تیمارهای حذف مخزن علاوه بر تاثیر بر تولید کربوهیدرات‌های ساختاری و افزایش سطح برگ همانگونه که در نتایج شاخص سطح برگ مشاهده شد، بر افزایش وزن خشک برگ نیز تاثیر گذاشته که سبب عدم وجود تفاوت معنی‌دار شده است. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران که بر تنوع تاثیر مدیریت مخزن بر تغییر میزان SLA تاکید دارند مطابقت دارد (لافارژ و هامر، ۲۰۰۲).



شکل ۲۰-۴. اثرمتقابل حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان سطح ویژه برگ

در هر سطح حذف مخزن، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۲۱-۴. اثر متقابل سال× رقم× محلول‌پاشی بر میزان سطح ویژه برگ

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۴-۲-۳ نسبت سطح برگ (LAR)

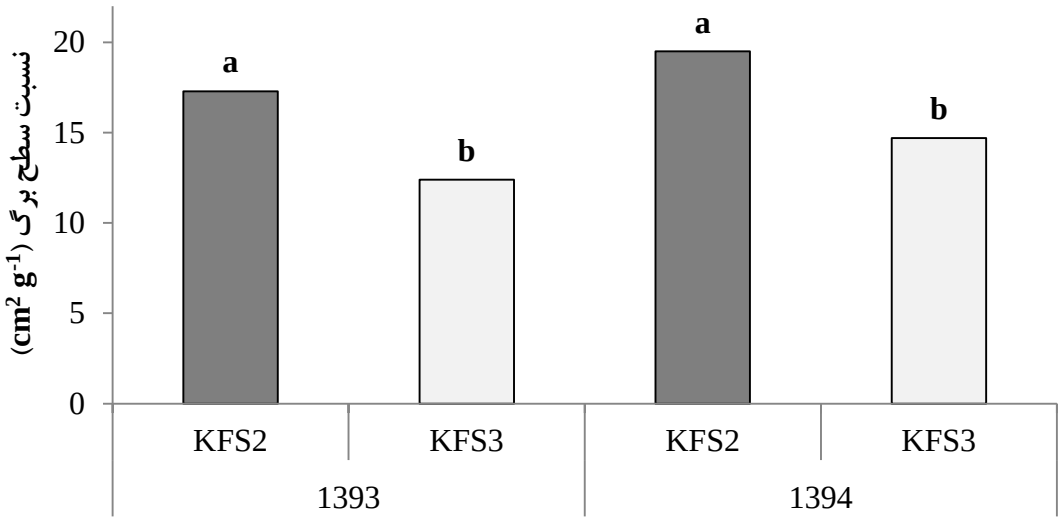
نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد میزان نسبت سطح برگ به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرات اصلی سال آزمایش و رقم و اثر متقابل سال× رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم×حذف مخزن و سال×حذف مخزن در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. همچنین اثر اصلی محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل آن با سایر عوامل آزمایش بر نسبت سطح برگ معنی‌دار نبود (جدول پیوست۲).

برش‌دهی اثر متقابل سال×رقم در شکل ۴-۲۲ نشان داد در سال ۱۳۹۳، رقم KFS2 اختلاف معنی‌داری از نظر نسبت سطح برگ با رقم KFS3 داشت به‌طوری‌که میزان این صفت در رقم KFS2 در حدود ۴۰ درصد بیشتر بود. در سال ۱۳۹۴، نیز روند مشابهی مشاهده شد به‌طوری‌که نسبت سطح برگ در رقم KFS2 به‌طور معنی‌داری از رقم KFS3 بیشتر بود (به ترتیب با مقادیر ۱۹/۵ و ۱۴/۷ سانتی‌متر مربع بر گرم وزن خشک گیاه).

براساس مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۲۳، در رقم KFS2 حذف شیمیایی مخزن سبب کاهش معنی‌دار نسبت سطح برگ در مقایسه با عدم حذف مخزن شد. بین حذف مکانیکی مخزن و عدم حذف مخزن از نظر تاثیر بر نسبت سطح برگ تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در مقابل در رقم KFS3 تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف حذف مخزن از نظر نسبت سطح برگ وجود نداشت و میانگین‌ها در یک سطح آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۲۳).

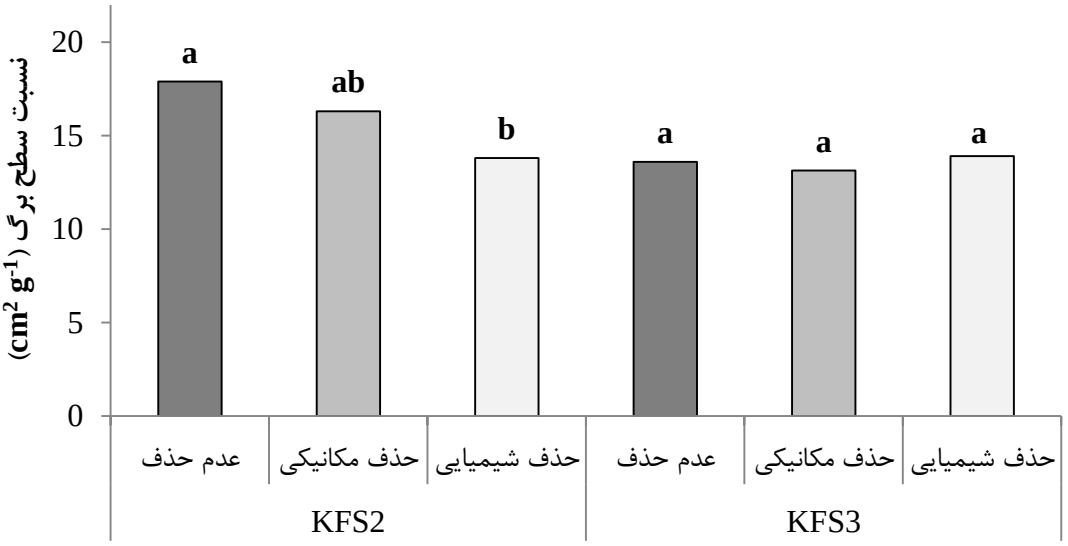
بررسی مقایسه‌های میانگین اثر متقابل سال×حذف مخزن نشان داد در سال ۱۳۹۳، حذف مخزن به روش مکانیکی و شیمیایی سبب کاهش معنی‌دار نسبت سطح برگ شد و میزان آن را از ۱۶/۵ سانتی‌متر مربع بر گرم در سطح عدم حذف مخزن به میزان ۱۳/۵ و ۱۲ سانتی‌مترمربع بر گرم به ترتیب در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن کاهش داد. در سال ۱۳۹۴، نیز اعمال تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن سبب کاهش معنی‌دار نسبت سطح برگ در مقایسه با سطح عدم حذف مخزن به ترتیب به میزان ۲۳/۸ و ۲۶/۳ درصد شد (شکل۴-۲۴).

در واقع LAR از دو جزء تشکیل شده است یکی نسبت وزن برگ (LWR) که از نسبت وزن خشک برگ به وزن خشک کل بدست می‌آید و دیگری سطح برگ ویژه (SLA) که نشان دهنده نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ است. میزان LAR می‌تواند با تغییر میزان تسهیم مواد فتوسنتزی و یا ضخامت برگ تغییر پیدا کند. پایداری LAR در شرایط مختلف رشد و فراهم بودن مواد فتوسنتزی به پایداری دو جزء آن یعنی LWR و SLA بستگی دارد (دینگکوهن و ساو،۱۹۹۷). کاهش نسبت سطح برگ در دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی و در دو سال آزمایش نشان دهنده تغییر در تسهیم مواد فتوسنتزی در نتیجه اعمال تیمارهای حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن است. براساس نتایج آزمایش حاضر تیمارهای حذف مخزن سبب افزایش شاخص سطح برگ و سطح ویژه برگ شدند اما نسبت سطح برگ را کاهش دادند. این تغییر شاخص‌ها نشان می‌دهد که این تیمارها بیشتر از آنکه بر افزایش سطح فتوسنتزکننده تاثیرگذار باشند بر کارایی فتوسنتزی و تجمع ماده خشک در گیاه به ویژه در ساقه‌های سورگوم شیرین اثر داشته‌اند که در نتایج مربوط به وزن خشک ساقه نیز قابل مشاهده بود. به این ترتیب افزایش بیشتر وزن خشک گیاه که به صورت عملکرد بیولوژیک نیز بیان می‌شود سبب شده است تا نسبت سطح برگ در این تیمارها کاهش یابد. از سوی دیگر بین دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی نیز تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر نسبت سطح برگ مشاهده شد که بیانگر تاثیر فرآیندهای ژنتیکی در کنار تغییرات محیطی بر این صفت است. سوزل و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند بین ارقام مختلف ذرت از نظر شاخص نسبت سطح برگ تفاوت معنی‌دار وجود دارد. این محققان معتقدند توانایی رقم در حفظ طولانی‌تر اندام‌های فتوسنتزکننده و نیز سرعت بالای انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به سایر اندام‌ها عامل اصلی تغییر در نسبت سطح برگ است (شکل۴-۲۳).



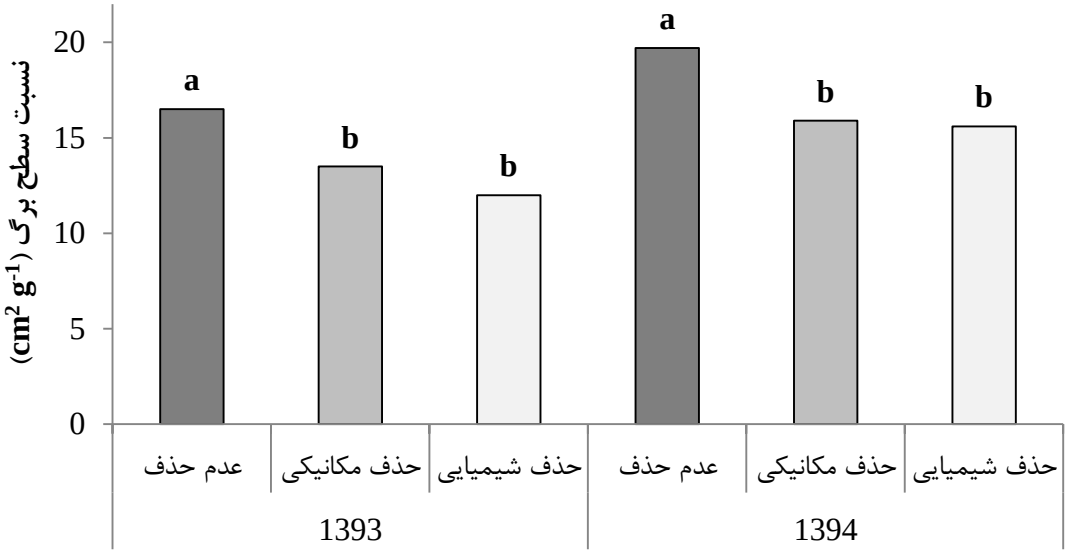
شکل۲۲-۴. اثر متقابل سال× رقم بر نسبت سطح برگ

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



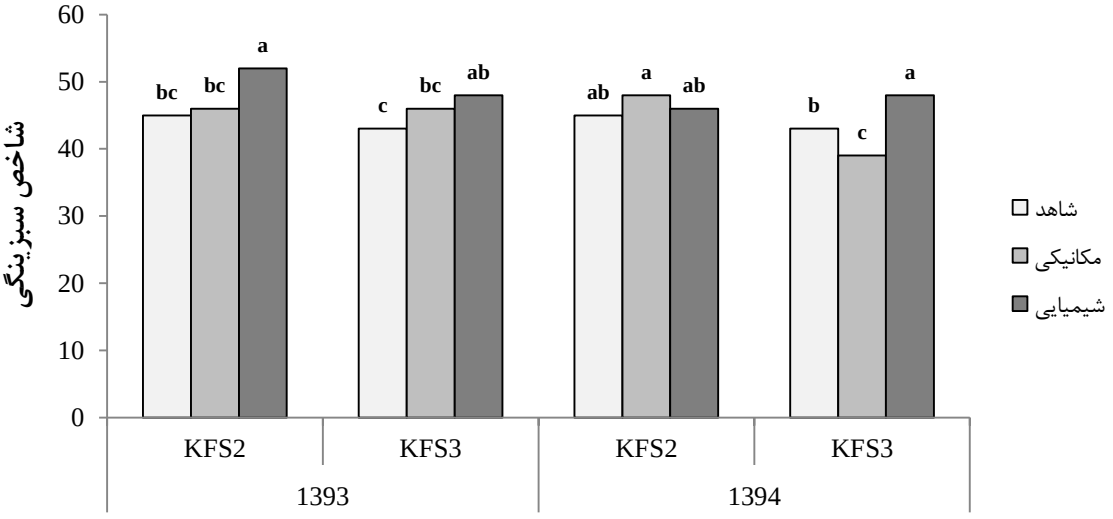
شکل۲۳-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن بر نسبت سطح برگ

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۲۴-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن بر شاخص سطح برگ

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۲۵-۴. اثر متقابل سال× رقم× حذف مخزن بر شاخص سبزینگی

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

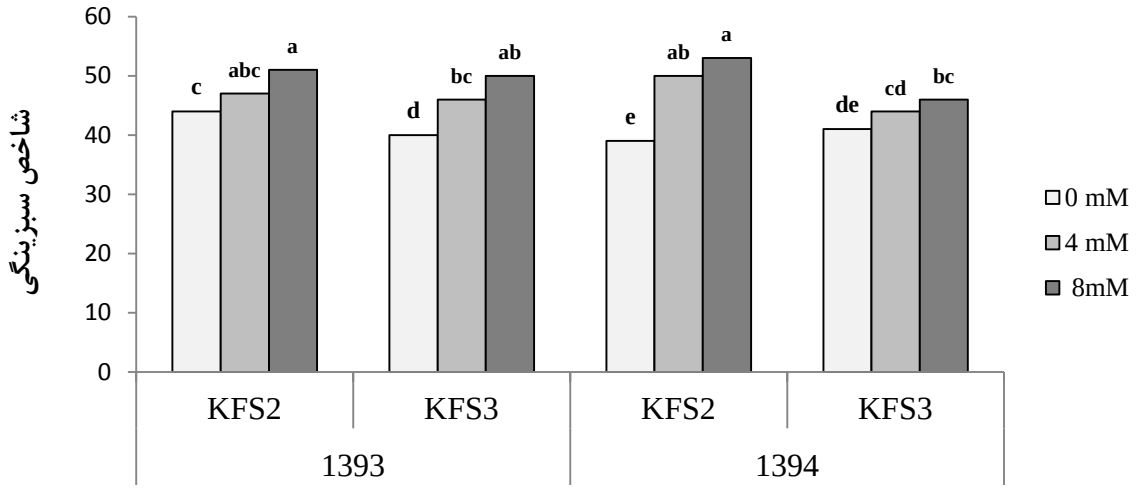
۴-۲-۴ شاخص سبزینگی (SPAD)

براساس نتایج، اثر اصلی سال و اثر متقابل سال×حذف مخزن × محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم، حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم و نیز اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن و سال×رقم × محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سبزینگی معنی‌دار بود (جدول پیوست ۲).

مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۲۵ نشان داد در سال ۱۳۹۳، در هر دو رقم KFS2 و KFS3 حذف شیمیایی مخزن، شاخص سبزینگی را به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم حذف مخزن افزایش داد اما بین حذف مکانیکی مخزن و عدم حذف مخزن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سال ۱۳۹۴، بین سطوح حذف در رقم KFS2 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما در رقم KFS3 شاخص سبزینگی در حذف مکانیکی مخزن کاهش و در حذف شیمیایی مخزن افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل ۴-۲۵). بررسی مقایسات میانگین در شکل ۴-۲۶ نشان داد در سال ۱۳۹۳، افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان شاخص سبزینگی شد به‌طوری‌که بیشترین میزان این شاخص در تیمار محلول‌پاشی با ۸ میلی‌مولار منیزیم در هر دو رقم سورگوم شیرین مشاهده شد که نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین سطح ۴ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS3 نیز میزان شاخص سبزینگی را به میزان ۱۵ درصد نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در همین رقم افزایش معنی‌دار داد. بین سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در هر دو رقم تفاوت آماری مشاهده نشد (شکل ۴-۲۶). در سال ۱۳۹۴، نیز افزایش غلظت منیزیم شاخص سبزینگی را به طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۴-۲۶). براین اساس بیشترین میزان شاخص سبزینگی به ترتیب به میزان ۵۳ و ۵۰ واحد از سطوح ۸ و ۴ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS2 و کمترین مقدار آن از سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به میزان ۴۱ واحد در رقم KFS3 و ۳۹ واحد در رقم KFS2 بدست آمد. بین میزان شاخص سبزینگی در سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در هر رقم به صورت مجزا تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

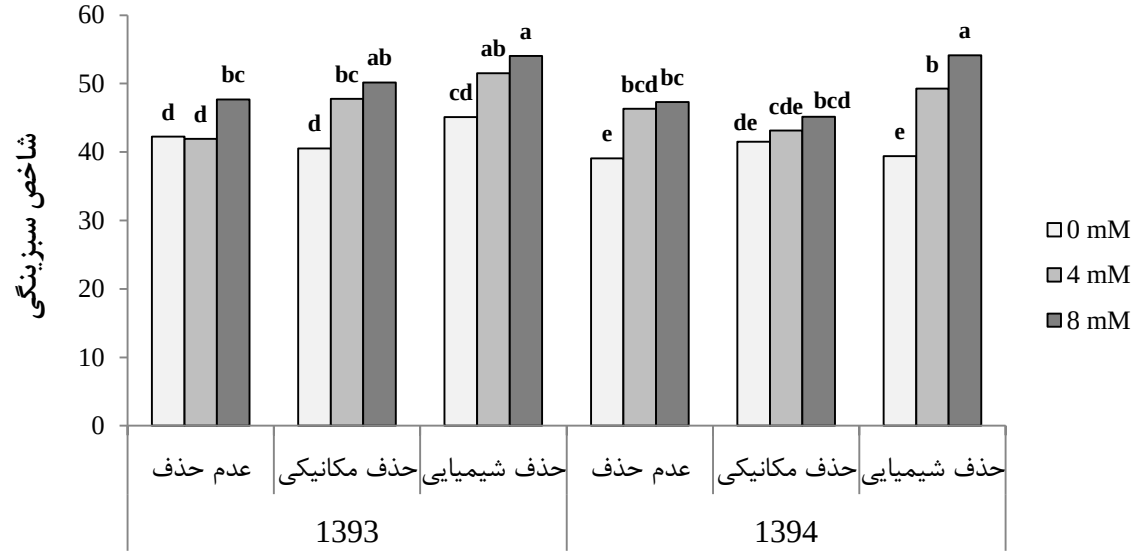
براساس نتایج مقایسه میانگین در شکل۴-۲۷، در سال ۱۳۹۳، در سطح عدم حذف مخزن محلول‌پاشی منیزیم با غلظت ۸ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی در مقایسه با سطوح صفر و ۴ میلی‌مولار منیزیم شد. در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان شاخص سبزینگی شد. بر این اساس بیشترین میزان این صفت از تیمار ۸ و۴ میلی‌مولار منیزیم در حذف شیمیایی مخزن و ۸ میلی‌مولار منیزیم در حذف مکانیکی مخزن بدست آمد که به ترتیب میزان شاخص سبزینگی را نسبت به عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم ۲۷/۹، ۲۱/۹ و ۱۸/۸ درصد افزایش دادند. در سال ۱۳۹۴، در سطح عدم حذف مخزن محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان شاخص سبزینگی را نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش معنی‌دار دادند. در حذف مکانیکی مخزن بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم از نظر تاثیر بر شاخص سبزینگی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. هرچند حذف مکانیکی مخزن و غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم اختلاف معنی‌دار داشت. در حذف شیمیایی مخزن، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم (به ترتیب با مقادیر ۵۴/۲ و ۴۹/۳) سبب افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (با مقدار ۳۹/۴) در این سطح حذف مخزن شدند.

براساس نتایج آزمایش حاضر شاخص سبزینگی در دو رقم سورگوم شیرین در سال‌های مختلف آزمایش متفاوت بود. سوبرامانیان (۲۰۱۳) نیز با مطالعه ۷۸ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان داد که شاخص سبزینگی در این ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر محیط آزمایش قرار می‌گیرد و مقادیر این صفت می‌تواند از ۳۶ تا ۶۰ واحد متغیر باشد. اویر و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی ارتباط بین شاخص سبزینگی و عملکرد قند در بین ارقام مختلف سورگوم شیرین بیان داشتند که با استفاده از شاخص سبزینگی و تعیین آن در مراحل مختلف رشد می‌توان زمان رسیدن گیاه به حداکثر میزان ذخیره قند را تعیین نمود و بر مبنای آن اقدام به برداشت نمود.



شکل۲۶-۴. اثر متقابل سال×رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر شاخص سبزینگی

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۲۷-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان شاخص سبزینگی

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

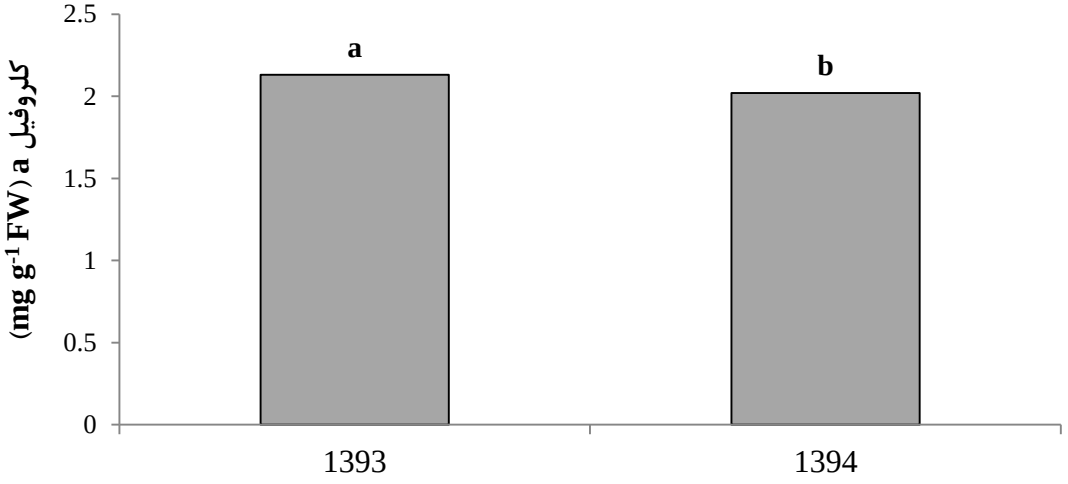
از سوی دیگر محلول‌پاشی منیزیم بر افزایش شاخص سبزینگی موثر بود. افزایش میزان شاخص سبزینگی با استفاده از محلول‌پاشی منیزیم در چغندرقند (بارلوگ و گرزبیز، ۲۰۰۱) نیز گزارش شده است. جزک و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند با محلول‌پاشی منیزیم در گیاهانی که در شرایط کمبود شدید این عنصر قرار دارند میزان شاخص سبزینگی می‌تواند تا سطح بوته‌های طبیعی افزایش یابد که این فرآیند با فعال شدن کمپلکس متصل کننده منیزیم به هسته مرکزی ساختار کلروفیل امکان‌پذیر است. در آزمایش حاضر حذف شیمیایی مخزن با استفاده از اتفون تاثیر مثبتی بر شاخص سبزینگی داشت. کاروالهو وهمکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند با کاربرد ترکیباتی مشابه اتفون، میزان شاخص سبزینگی می‌تواند از ۲۲/۲ درصد تا ۲۹/۵ درصد افزایش یابد که با افزایش میزان کلروفیل در گیاه میزان فتوسنتز و در نتیجه میزان ماده خشک گیاه افزایش پیدا خواهد کرد.

۴-۲-۵ رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد میزان کلروفیل a به طور معنی‌داری تحت تاثیر سال آزمایش و اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثرات اصلی حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم و اثر دوگانه رقم×محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول پیوست ۲).

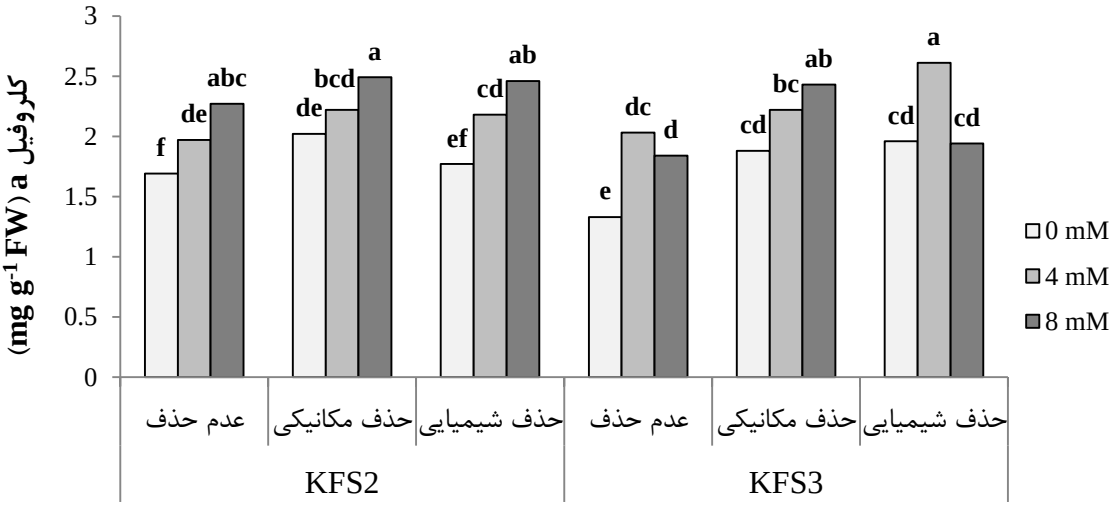
مقایسه‌های میانگین اثر اصلی سال آزمایش نشان داد که در سال اول آزمایش میزان کلروفیل a به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار این صفت در سال دوم آزمایش بود که بیانگر تاثیر شرایط محیطی بر میزان کلروفیل a در برگ‌های سورگوم شیرین است (شکل ۴-۲۸).

براساس برش‌دهی اثرات متقابل در شکل ۴-۲۹ در رقم KFS2، افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a در هر سطح حذف مخزن شد. به این ترتیب بیشترین میزان کلروفیل a از غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم در هر سه سطح حذف مخزن و کمترین مقدار این صفت از سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم و عدم حذف و حذف شیمیایی مخزن به‌دست آمد.



شکل۲۸-۴. اثر سال آزمایش بر میزان کلروفیل a

حروف یکسان بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۲۹-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل a

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

در این رقم غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم نیز در هر سطح حذف مخزن میزان کلروفیل a را نسبت به عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به طور معنی‌داری افزایش دادند اما نسبت به سطح ۸ میلی‌مولار منیزیم در گروه آماری پایین‌تری قرار گرفتند. تاثیر حذف شیمیایی مخزن و محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل a در رقم KFS3 متفاوت بود (شکل ۴-۲۹). در این رقم تنها در حذف مکانیکی مخزن با افزایش غلظت منیزیم میزان کلروفیل a افزایش یافت درحالی‌که در سطح عدم حذف مخزن میزان کلروفیل a تا سطح ۴ میلی‌مولار منیزیم افزایش معنی‌دار و سپس در سطح ۸ میلی‌مولار منیزیم کاهش یافت. در حذف شیمیایی مخزن نیز روند مشابهی مشاهده شد به‌طوری‌که بین سطح ۸ میلی‌مولار و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در بین تمام تیمارهای حذف مخزن و محلول‌پاشی در رقم KFS3، بیشترین میزان کلروفیل a از حذف شیمیایی مخزن و محلول‌پاشی با ۴ میلی‌مولار منیزیم و حذف مکانیکی مخزن و محلول‌پاشی با ۸ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب با مقادیر ۲/۶۱ و ۲/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر بدست آمد. کمترین میزان کلروفیل a نیز در تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم مشاهده شد (۱/۳۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد اثر رقم، محلول‌پاشی منیزیم و اثر سه‌گانه رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی حذف مخزن و اثرات متقابل سال×رقم، رقم×محلول‌پاشی و سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول پیوست ۲).

بررسی مقایسه‌های میانگین اثر متقابل سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی نشان داد در سال ۱۳۹۳ آزمایش، در تیمار عدم حذف مخزن افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیلb در برگ‌های سورگوم شیرین شد به‌طوری‌که سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم تفاوت معنی‌دار داشتند. همچنین حذف مکانیکی مخزن همراه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم و ۸ میلی‌مولار منیزیم و نیز حذف شیمیایی مخزن همراه با محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸

میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل b در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد (شکل ۴-۳۰). در سال ۱۳۹۴، در شرایط حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان کلروفیل b را به طور معنی‌داری نسبت به سطح صفر منیزیم در هر سه سطح حذف مخزن افزایش نشان داد. بین غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر میزان کلروفیل b در هر دو سال آزمایش مشاهده نشد.

براساس نتایج اثر سه‌گانه رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم میزان کلروفیل b را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول پیوست ۲). براساس مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۳۱ در رقم KFS2، به جز تیمار حذف شیمیایی مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم سایر تیمارها میزان کلروفیل b را نسبت به عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش معنی‌دار دادند که مقادیر آن از ۰/۸۴ تا ۱/۰۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر متغیر بود. در رقم KFS3 ، به جز تیمار حذف مکانیکی مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (۰/۷۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و نیز عدم حذف مخزن و سطح ۴ میلی‌مولار منیزیم (۰/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) که در گروه آماری پایین‌تری قرار گرفتند، سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثر حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل رقم×محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان کاروتنوئیدهای برگ در سورگوم شیرین معنی‌دار بود. اما سال آزمایش به تنهایی یا در ترکیب با تیمارهای دیگر تاثیری بر این صفت نداشت (جدول پیوست ۲). بر این اساس داده‌های هر سال به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج تجزیه واریانس مجزای سال‌های آزمایش در جدول پیوست ۵ آمده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در سال ۱۳۹۳ نشان داد اثر اصلی حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل رقم ×محلول‌پاشی بر میزان کاروتنوئیدهای برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود

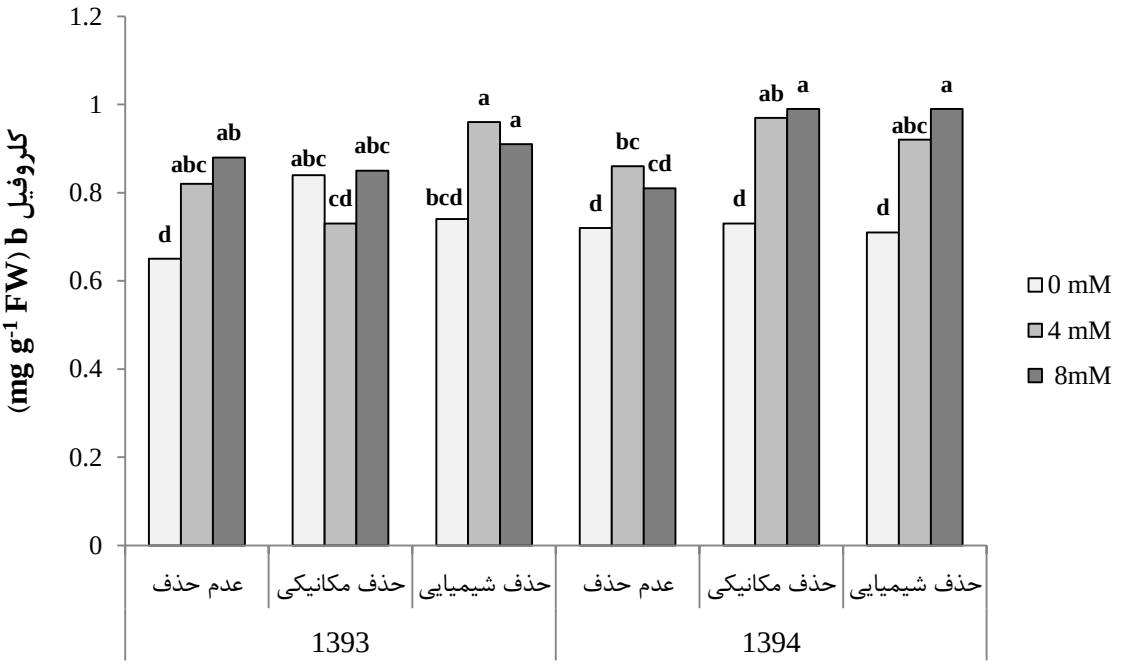
(جدول پیوست ۵). براساس مقایسه‌های میانگین در شکل۴-۳۲، حذف شیمیایی مخزن در سال ۱۳۹۳میزان کاروتنوئیدهای موجود در برگ را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با عدم حذف مخزن به میزان ۱۵ درصد افزایش داد. در این سال بین حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن از نظر تاثیر بر میزان کاروتنوئیدها تفاوت معنی‌دار وجود نداشت.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رقم×محلول‌پاشی منیزیم در سال ۱۳۹۳ نشان داد در رقم KFS2 محلول‌پاشی با غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئیدهای برگ در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. بین سطح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم از نظر تاثیر بر این صفت تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۴-۳۳). در رقم KFS3 محلول‌پاشی با غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان کاروتنوئیدهای برگ را به طور معنی‌داری افزایش داد. در این رقم نیز بین دو سطح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم از نظر تاثیر بر میزان کاروتنوئیدها تفاوت آماری مشاهده نشد.

تجزیه واریانس نتایج آزمایش در سال ۱۳۹۴ نشان داد میزان کاروتنوئیدهای برگ به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر حذف مخزن و اثر متقابل رقم×حذف مخزن و نیز رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال پنج درصد و اثر محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل رقم×محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۵).

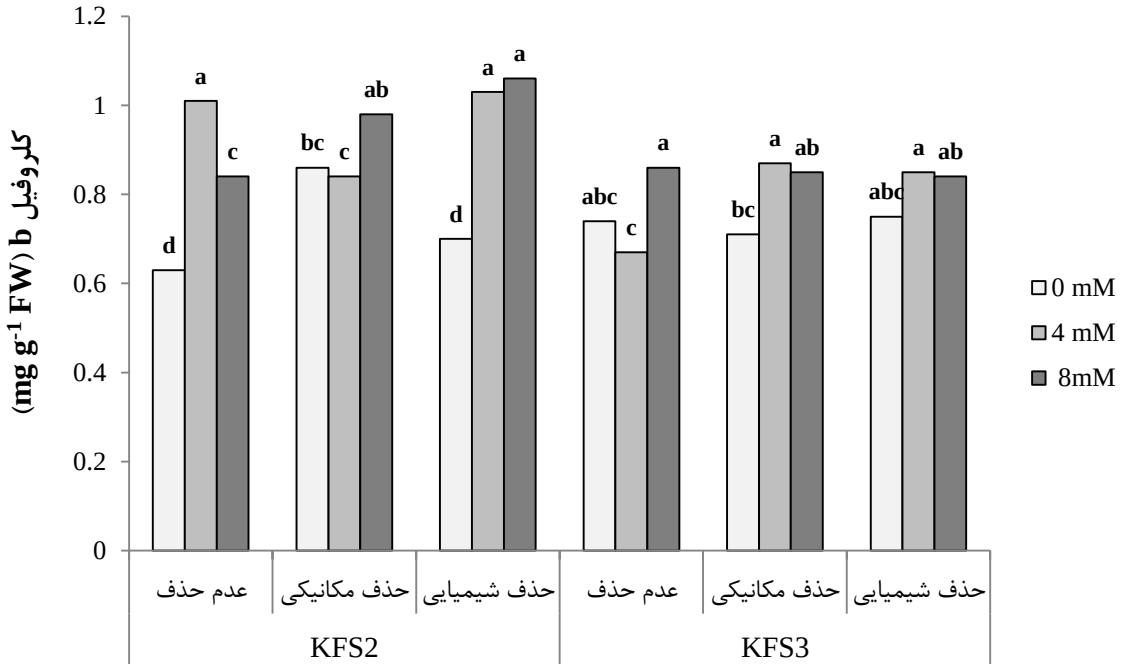
براساس مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۳۴، در رقم KFS2 در سطح عدم حذف مخزن محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان کاروتنوئیدها را به طور معنی‌داری در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی افزایش داد. هرچند در این شرایط بین غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در حذف مکانیکی مخزن افزایش غلظت محلول‌پاشی منیزیم تا سطح ۴ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئیدها شد اما در سطح ۸ میلی مولار میزان این صفت کاهش معنی‌دار یافت. مشابه این روند در سطح حذف شیمیایی مخزن نیز مشاهده شد با این تفاوت که سطح ۸ میلی‌مولار منیزیم با سطح صفر محلول پاشی منیزیم هم در حذف شیمیایی مخزن و هم در عدم حذف مخزن از نظر میزان کاروتنوئیدها تفاوت معنی‌دار نشان داد. در رقم KFS3، در حذف

مکانیکی و شیمیایی مخزن افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئیدهای برگ شد به‌طوری‌که بیشترین میزان کاروتنوئیدهای برگ مربوط به محلول‌پاشی با ۸ میلی‌مولار منیزیم و حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن بود (به ترتیب با مقادیر ۱/۰۳ و ۰/۹۴ میلی‌گم در گرم وزن تر). بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر این صفت مشاهده نشد (شکل ۴-۳۴).



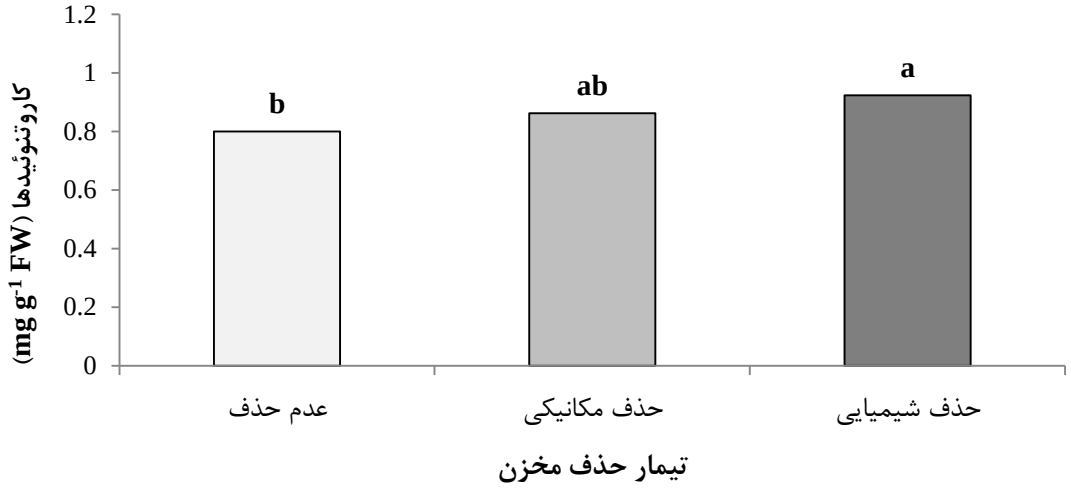
شکل ۳۰-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن ×محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل b

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



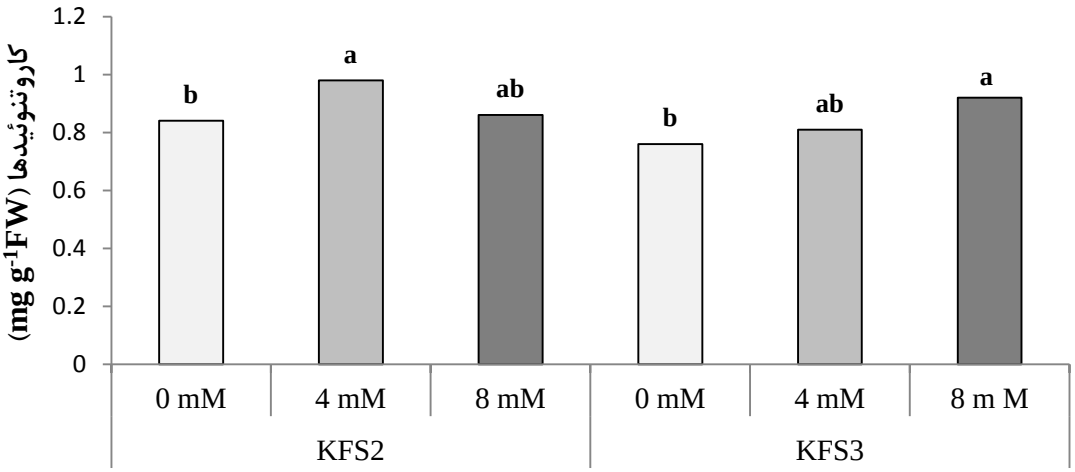
شکل ۳۱-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل b

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



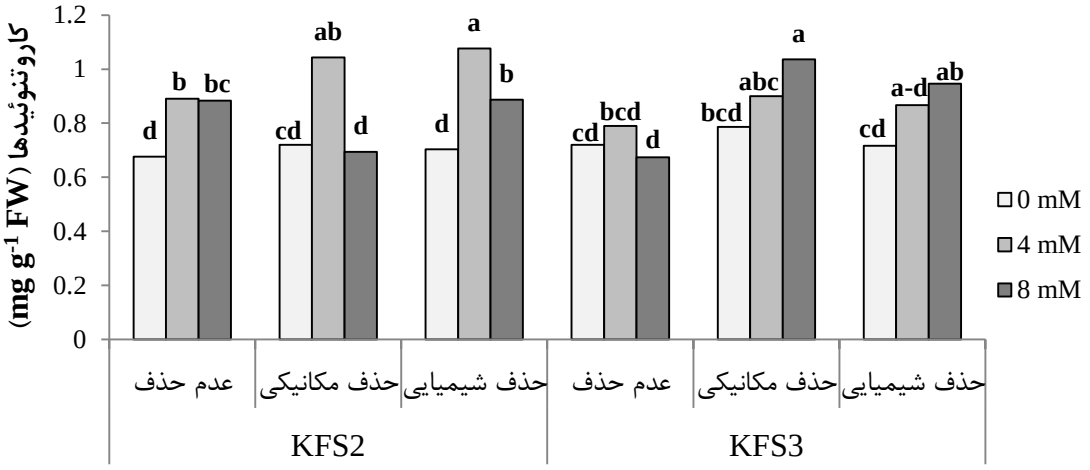
شکل۳۲-۴. اثر حذف مخزن بر میزان کاروتنوئیدها در سال ۱۳۹۳

حروف یکسان بیانگر وجود عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۳۳-۴. اثر متقابل رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کاروتنوئیدها در سال ۱۳۹۳

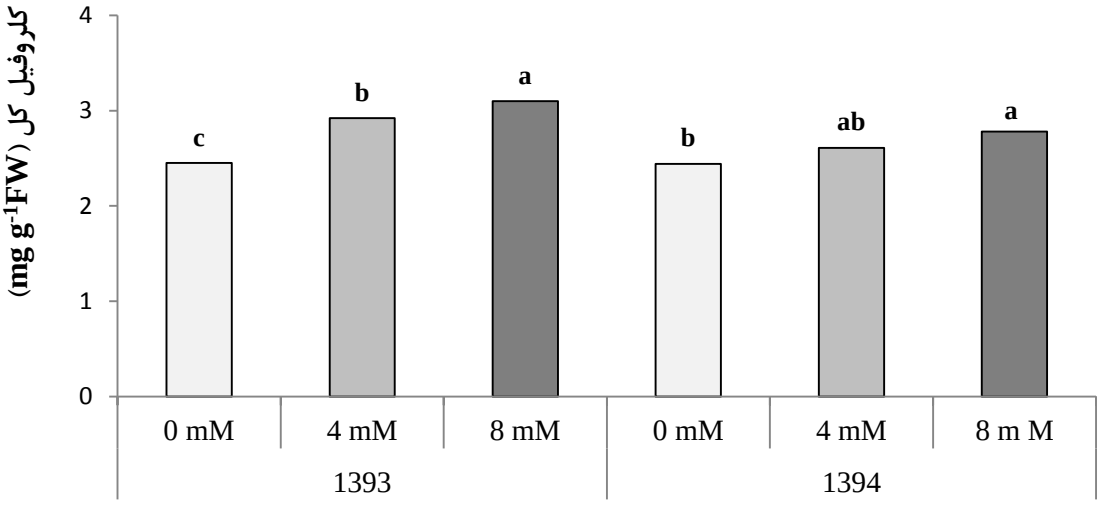
در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۳۴-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کاروتنوئیدها در سال ۱۳۹۴

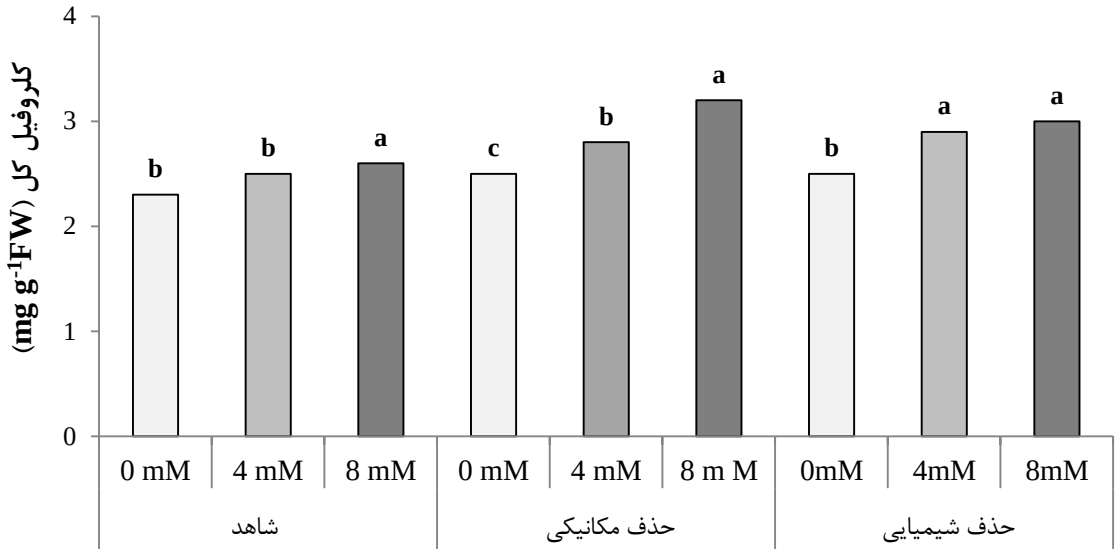
در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

براساس نتایج تجزیه واریانس در جدول پیوست ۲، میزان کلروفیل کل به طور معنی‌داری تحت تـاثیر اثر سال آزمایش، حذف مخزن، محلول‌پاشـی منیـزیم و اثـرات متقابـل سـال×رقـم و حـذف مخـزن× محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سال×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصـد قرار گرفت. براساس برش‌دهی اثرات متقابل در شکل ۴-۳۵، در سال ۱۳۹۳، با افزایش غلظت منیـزیم میزان کلروفیل کل به طور معنی‌داری از ۲/۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر در سطح صفر محلـول‌پاشـی منیزیم به ۲/۹۲ و ۳/۱۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر به ترتیب در ۴ و ۸ میلی‌مولار افزایش یافت. در سال ۱۳۹۴، تنها در غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل کل نسبت به سطح صـفر محلول‌پاشی منیزیم مشاهده شد (۱۴٪ افزایش) و بین سطح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم تفـاوتی وجـود نداشت.



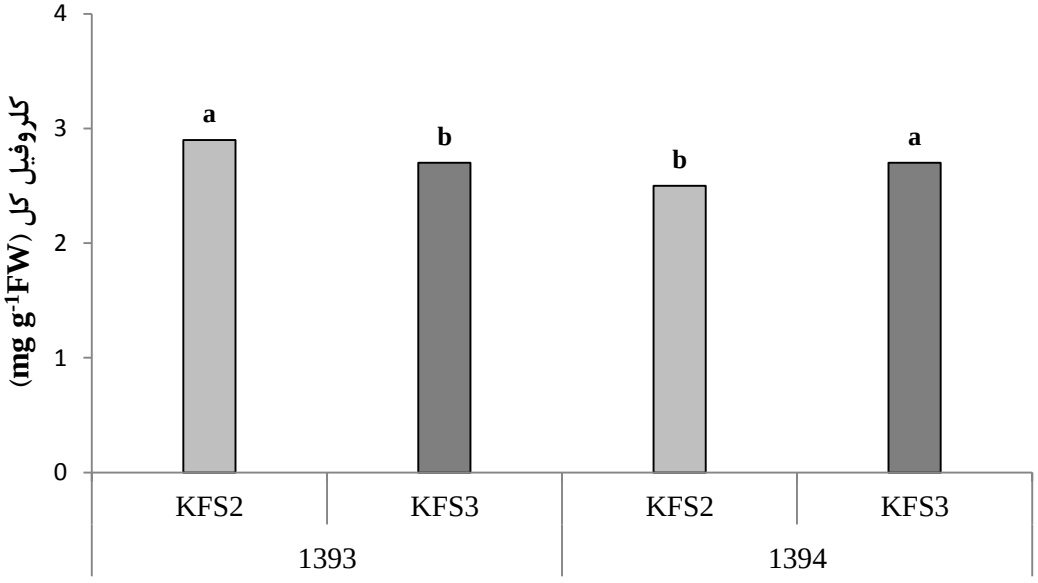
شکل ۳۵-۴. اثر متقابل سال× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل کل

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۳۶-۴. اثر متقابل حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل کل

در هر سطح حذف مخزن، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۳۷-۴. اثر متقابل سال× رقم بر میزان کلروفیل کل

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

نتایج مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۳۶ نشان داد در سطح عدم حذف مخزن، غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم به‌طور معنی‌داری مقدار کلروفیل کل را نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم و ۴ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب به میزان۴ و ۱۳٪ افزایش داد. در شرایط حذف مکانیکی مخزن با افزایش غلظت منیزیم در محلول‌پاشی میزان کلروفیل کل در برگ افزایش معنی‌دار داشت به‌طوری‌که هر دو غلظت ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم (به ترتیب با مقادیر ۲/۸ و ۳/۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (۲/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) اختلاف آماری داشتند. در حذف شیمیایی مخزن بین سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم تفاوت معنی‌داری نبود اما میزان کلروفیل کل را به ترتیب ۱۶ و ۲۰ درصد نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش دادند.

براساس برش‌دهی اثرات متقابل سال آزمایش× رقم در شکل ۴-۳۷ ، در سال ۱۳۹۳ میزان کلروفیل کل در رقم KFS2 به‌طور معنی‌داری بیشتر از میزان این صفت در رقم KFS3 بود. در مقابل در سال ۱۳۹۴، بیشترین میزان کلروفیل کل از رقم KFS3 حاصل شد. هرچند مقدار میانگین کلروفیل کل در رقم KFS3 در هردو سال آزمایش به میزان ۲/۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر و ثابت بود ولی مشخص شد که در سال دوم آزمایش میزان آن در رقم KFS2 کاهش محسوسی پیدا نموده است.

به طور کلی نتایج آزمایش حاضر نشان داد دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی به طور معنی‌داری تحت تاثیر عوامل آزمایش قرار گرفتند به‌طوری‌که اثر حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم بر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در برگ دو رقم سورگوم شیرین معنی‌دار بود. چاناپاگودار و همکاران (۲۰۰۷) نیز با بررسی ۱۳ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان دادند که میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در این ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر شرایط آزمایش قرار گرفت.

در بین سطوح مختلف حذف مخزن، حذف شیمیایی و حذف مکانیکی توانستند میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را افزایش دهند. بررسی‌ها نشان داده است کاربرد اتفون در حذف شیمیایی مخزن میزان کلروفیل را در برگ‌ها افزایش می‌دهد و تاثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم‌های مرتبط با فرآیند فتوسنتز مانند PEP کربوکسیلاز، کربونیک آنیدراز، آمیلاز و نیز هدایت روزنه‌ای دارد (لی، ۲۰۰۴). همچنین

این ترکیب می‌تواند تشکیل کمپلکس کلروفیل-پروتئین در تیلاکوئید کلروپلاست‌ها را افزایش دهد (زوو، ۲۰۰۲). در مقابل برخی مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی نیشکر با غلظت‌های بسیار بالای اتفون سبب کاهش میزان کلروفیل و سرعت تنفس می‌گردد و باید در انتخاب غلظت مناسب دقت نظر داشت (لی، ۲۰۰۴). برخی محققان معتقدند افزایش میزان قندهای محلول در برگ گیاهان همانند آنچه در نتیجه حذف مخزن 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 به ویژه گلوکز به عنوان 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 نموده و گیاه برای مقابله با این شرایط نیازمند وجود بیشتر کارتنوئیدها است (فانسیولینو و همکاران، ۲۰۱۴).

از سوی دیگر محلول‌پاشی منیزیم همراه با حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن تاثیر مثبتی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ سورگوم شیرین داشت. مطالعات نشان داده است 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 (شاه و همکاران، ۲۰۱۷). محققان بیان داشتند کاربرد غلظت‌های مختلف منیزیم میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها را در گیاهان به طور معنی‌داری افزایش داد که این افزایش می‌تواند با نقش منیزیم به عنوان کوفاکتور در آنزیم دلتاآمینو لوولینیک‌دهیدراتاز در فرآیند بیوسنتز کلروفیل در ارتباط باشد (سینها و همکاران، ۱۹۹۴).

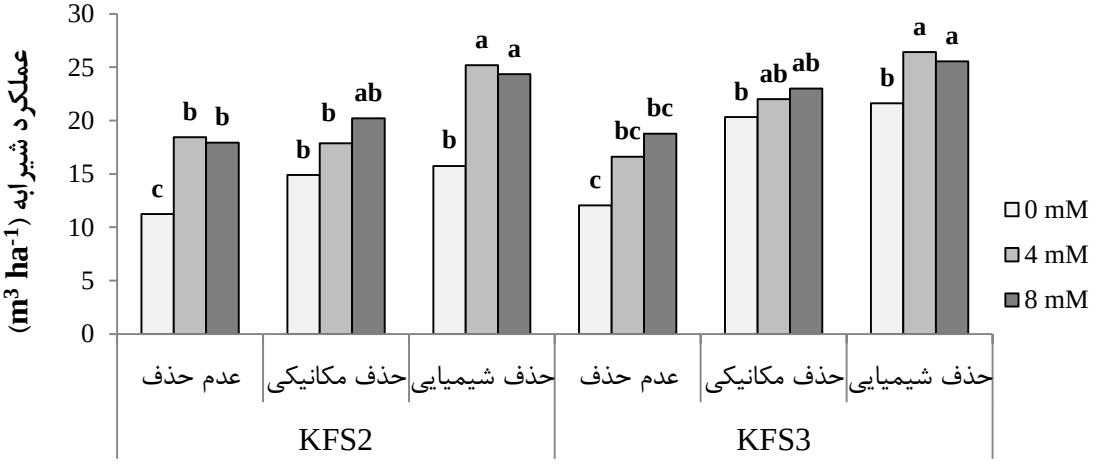
افزایش میزان کلروفیل برگ، استفاده از روشنایی و با طول موج‌هایی که بیشتر در منطقه نور قرمز تیره قرار دارند را ممکن می‌کند. محققان نشان داده‌اند تغذیه معدنی سورگوم می‌تواند مقادیر کلروفیل a، b و کل را در مقایسه با عدم مصرف منیزیم به طور معنی‌داری افزایش دهد که این افزایش می‌تواند از طریق توسعه سطح برگ و رشد بیشتر بوته باشد (اموجویبی و همکاران، ۲۰۰۷).

۴-۳ صفات کمی و کیفی شیرابه

۴-۳-۱ عملکرد شیرابه

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثرات اصلی رقم و محلول‌پاشی منیزیم، اثر دوگانه سال×حذف مخزن و اثر چهارگانه عوامل آزمایش در سطح احتمال پنج درصد و اثرحذف مخزن×محلول‌پاشی و اثر سه‌گانه رقم ×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد شیرابه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳).

براساس برش‌دهی اثرات متقابل در شکل ۴-۳۸، در رقم KFS2 تمامی تیمارهای آزمایشی میزان عملکرد شیرابه را به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم با میزان ۱۱/۲ مترمکعب در هکتار افزایش دادند. همچنین تیمار حذف شیمیایی مخزن و سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب با مقادیر عملکرد شیرابه ۲۵/۲ و ۲۴/۳ مترمکعب در هکتار بیشترین میزان این صفت را در مقایسه با سایر تیمارها دارا بودند. در رقم KFS3 افزایش غلظت منیزیم در هر سطح حذف مخزن سبب افزایش میزان عملکرد شیرابه شد هرچند این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود.



شکل ۴-۳۸. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی بر عملکرد شیرابه

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

همچنین حذف مخزن به روش مکانیکی و شیمیایی در تمام سطوح محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد شیرابه در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن× صفر محلول‌پاشی منیزیم (۱۲/۱ مترمکعب در هکتار) شد و مقادیر آن‌ها از ۲۰/۳ تا ۲۶/۴ مترمکعب در هکتار متغیر بود (شکل ۴-۳۸).

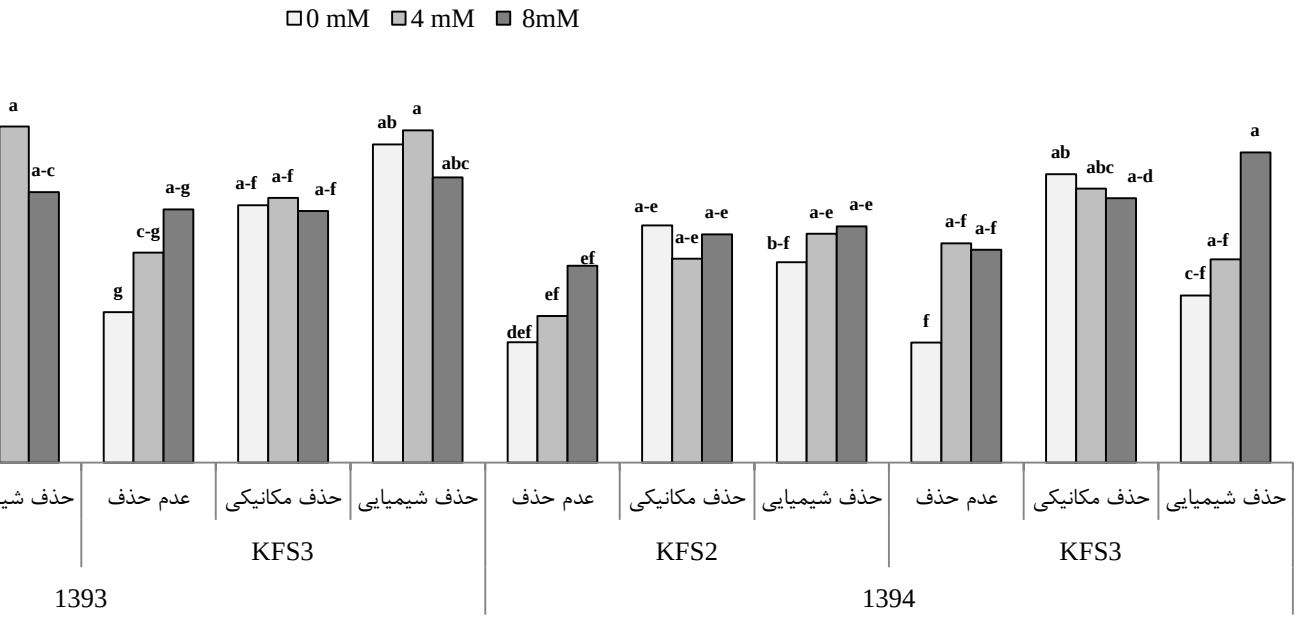
مقایسه‌های میانگین اثر چهارگانه عوامل آزمایش بر عملکرد شیرابه در شکل ۴-۳۹ آمده است. براساس نتایج در سال ۱۳۹۳، در هر دو رقم سورگوم شیرین محلول‌پاشی با سطوح مختلف منیزیم در تیمار عدم حذف مخزن تاثیر معنی‌داری بر عملکرد شیرابه نداشت. در تیمار حذف مکانیکی مخزن نیز در هر دو رقم مورد بررسی روند مشابهی مشاهده شد و بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم از نظر تاثیر بر عملکرد شیرابه تفاوت آماری مشاهده نشد. در تیمار حذف شیمیایی مخزن محلول‌پاشی با غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد شیرابه در مقایسه با عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی شد به‌طوری‌که میزان این صفت را به ۲۹/۹ مترمکعب در هکتار در رقم KFS2 و ۲۹/۶ در رقم KFS3 رساند. به این ترتیب نتایج نشان داد در سال اول آزمایش ترکیب تیماری حذف شیمیایی در هر دو رقم سورگوم شیرین بیشترین تاثیر را بر عملکرد شیرابه داشت و کاربرد هم‌زمان غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم این تاثیر را بهبود بخشید.

در سال ۱۳۹۴، در تیمار عدم حذف مخزن در هر دو رقم مورد بررسی افزایش غلظت منیزیم محلول‌پاشی سبب افزایش عملکرد شیرابه شد (شکل ۴-۳۹). در تیمار حذف مکانیکی مخزن بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. هرچند در رقم KFS3 هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم میزان عملکرد شیرابه را در مقایسه با این سطوح در تیمار عدم حذف مخزن در رقم KFS2 به طور معنی‌داری افزایش دادند. در تیمار حذف شیمیایی مخزن در هر دو رقم سورگوم شیرین افزایش غلظت منیزیم به سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار عملکرد شیرابه شد. براساس این نتایج در این سال نیز اعمال تیمار حذف شیمیایی مخزن همراه با

محلول‌پاشی منیزیم به طور قابل ملاحظه‌ای سبب افزایش عملکرد شیرابه شد که این افزایش در رقم KFS3 بیش از رقم KFS2 بود.

گاناش کومار و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی ۱۹ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان دادند عملکرد شیرابه در بین ژنوتیپ‌ها می‌تواند از ۱۲/۱ تا ۱۸/۴ تن در هکتار متغیر باشد. میری (۱۳۹۲) با بررسی سه ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین در شرایط تغذیه معدنی متفاوت نشان داد بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد شیرابه تفاوت معنی‌دار وجود داشت که در این بین تغذیه مناسب سورگوم شیرین می‌تواند میزان عملکرد شیرابه را تا دو برابر افزایش دهد.

فراریس (۱۹۸۱b) بیان داشت که مقادیر بالای شیرابه استخراج شده از ساقه همبستگی مثبتی با میزان عملکرد قند، شاخص سطح برگ و عملکرد بیولوژیک در سورگوم شیرین دارند و بنابراین هر عاملی که سبب افزایش میزان شیرابه شود بر عملکرد قند تاثیر مستقیم خواهد گذاشت. همچنانکه اویر و همکاران (۲۰۱۷) نقش رقم، اندازه ساقه و رطوبت خاک را بر میزان عملکرد شیرابه موثر دانسته‌اند. هولوی و استیونس (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که عملکرد شیرابه می‌تواند با توجه به سال آزمایش، تناوب زراعی، نوع خاک و تغذیه معدنی تغییر نماید. این محققان گزارش نمودند که با افزایش عملکرد شیرابه میزان قند موجود در آن کاهش پیدا می‌نماید.



شکل۳۹-۴. اثر متقابل سال× رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد شیرابه

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌د

۴-۳-۲ راندمان تولید شیرابه

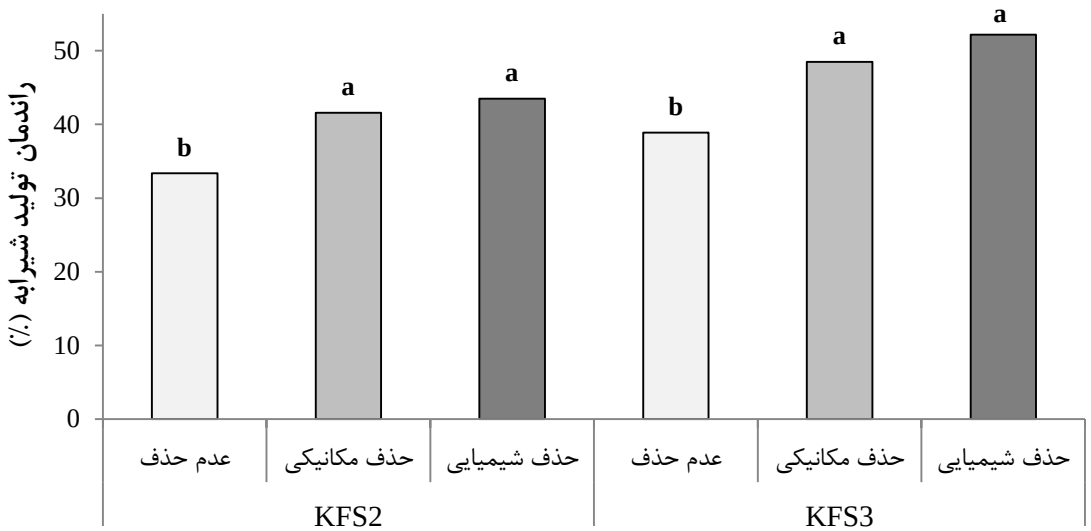
نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثرات اصلی رقم، حذف مخزن و اثر متقابل رقم×حذف مخزن در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر راندمان تولید شیرابه معنی‌دار بود. همچنین اثر سال آزمایش به تنهایی یا در ترکیب با تیمارهای دیگر تاثیری بر این صفت نداشت (جدول پیوست ۳). بر این اساس داده‌های هر سال به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج تجزیه واریانس مجزای سال‌های آزمایش در جدول پیوست ۵ آمده است.

در سال ۱۳۹۳، اثرات اصلی رقم و حذف مخزن و اثرمتقابل این دو عامل بر راندمان تولید شیرابه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برش‌دهی اثر متقابل رقم×حذف مخزن نشان داد در رقم KFS2 حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن به ترتیب با ۴۱/۶ و ۴۳/۵ درصد راندمان تولید شیرابه را نسبت به شرایط عدم حذف مخزن با راندمان تولید شیرابه ۳۳/۴ درصد به طورمعنی‌داری افزایش دادند. بین دو روش حذف مخزن تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (شکل ۴-۴۰). در رقم KFS3 نیز روند مشابهی وجود داشت به طوری که حذف شیمیایی و مکانیکی مخزن به ترتیب با مقادیر ۵۲/۲ و ۴۸/۵ درصد با سطح عدم حذف مخزن با راندمان تولید شیرابه ۳۸/۹ درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند. بین دو تیمار حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن از نظر تاثیر بر راندمان تولید شیرابه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد و میانگین‌های حاصل در یک سطح آماری قرار گرفتند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در سال ۱۳۹۴ نشان داد اثر اصلی رقم و محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد و اثر حذف مخزن در سطح احتمال یک درصد بر میزان راندمان تولید شیرابه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۵). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل (۴-۴۱) راندمان تولید شیرابه در رقم KFS3 به طورمعنی‌داری از راندمان تولید شیرابه در رقم KFS2 بیشتر بود (به ترتیب با مقادیر ۴۵/۱ و ۳۹/۵ درصد).

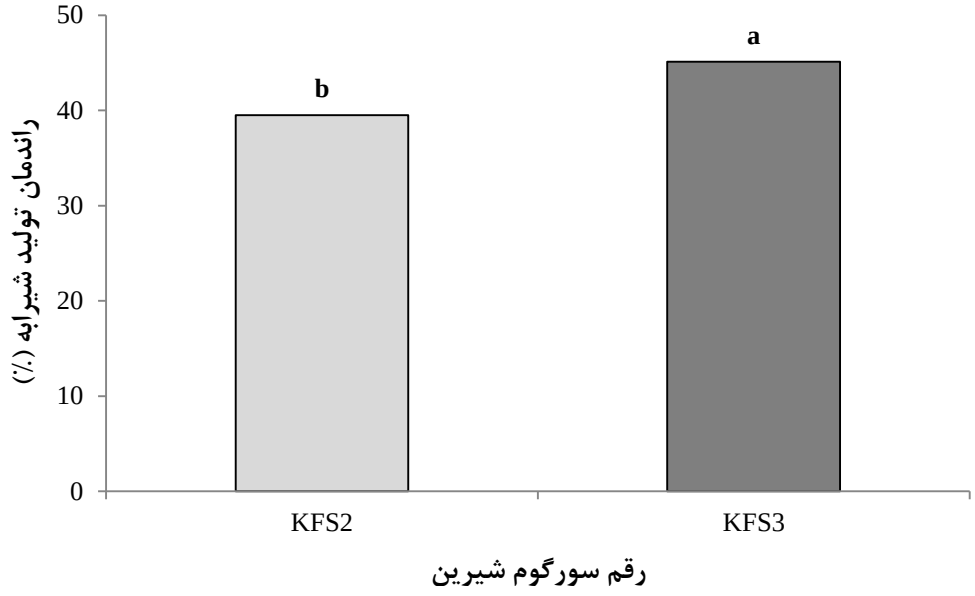
بررسی برش‌دهی اثرمتقابل حذف مخزن×محلول‌پاشی در سال ۱۳۹۴ نشان داد در تیمار عدم حذف مخزن، افزایش غلظت منیزیم محلول‌پاشی میزان راندمان تولید شیرابه را از ۲۷/۷ درصد در سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به طور معنی‌داری به ۴۲/۶ درصد در غلظت۴ میلی‌مولار منیزیم و ۳۹/۲ درصد در ۸ غلظت میلی‌مولار منیزیم افزایش داد (شکل ۴-۴۲). در حذف مکانیکی مخزن تغییر در غلظت منیزیم محلول‌پاشی تاثیر معنی داری بر راندمان تولید شیرابه نداشت و میانگین‌ها در یک سطح آماری قرار گرفتند. در حذف شیمیایی مخزن غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان راندمان تولید شیرابه شد به‌طوری که توانست مقادیر این صفت را نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم و ۴ میلی‌مولار منیزیم افزایش دهد (شکل ۴-۴۲).

براساس نتایج حاضر مشخص شد که واکنش دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی به حذف مخزن و تغذیه معدنی از نظر راندمان تولید شیرابه متفاوت بود. محققان معتقدند این تفاوت می‌تواند ناشی از توان تولید بالقوه رقم، سازگاری به شرایط اکولوژیک منطقه و واکنش متفاوت به تغذیه باشد (لاکانا و همکاران، ۲۰۰۹؛ میری و رانا، ۲۰۱۲). راینز و همکاران (۱۹۹۳) توان تولید اتانول از شیرابه سورگوم شیرین را در حدود ۸۵ درصد و یا به عبارت دیگر ۵۴/۱ لیتر به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم وزن تر ساقه گزارش نمودند. بر این اساس هرچه نوع رقم و یا شرایط مدیریتی تاثیر بیشتری بر میزان راندمان تولید شیرابه داشته باشد امکان تولید اتانول افزایش خواهد یافت.



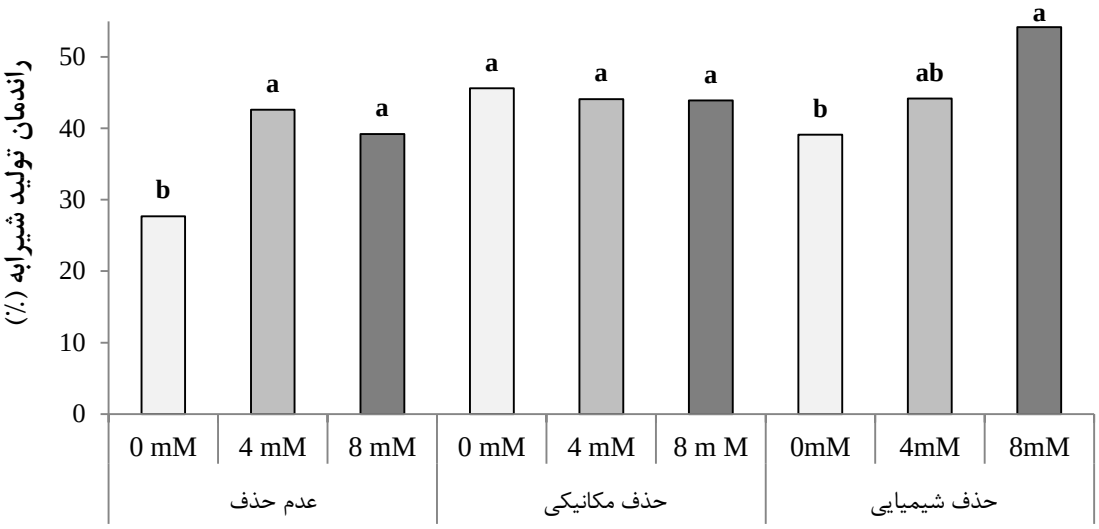
شکل۴۰-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن بر راندمان تولید شیرابه در سال ۱۳۹۳

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۴۱-۴. اثر رقم بر راندمان تولید شیرابه در سال ۱۳۹۴

حروف یکسان بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل۴۲-۴ . اثرمتقابل حذف مخزن × محلول‌پاشی منیزیم بر راندمان تولید شیرابه در سال ۱۳۹۴

در هر سطح حذف مخزن، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۴-۳-۳ pH شیرابه

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد تنها اثر اصلی رقم بر میزان pH شیرابه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و سال آزمایش به تنهایی یا در ترکیب با تیمارهای دیگر تاثیری بر این صفت نداشت (جدول پیوست ۳). بر این اساس داده‌های هر سال به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج تجزیه واریانس مجزای سال‌های آزمایش در جدول پیوست ۵ آمده است.

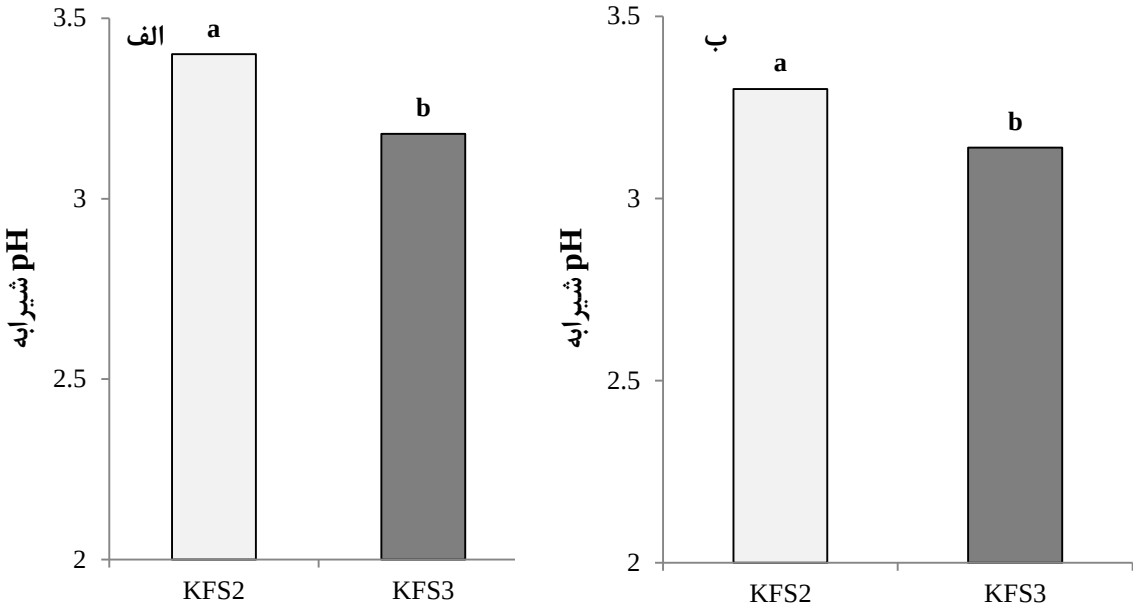
براساس نتایج حاصل در هر دو سال آزمایش نیز تنها اثر اصلی رقم بر میزان pH در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بررسی مقایسه‌های میانگین در شکل۴-۴۳ نشان داد در سال ۱۳۹۳ میزان pH در رقم KFS2 به میزان ۰/۲ واحد از رقم KFS3 بیشتر بود (شکل ۴-۴۳ الف). در سال ۱۳۹۴ نیز روند مشابهی مشاهده شد به‌طوری‌که pH شیرابه در رقم KFS2 با میزان این صفت در رقم KFS3 به ترتیب با مقادیر ۳/۳۰ و ۳/۱۴ اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۴-۴۳ ب).

میزان pH در شیرابه‌های قندی زمانی اهمیت پیدا می‌نماید که این شیرابه‌ها وارد فرآیند تخمیر گردند. کول و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند میزان pH شیرابه در طی سال‌های مختلف در ارقام

سورگوم شیرین می‌تواند تغییر نماید. هانسیگی و همکاران (۲۰۱۰) نیز با بررسی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شیرین در طی دو سال آزمایش نشان دادند میزان pH شیرابه در بین ژنوتیپ ها تفاوت معنی‌دار داشته و از ۵ تا ۶/۴ واحد در تغییر بود. در مقابل دالوی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی ۲۰ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان دادند میزان pH بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت نداشت.

براساس نتایج تحقیق حاضر میزان pH در شیرابه های دورقم مورد بررسی سورگوم شیرین پایین و اسیدی بود. محققان گزارش کرده‌اند که pH مطلوب برای رشد مخمرها در شرایط تخمیر عموما در حدود ۵-۴ است (سرا و همکاران، ۲۰۰۲) و کاهش آن تا مقادیر ۳ سبب کاهش سرعت رشد مخمرها می‌گردد (فلیت و هرد، ۱۹۹۳). بوزاس و همکاران (۱۹۸۹) نیز بیان داشتند در pH معادل۳، ظرفیت تخمیر نسبی تنها حدود ۶۰ درصد است در حالی که در pH معادل۴، این ظرفیت کامل شده و به صد در صد می‌رسد. براین اساس مقادیر پایین‌تر pH در آزمایش حاضر نشان می‌دهد که چنانچه این شیرابه‌ها وارد فرآیند تخمیر شوند، سرعت رشد مخمرها در محیط بسیار پایین خواهد بود. برای رفع این مشکل و امکان استفاده از شیرابه‌های حاصل ابتدا باید تنظیم pH صورت گیرد و سپس ساکارومیست‌ها به محیط اضافه شوند که این فرآیند تا حدودی هزینه تولید اتانول را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر بررسی‌ها نشان داده است که با توجه به دما، pH و غلظت‌های مختلف قند می توان سویه‌های متفاوتی را در فرآیند تخمیر به کار برد تا کمتر نیاز به تنظیم شرایط محیطی فعالیت مخمرها باشد (آرویو-لوپز و همکاران، ۲۰۰۹).

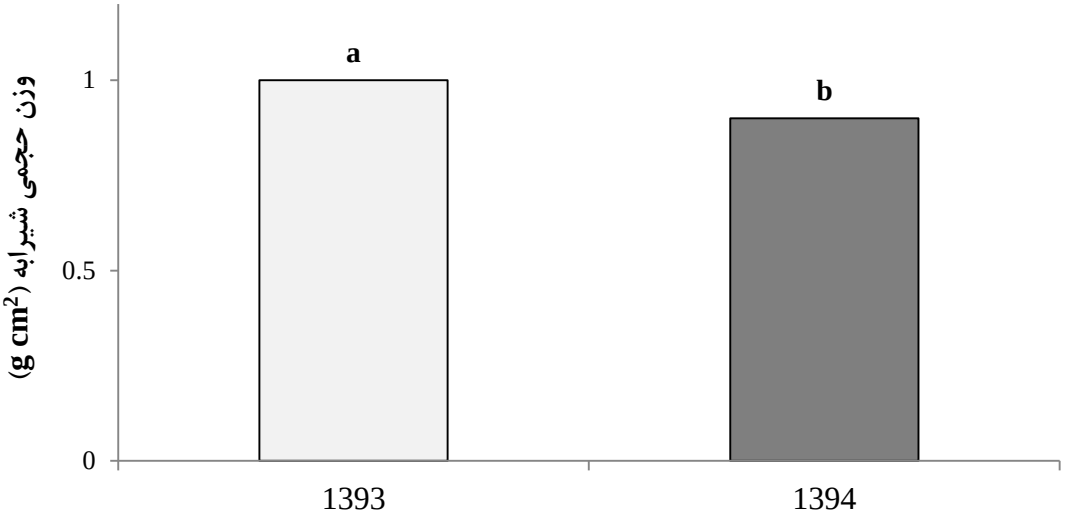
سایر عوامل آزمایش تاثیر معنی‌داری بر میزان pH شیرابه نداشتند که با یافته های هولوی و استیونس (۲۰۱۲) مطابقت دارد. این محققین بر ثابت بودن میزان این صفت با توجه به تغییر عوامل آزمایش به ویژه تغذیه معدنی تاکید داشته‌اند.



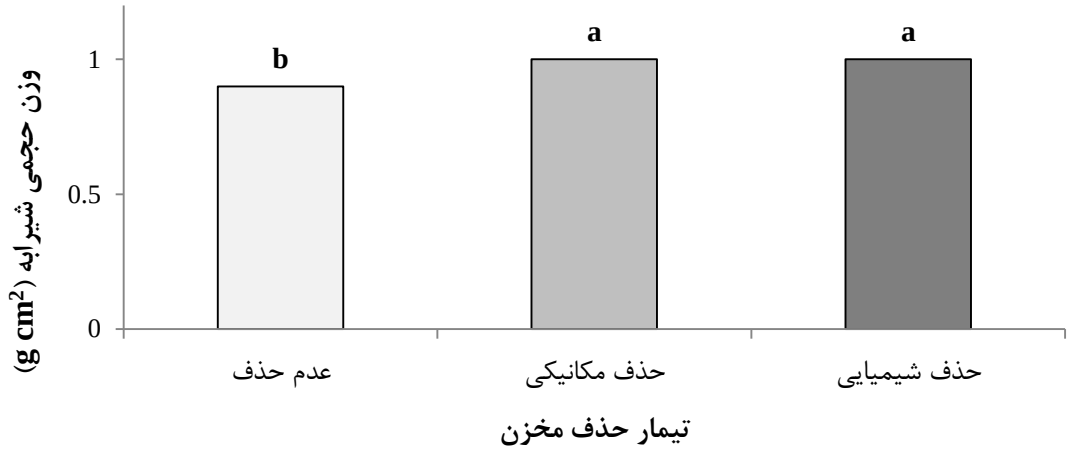
شکل ۴۳-۴. اثر رقم بر میزان pH شیرابه سورگوم شیرین (الف) سال ۱۳۹۳(ب) سال۱۳۹۴
حروف یکسان بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

۴-۳-۴ وزن حجمی شیرابه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد از بین عوامل آزمایش تنها اثر اصلی سال و حذف مخزن در سطح احتمال پنج درصد بر میزان وزن مخصوص شیرابه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳). براساس مقایسه‌های میانگین در سال ۱۳۹۳، میزان وزن حجمی شیرابه در مقایسه با سال ۱۳۹۴ به طور معنی‌داری بیشتر بود (۱۱/۱ درصد) که نشان‌دهنده تاثیر شرایط محیطی در سال‌های مختلف آزمایش بر این صفت است (شکل ۴-۴۴). بررسی مقایسه‌های میانگین اثر حذف مخزن بر وزن حجم شیرابه نشان داد با اعمال تیمارهای حذف مخزن در بوته‌های سورگوم شیرین وزن حجمی شیرابه یا به عبارت دیگر چگالی شیرابه اختلاف‌معنی داری با عدم حذف مخزن داشت به طوری‌که میزان وزن حجمی شیرابه را در سطوح حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن به ترتیب به میزان ۱۲/۱ و ۱۱/۲ درصد نسبت به عدم حذف مخزن افزایش داد (شکل ۴-۴۵).



شکل۴۴-۴. اثر سال آزمایش بر میزان وزن حجمی شیرابه
حروف یکسان بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل۴۵-۴. اثر حذف مخزن بر میزان وزن حجمی شیرابه
حروف یکسان بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

۴-۳-۵ درصد بریکس (ضریب شکست)

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد اثرات اصلی حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم و اثرات دوگانه سال×رقم، حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثر سه‌گانه سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر سال×رقم×حذف مخزن و اثر چهارگانه عوامل آزمایش بر درصد بریکس معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳).

برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد در سال ۱۳۹۳، محلول‌پاشی با غلظت ۴میلی مولار منیزیم در رقم KFS2 و محلول‌پاشی با غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS3 به ترتیب با مقادیر ۱۵/۲ و ۱۳/۵ درصد سبب افزایش معنی‌دار بریکس در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی شد (شکل ۴-۴۶). در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 محلول‌پاشی با غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم (۱۳ درصد) و در رقم KFS3 محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب با مقادیر ۱۳/۹ و ۱۳/۲ درصد با میزان بریکس در سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در رقم KFS2 با مقدار ۱۰/۷ درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (شکل ۴-۴۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی بر درصد بریکس در شکل ۴-۴۷ آمده است. براساس این نتایج در سال ۱۳۹۳، در تیمار عدم حذف مخزن، افزایش غلظت منیزیم میزان درصد بریکس را افزایش معنی‌دار داد و مقدار آن را از ۸/۷ درصد در سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به ۱۳/۰ درصد در سطح ۸ میلی‌مولار منیزیم رساند. تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن همراه با محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌دار درصد بریکس در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد (شکل۴-۴۷).

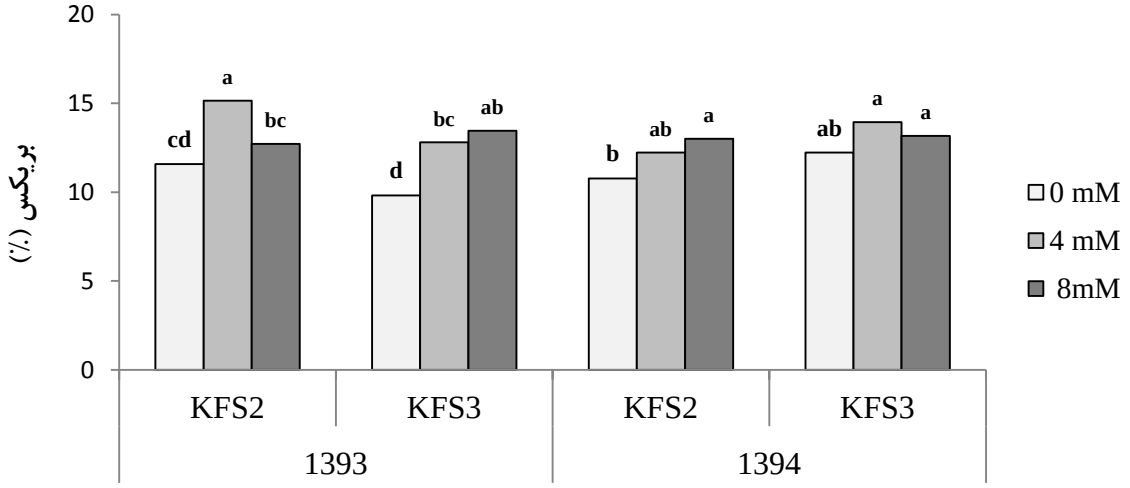
در سال ۱۳۹۴، هرچند افزایش غلظت منیزیم در محلول‌پاشی سبب افزایش درصد بریکس در تیمار عدم حذف مخزن شد ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. کاربرد همزمان تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن همراه با هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌دار درصد بریکس در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. در بین تیمارها

حذف شیمیایی مخزن و غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم (۱۵/۹ درصد) و حذف مکانیکی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم (۱۳/۱ درصد) بیشترین بریکس را در سال ۱۳۹۴ داشتند (شکل ۴-۴۷).

نتایج اثر متقابل چهارگانه عوامل آزمایش بر درصد بریکس در شکل۴-۴۸ آمده است. براساس این نتایج در سال ۱۳۹۳، در رقم KFS2 محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش درصد بریکس در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در شرایط عدم حذف مخزن شد. در حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن تفاوت معنی‌داری در بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم از نظر تاثیر بر درصد بریکس مشاهده نشد. هرچند این ترکیبات تیماری میزان بریکس را در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم و عدم حذف مخزن افزایش دادند. در رقم KFS3 در شرایط عدم حذف مخزن تنها محلول‌پاشی با غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار درصد بریکس در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. در تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن تمام سطوح محلول‌پاشی منیزیم میزان بریکس را به طور معنی‌داری نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در این رقم افزایش دادند.

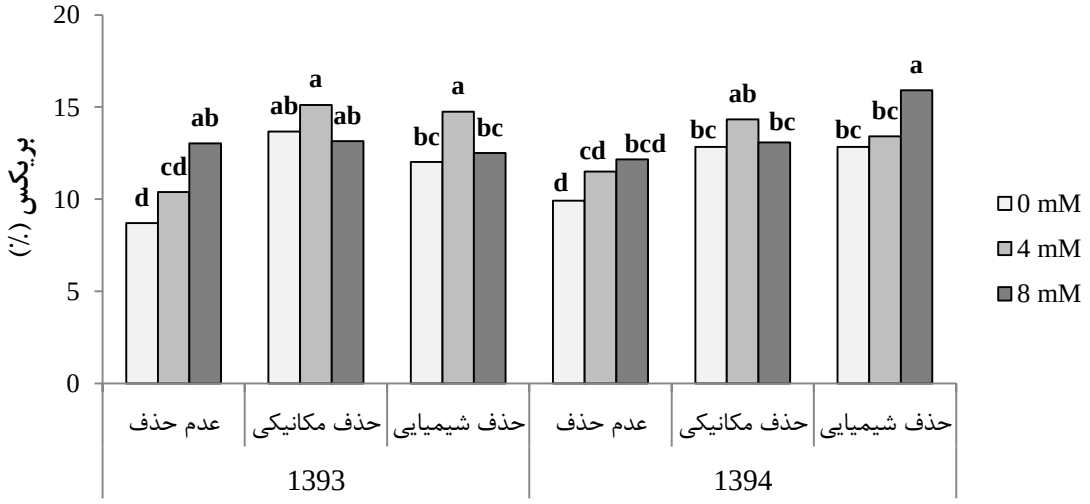
در سال ۱۳۹۴، سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم در تیمارهای عدم حذف مخزن و حذف مکانیکی مخزن در هر دو رقم مورد بررسی تاثیر معنی‌داری بر درصد بریکس شیرابه نداشت. در شرایط حذف شیمیایی مخزن در رقم KFS2 غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم و در همین شرایط در رقم KFS3 تنها غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار درصد بریکس شیرابه در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی در شرایط عدم حذف مخزن و حذف شیمیایی مخزن شدند (شکل ۴-۴۸).

تفاوت در درصد بریکس شیرابه سورگوم شیرین در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (میری، ۱۳۹۲؛ روتو و همکاران، ۲۰۱۳). گاناش کومار و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی ۱۹ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان دادند که درجه بریکس می‌تواند از ۶ تا ۱۵ واحد متغیر باشد. همچنین بین درجه بریکس و میزان قندهای محلول همبستگی بالایی وجود



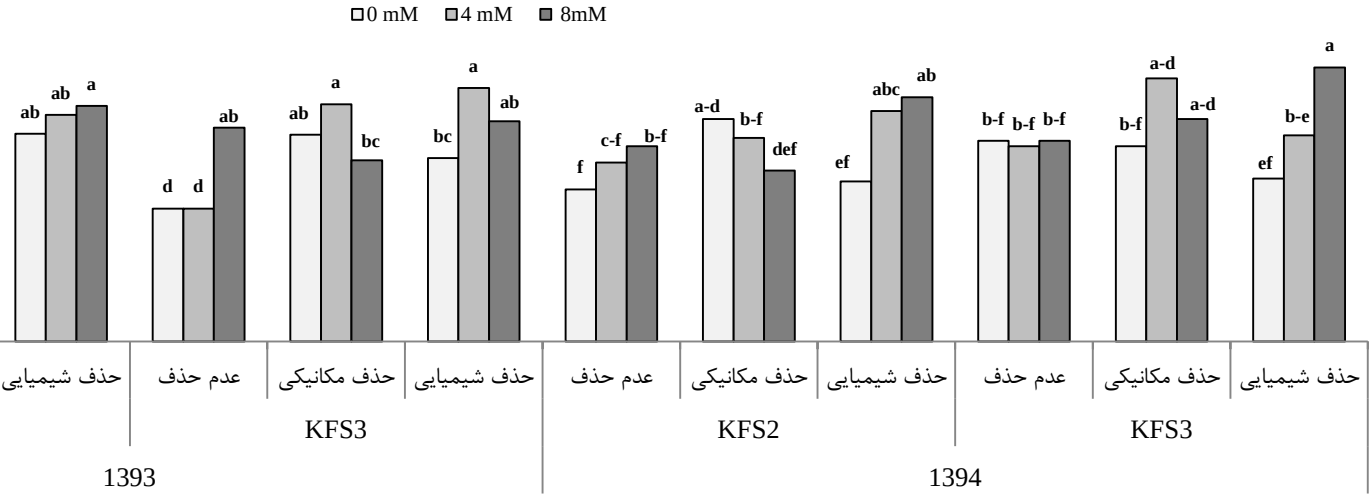
شکل۴۶-۴. اثر متقابل سال×رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر درصد بریکس

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۴۷-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر درصد بریکس

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۴۸-۴. اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر درصد بریکس

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات

دارد و لذا از این شاخص می توان به عنوان ابـزاری بـرای تعیـین میـزان قنـدهای موجـود در شـیرابه استفاده نمود. از سوی دیگر مطالعات نشان داده است ارتفاع بوته که دارای وراثت‌پذیری بـالایی اسـت با میزان بریکس همبستگی بالایی در مکان ژنی دارد و به این ترتیب در کنار درصد بریکس مـی‌توانـد در شناسایی ارقام سورگوم شیرین و تعیین صفات ویژه آنها نقش مهمی ایفا نماید (موری و همکـاران، ۲۰۰۹).

۶-۳-۴ قندهای محلول

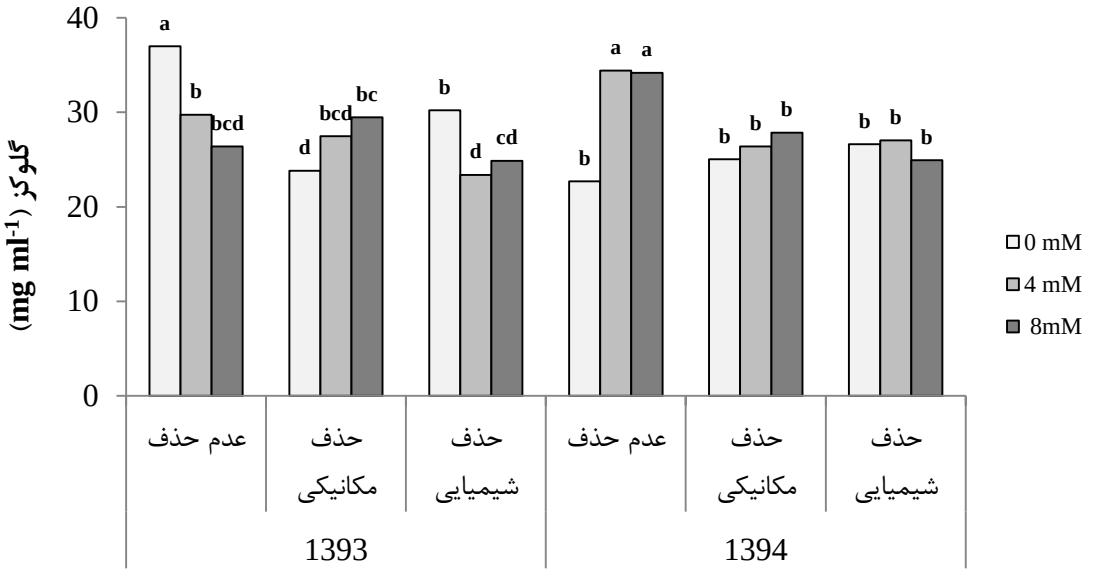
۱-۶-۳-۴ گلوکز شیرابه

براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش اثر اصلی رقم و اثر متقابل سال×محلول‌پاشی و نیـز اثـر چهارگانه عوامل آزمایش در سطح احتمـال یـک درصـد و اثـر اصـلی حـذف مخـزن و اثـرات متقابـل رقم×حذف مخزن، حذف مخزن×محلول‌پاشی منیـزیم، سـال×حـذف مخـزن محلـول‌پاشـی در سـطح احتمال پنج درصد بر میزان گلوکز موجود در شیرابه ساقه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳).

برش‌دهی اثرات متقابل سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی نشـان داد در سـال ۱۳۹۳، بیشـترین میـزان گلوکز شیرابه از تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به میزان ۳۷ میلـی‌گـرم در میلی‌لیتر به دست آمد. سایر ترکیب تیمارهای حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم با این تیمار تفاوت معنی‌دار نشان داده و سبب کاهش میزان گلوکز شیرابه شدند (شکل ۴-۴۹).

در سال ۱۳۹۴، بیشترین میزان گلوکز شیرابه از تیمار عدم حذف مخزن و سـطوح ۴ و ۸ میلـی‌مـولار منیزیم به ترتیب با مقادیر ۳۴/۴ و ۳۴/۲ میلی‌گرم در میلی‌لیتر حاصل شـد. در ایـن سـال نیـز سـایر تیمارهای آزمایشی سبب کاهش معنی‌دار میزان گلوکز شیرابه شدند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۴-۴۹).

مقایسه‌های میانگین اثر چهارگانه عوامل آزمایش بر میزان گلوکز شیرابه در شکل ۴-۵۰ آمـده اسـت. براساس برش‌دهی اثرات متقابل در سال ۱۳۹۳ بیشترین میزان گلـوکز شـیرابه از تیمـار عـدم حـذف



شکل۴۹-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان گلوکز شیرابه

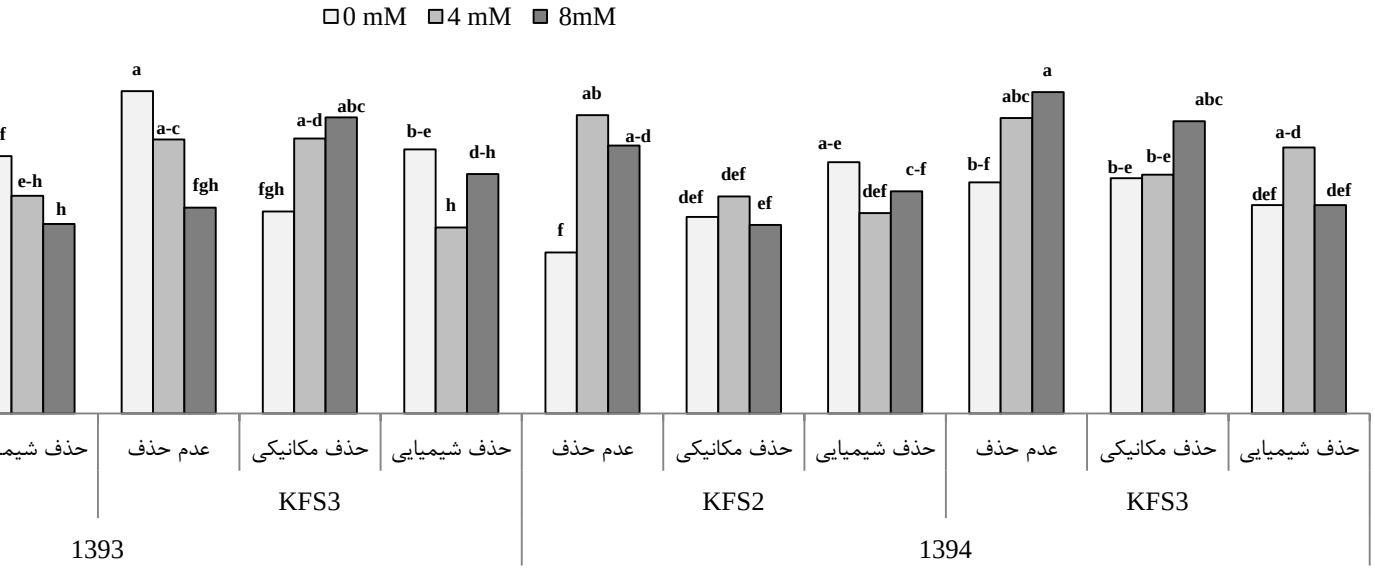
در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

مخزن×صفر محلول‌پاشی منیزیم در رقم KFS3 (۳۷/۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتـر) و رقـم KFS2 (۳۶/۶ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) حاصل شد. کمترین میزان این صفت از تیمارهای KFS2× حذف شیمیایی مخزن× ۸ میلی‌مولار منیزیم (۲۱/۹ میلـی‌گـرم در میلـی‌لیتـر) و KFS3×حـذف شـیمیایی مخـزن×۴ میلی‌مولار منیزیم (۲۱/۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) بدست آمد.

در سال ۱۳۹۴، در هر دو رقم مورد بررسی تیمار عدم حذف مخزن و سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم بیشترین میزان گلوکز شیرابه را دارا بودند. همچنین در هر دو رقم، در تیمارهـای حـذف مکـانیکی و شیمیایی مخزن کاربرد سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم تاثیر معنی‌داری بر میـزان گلـوکز شـیرابه نداشت (شکل ۴-۵۰).

عمده قندهای ذخیره شده در ساقه سورگوم شیرین ساکارز، گلوکز و فروکتوز هستند که مقـادیر آنهـا با توجه به نوع رقم (گانش کومار و همکاران، ۲۰۱۰)، شرایط تغذیه (اریکسـون و همکـاران، ۲۰۱۱) و مدیریت زراعی (لینگل و همکارا ن، ۲۰۱۲) تغییر می‌نمایـد. بررسـی دویسـت و شـش رقـم سـورگوم

شیرین نشان داد که میزان قند موجود در شیرابه آنها از ۸٪ تا ۱۹/۱٪ در بین ارقام مختلـف متفـاوت بود (زاو و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۵۰-۴. اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان گلوکز شیرابه

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی

رابرتسون و همکاران (۱۹۹۶) معتقدند کاهش میزان قندهای احیا شونده در شیرابه ساقه می‌تواند ناشی از القاء رسیدگی در گیاه باشد چرا که با افزایش سن گیاه و تسریع در رسیدگی همانند آنچه با حذف مخزن به روش‌های مختلف در سورگوم شیرین رخ می‌دهد تعداد میانگره‌های فعال کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه میزان ذخیره قندهای احیاشونده در شیرابه کمتر از شرایط معمول رشد خواهد بود.

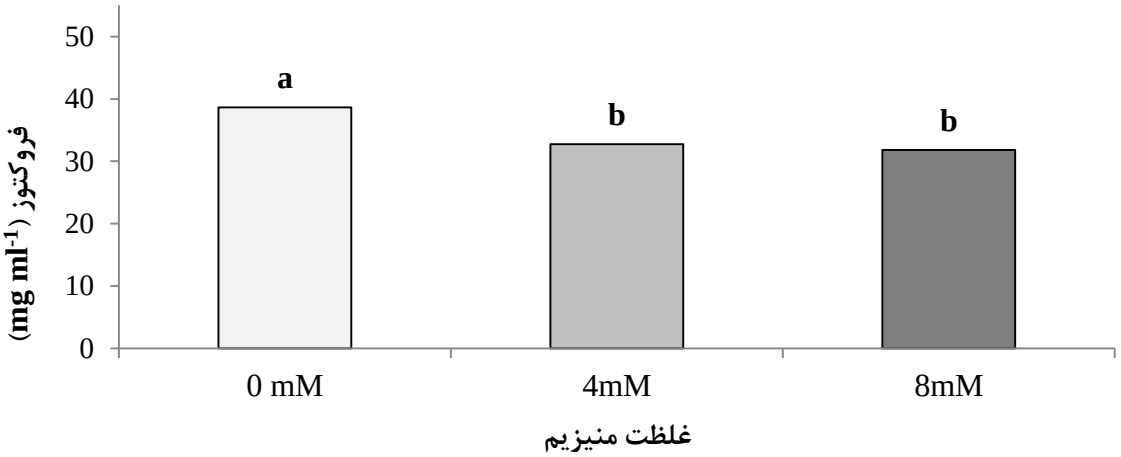
۲-۶-۳-۴ فروکتوز شیرابه

نتایج آزمایش نشان داد میزان فروکتوز شیرابه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۳).

براساس مقایسه میانگین‌های حاصل از آزمایش، افزایش غلظت منیزیم به‌طور معنی‌داری میزان فروکتوز شیرابه را در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم کاهش داد. این میزان کاهش در غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم برابر ۱۸/۲ درصد و در غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم به میزان ۲۱/۴ درصد بود (شکل۴-۵۱).

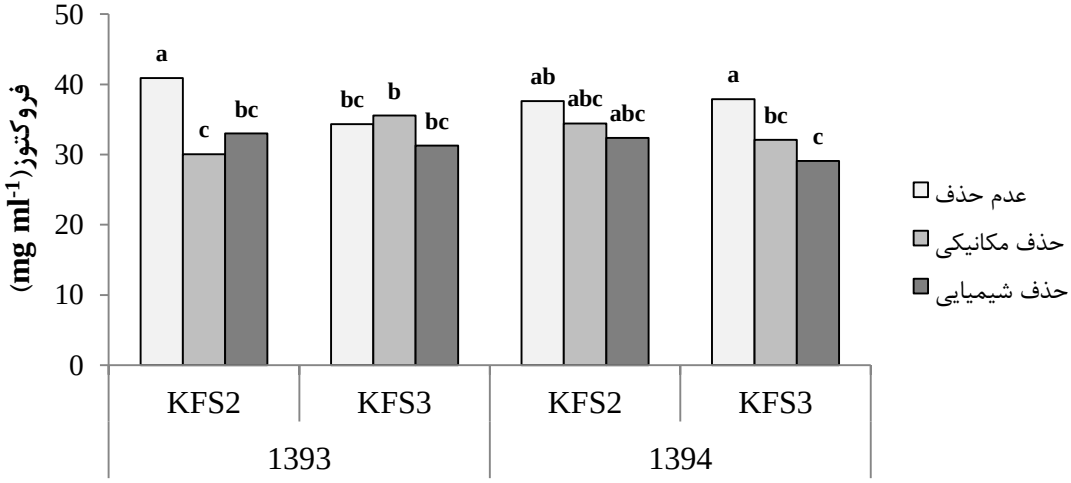
برش‌دهی اثرات متقابل سال×رقم×حذف مخزن نشان داد در سال ۱۳۹۳، در رقم KFS2 تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن سبب کاهش معنی‌دار میزان فروکتوز شیرابه نسبت به تیمار عدم حذف مخزن شدند به‌طوری‌که میزان کاهش در حذف مکانیکی مخزن ۳۶ درصد و در حذف شیمیایی مخزن ۲۴ درصد بود (شکل ۴-۵۲). در رقم KFS3 کاربرد تیمارهای حذف مخزن تاثیری بر میزان فروکتوز شیرابه نداشت و تیمارها در یک سطح آماری قرار گرفتند.

در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن سبب کاهش میزان فروکتوز شیرابه شد هرچند این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. در رقم KFS3 نیز روند مشابهی بدست آمد با این تفاوت که در این رقم حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن به ترتیب با مقادیر ۳۲/۱ و ۲۹/۱ میلی‌گرم در



شکل ۵۱-۴ . اثر محلول پاشی منیزیم بر فروکتوز شیرابه

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.



شکل ۵۲-۴. اثر متقابل سال× رقم× حذف مخزن بر میزان فروکتوز شیرابه

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

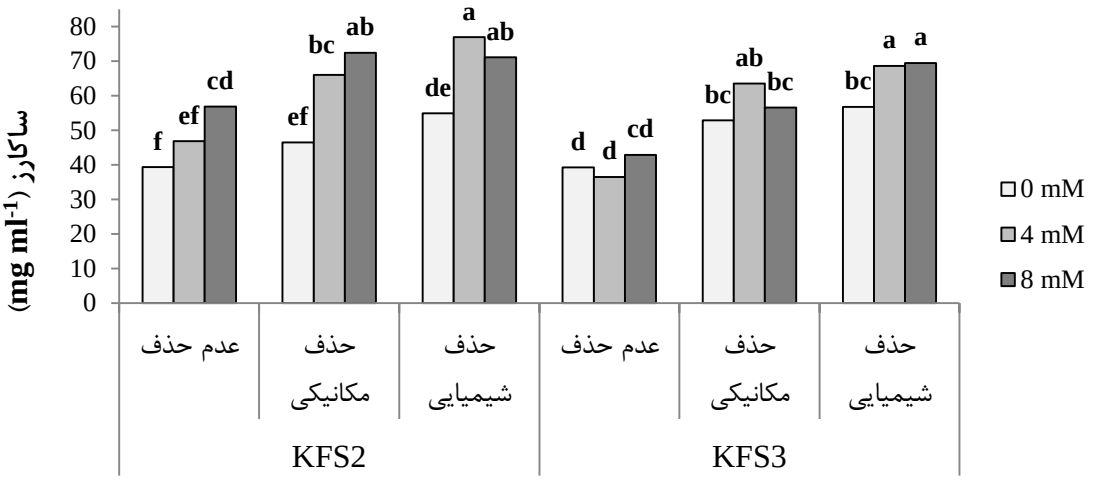
میلی‌لیتر به طور معنی داری سبب کاهش فروکتوز در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن (۳۷/۸ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) شد (شکل ۴-۵۲).

گاناش کومار و همکاران (۲۰۱۰) میزان فروکتوز شیرابه را از ۱/۰۵ تا ۲/۳۹ درصد در بین ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم شیرین گزارش نمودند. مطالعات نشان داده است که زمان آغاز تجمع ساکارز در سلول‌های پارانشیم ساقه آغاز فاز زایشی در سورگوم شیرین است و پیش از آن میزان گلوکز و فروکتوز موجود در ساقه بالا است و سهم گلوکز از قندهای ساقه نسبت به فروکتوز بیشتر است (ایروین، ۱۹۸۵). اما با افزایش میزان تجمع ساکارز در ساقه نسبت بین گلوکز و فروکتوز کاهش یافته و به میزان تقریبا یکسانی می‌رسند.

۴-۳-۶-۳ ساکارز شیرابه

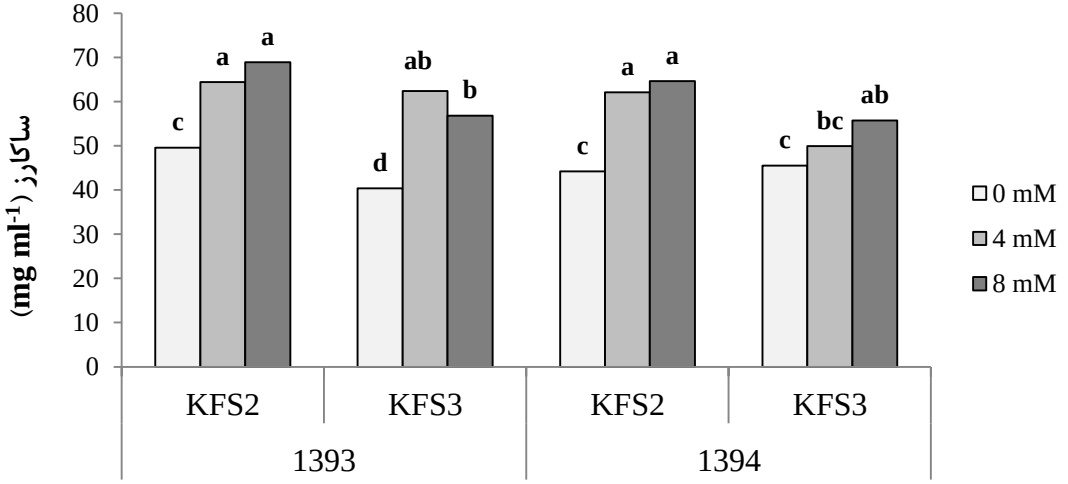
نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثرات اصلی سال آزمایش، سال×حذف مخزن و سال×رقم×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد و اثر رقم، حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم و اثرات متقابل حذف مخزن×محلول‌پاشی و رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثر چهارگانه عوامل آزمایش در سطح احتمال یک درصد بر میزان ساکارز شیرابه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳).

براساس مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۵۳، در رقم KFS2 در تیمار عدم حذف مخزن محلول‌پاشی منیزیم با غلظت ۸ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار میزان ساکارز شیرابه در مقایسه با سطوح صفر و ۴ میلی‌مولار منیزیم شد. در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان ساکارز شیرابه در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر سه سطح حذف مخزن گردید.



شکل ۵۳-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر ساکارز شیرابه

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۵۴-۴. اثر متقابل سال× رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر ساکارز شیرابه

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

به این ترتیب بیشترین میزان ساکارز شیرابه در این رقم از تیمارهای حذف شیمیایی مخزن و ۴ میلی‌مولار منیزیم (۷۶/۹ میلی‌گرم در میلی‌لیتر)، حذف شیمیایی مخزن و ۸ میلی‌مولار منیزیم (۷۱/۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) و حذف مکانیکی مخزن و ۸ میلی‌مولار منیزیم (۷۲/۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) حاصل شد. در رقم KFS3، ترکیب تیمارهای حذف مکانیکی و شیمیایی مخزن همراه با هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم میزان ساکارز شیرابه را نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و غلظت‌های صفر و ۴ میلی مولار منیزیم به طور معنی‌داری افزایش داد. (شکل ۴-۵۳).

برش‌دهی اثر متقابل سال×رقم×محلول‌پاشی منیزیم نشان داد در سال ۱۳۹۳، در هر دو رقم مورد بررسی غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان ساکارز شیرابه را در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم به طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۴-۵۴). در سال ۱۳۹۴، نیز روند مشابهی حاصل شد به طوری‌که در هر دو رقم مورد بررسی میزان ساکارز شیرابه با محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم افزایش معنی‌دار یافت.

مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل چهار عامل آزمایش در شکل ۴-۵۵ آمده است. براین اساس، در سال ۱۳۹۳، بیشترین میزان ساکارز شیرابه از تیمارهای حذف شیمیایی مخزن و محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی و حذف مکانیکی مخزن و غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم در KFS2 و حذف مکانیکی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم در KFS3 بدست آمد.

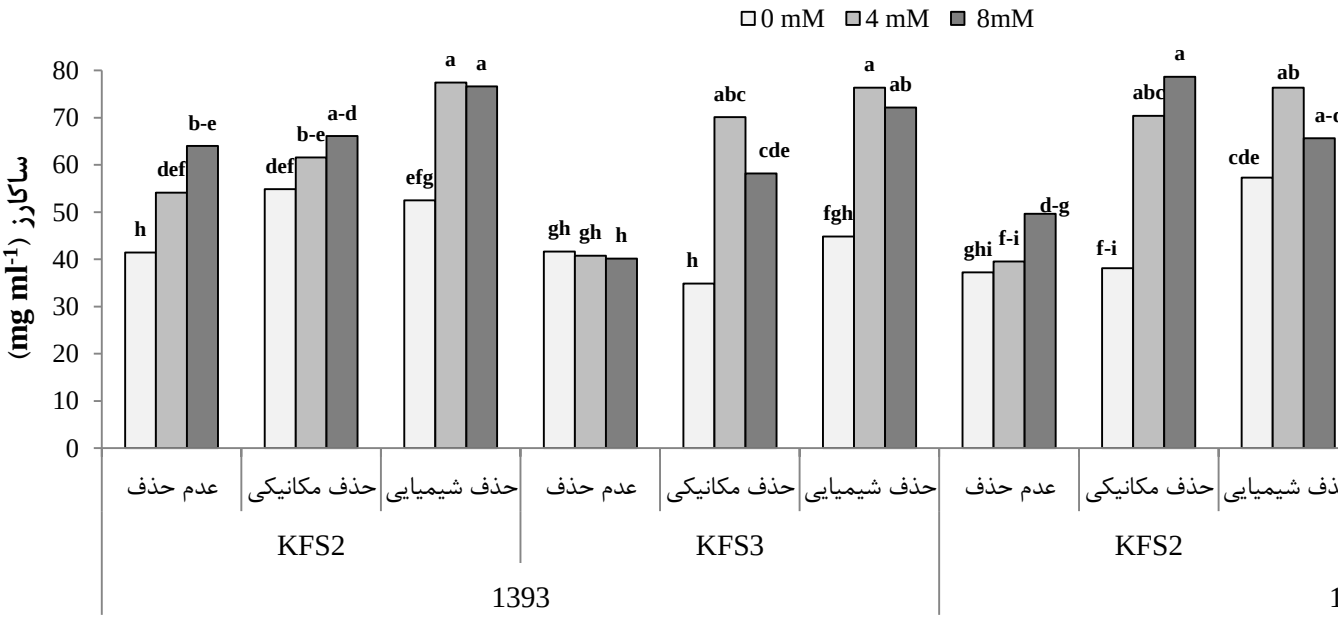
در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 افزایش غلظت منیزیم در تیمار عدم حذف مخزن تاثیر معنی‌داری بر میزان ساکارز شیرابه نداشت. در این رقم و در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان ساکارز شیرابه شدند و با تیمارهای عدم حذف مخزن و سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی تفاوت معنی‌دار نشان دادند. در رقم KFS3 و در حذف مکانیکی مخزن بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. در حذف شیمیایی مخزن در این رقم،محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار

منیزیم سبب افزایش معنی‌دار ساکارز شیرابه در مقایسه با تیمارهای عدم حذف مخزن و سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی شد (شکل ۴-۵۵). در تیمارهای حذف مکانیکی مخزن در هر دو رقم نیز افزایش غلظت منیزیم سبب افزایش میزان ساکارز شیرابه شد به طوری‌که بیشترین میزان ساکارز شیرابه در این تیمار حذف مخزن از غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم در رقم KFS2 به میزان ۷۸/۶ میلی‌گرم در میلی‌لیتر بدست آمد. در تیمارهای حذف شیمیایی مخزن در هر دو رقم افزایش غلظت منیزیم تا سطح ۴ میلی‌مولار سبب افزایش معنی‌دار و سپس در سطح ۸ میلی‌مولار منجر به کاهش میزان ساکارز شیرابه شد.

نتایج آزمایش حاضر نشان داد در هر دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی قند غالب در شیرابه ساکارز بوده و پس از آن گلوکز و در نهایت فروکتوز قندهای تشکیل‌دهنده شیرابه بودند. چنین روندی از میزان تجمع قندهای مختلف در شیرابه سورگوم شیرین توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (زو و همکاران، ۲۰۰۹؛ گوئیگو و همکاران، ۲۰۱۱؛ فرناندز و همکاران، ۲۰۱۴).

لینگل و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که ارقامی از سورگوم شیرین که دارای مقادیر بالاتری از ساکارز نسبت به سایر قندها هستند می‌تواند به صورت قندهای رومیزی مورد استفاده قرار گیرند در حالی که ارقامی با گلوکز بالاتر برای تهیه شربت مناسب هستند. برخی محققان معتقدند بالا بودن میزان ساکارز می‌تواند سبب کریستالیزه شدن شیرابه شود به ویژه آنکه شیرابه قبل از ورود به فرآیند تخمیر در شرایط تبخیر قرار گیرد که برای رفع این مشکل برخی تولیدکنندگان پس از برداشت ساقه‌های سورگوم شیرین آنها را در سطح مزرعه برای چندین روز رها می‌نمایند تا میزان کرستالیزه شدن ساکارز کاهش یابد (اسمیت، ۱۹۸۲). همچنین مطالعات نشان داده است که میزان ساکارز به عنوان قند غالب در شیرابه ساقه سورگوم شیرین در پایان مرحله گلدهی کمترین میزان و در زمان خمیری نرم بیشترین مقدار را دارا است و بر همین اساس مدیریت زراعی را باید تنظیم نمود (لینگل، ۱۹۸۷). از سوی دیگر بررسی‌ها نشان داده است میزان ساکارز در بخش‌های میانی ساقه بیشتر است چرا که در این قسمت از ساقه اندازه سلول‌ها و واکوئل‌ها بزرگتر است (سهتیا و همکاران، ۱۹۹۱).

براساس نتایج آزمایش حاضر حذف مخزن سبب افزایش معنی‌دار میزان ساکارز شیرابه شد. فورتمیر و شوبرت (۱۹۹۵) با مقایسه لاین‌های نابارور و بارور (چنانچه حذف مخزن معادل ناباروری درنظر گرفته شود) نشان دادند که میزان کربوهیدرات‌های محلول در شیرابه لاین‌های نابارور تا ۹۰ درصد بیشتر از لاین‌های بارور بود. همچنین همراه شدن محلول‌پاشی منیزیم با تیمارهای مختلف حذف مخزن سبب افزایش ساکارز شیرابه شد. گرنداس و فوهرس (۲۰۱۲) نشان دادند که کاربرد کودهای حاوی منیزیم می‌تواند میزان قند را در گیاهان قندی افزایش دهد هرچند این تاثیر به شدت به نوع کود، گیاه و شرایط محیطی وابسته است. کاکماک و همکاران (۱۹۹۴) معتقد است توانایی منیزیم در افزایش میزان قند می‌تواند در نتیجه تاثیر این عنصر بر تسهیل فرآیند بارگیری فلوئم و خروج سریع‌تر مواد فتوسنتزی به ویژه ساکارز از برگ‌های مبدا باشد.



شکل ۵۵-۴. اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر ساکارز شیرابه

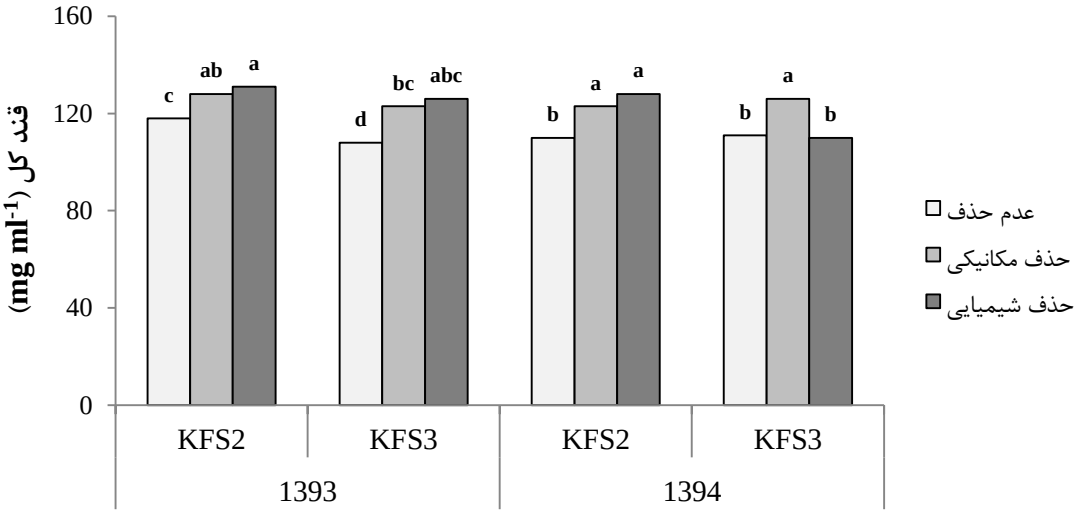
سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۴-۶-۳-۴ قندکل شیرابه

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثر اصلی سال، رقم، حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم، اثر متقابل سال×حذف مخزن و اثرات سه‌گانه سال×رقم×حذف مخزن، رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثر چهارگانه عوامل آزمایش در سطح احتمال یک درصد و اثرات دوگانه رقم×حذف مخزن و حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان قند کل معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳).

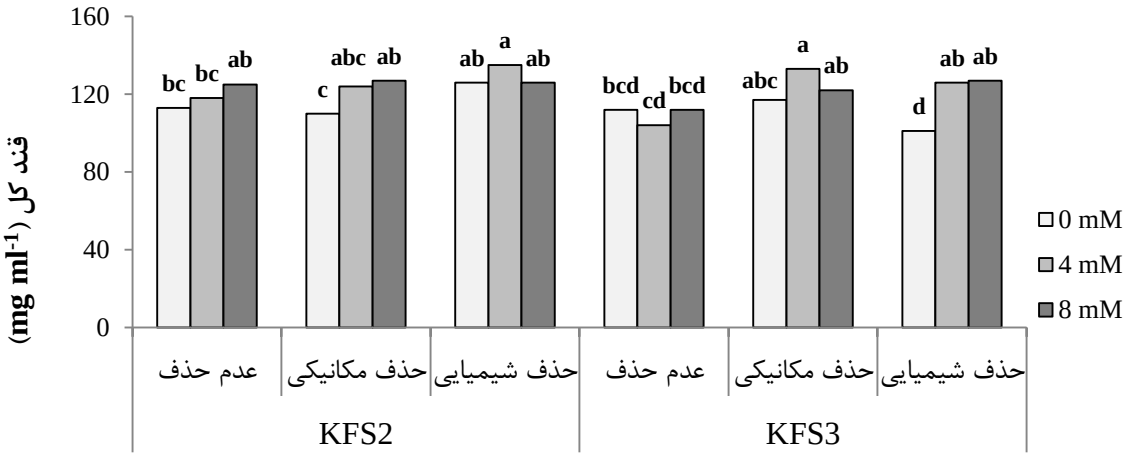
در دو سال آزمایش واکنش دو رقم سورگوم شیرین به حذف مخزن از نظر میزان قند کل شیرابه متفاوت بود (شکل ۴-۵۶). برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد در سال ۱۳۹۳، حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن در هر دو رقم مورد بررسی سبب افزایش معنی‌دار میزان قندکل شیرابه در مقایسه با عدم حذف مخزن شدند. بر این اساس در رقم KFS2 بیشترین میزان قند کل شیرابه از حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن به ترتیب با مقادیر ۱۲۸ و ۱۳۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر حاصل شد. در رقم KFS3 نیز حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن به ترتیب به میزان ۱۱/۸ و ۱۶/۴ درصد میزان قند کل شیرابه را نسبت به سطح عدم حذف مخزن افزایش دادند. در سال ۱۳۹۴، حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن به طور معنی‌داری قند کل شیرابه را در رقم KFS2 افزایش دادند درحالی‌که در رقم KFS3 افزایش معنی‌دار نسبت به عدم حذف مخزن تنها در حذف مکانیکی مخزن مشاهده شد (شکل ۴-۵۶).

براساس مقایسه‌های میانگین اثر رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی در شکل ۴-۵۷، در رقم KFS2 حذف شیمیایی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم با مقدار ۱۳۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر، میزان قند کل شیرابه را نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطوح صفر و چهار میلی‌مولار محلول‌پاشی منیزیم افزایش داد. در شرایط حذف مکانیکی مخزن محلول‌پاشی با غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم میزان قند کل در شیرابه را نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در همین تیمار به طور معنی‌داری افزایش داد. در رقم KFS3، حذف مکانیکی مخزن در هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم و حذف شیمیایی



شکل۵۶-۴. اثر متقابل سال× رقم× حذف مخزن بر میزان قند کل شیرابه

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



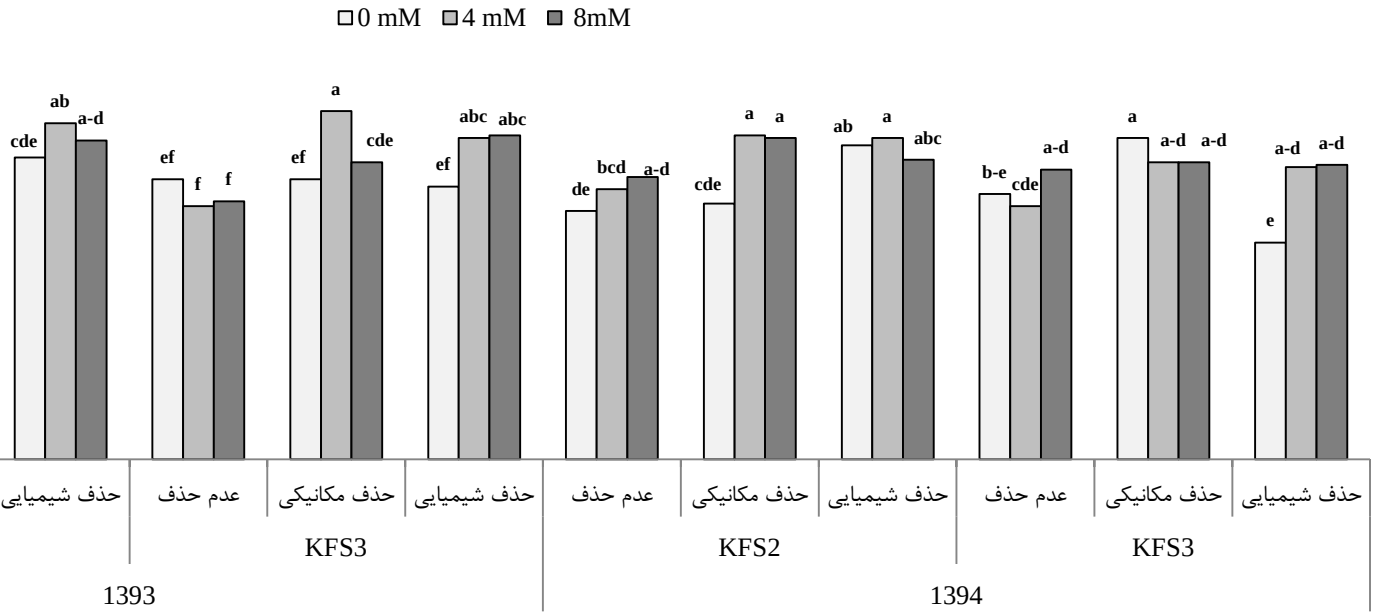
شکل۵۷-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر قند کل شیرابه

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

مخزن و محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان قند کل شیرابه نسبت به تیمار حذف شیمیایی مخزن و صفرمحلول‌پاشی منیزیم گردید. همچنین میزان قند کل شیرابه در تیمار ۴ میلی‌مولار منیزیم و حذف مکانیکی مخزن نسبت به تمام سطوح محلول‌پاشی منیزیم در عدم حذف مخزن افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل۴-۵۷).

بررسی اثرات چهارگانه عوامل آزمایش بر میزان قندکل شیرابه در شکل۴-۵۸ نشان داد در سال ۱۳۹۳، در هر دو رقم مورد بررسی در تیمار عدم حذف مخزن بین غلظت‌های مختلف منیزیم تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر میزان قند کل شیرابه وجود نداشت. در حذف مکانیکی مخزن در رقم KFS2 نیز روند مشابهی مشاهده شد. در حذف شیمیایی مخزن در رقم KFS2 محلول‌پاشی با غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان قند کل در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در این تیمار شد. در رقم KFS3 حذف مکانیکی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم و نیز حذف شیمیایی مخزن و غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان قند کل نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر سه سطح حذف مخزن و سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در تیمار عدم حذف مخزن شدند.

در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 حذف مکانیکی مخزن و غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در این تیمار و در سطح عدم حذف مخزن در هر دو رقم مورد بررسی تفاوت معنی‌داری نشان دادند اما در حذف شیمیایی مخزن و عدم حذف مخزن تفاوتی بین سطوح محلول‌پاشی منیزیم مشاهده نشد. در رقم KFS3 بین سطوح عدم حذف مخزن در غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی منیزیم تفاوتی از نظر تاثیر بر میزان قند کل شیرابه مشاهده نشد. در حذف مکانیکی مخزن نیز روندمشابهی مشاهده شد. در حذف شیمیایی مخزن میزان قند کل شیرابه با محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در این تیمار افزایش معنی‌دار پیدا نمود (به ترتیب با مقادیر ۱۲۰ و ۱۲۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر).



شکل۵۸-۴. اثر متقابل سال× رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان قند کل شیرابه

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثر

براساس این نتایج مشخص گردید 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 (۲۰۱۱) 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 و عملکرد اتانول تفاوت معنی‌دار وجود داشت. اسمیت و باکستون (۱۹۹۳) معتقدند معنی‌دار بودن اختلاف ژنوتیپ‌های سورگوم شیرین در سال‌های مختلف یک آزمایش در صفاتی مانند قند موجود در شیرابه بیانگر تاثیر قابل توجه شرایط اقلیمی بر این صفات است.

جین و همکاران (۲۰۱۳) با مقایسه ترکیبات مختلف نشان دادند کاربرد منیزیم و منگنز و نیز ترکیبات حاوی اتیلن تاثیر معنی‌داری بر افزایش میزان ساکارز، قندهای غیراحیائی و در نهایت قند کل در گیاه نیشکر داشت که این افزایش ناشی از تاثیر بر فعالیت آنزیم‌های متابولیزکننده ساکارز بود. برادهد (۱۹۷۳) افزایش میزان قند را در نتیجه حذف مکانیکی خوشه در سورگوم شیرین گزارش کرده است. همچنین محققان بیان داشتند کاربرد اتفون می‌تواند با آزادسازی اتیلن در داخل گیاه آنزیم‌های دخیل در فرآیند سنتز ساکارز را که قند اصلی در ساقه سورگوم شیرین محسوب می‌گردد افزایش دهند که این افزایش در میزان قند کل نمود پیدا می‌نماید (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

۴-۳-۷ عملکرد قند

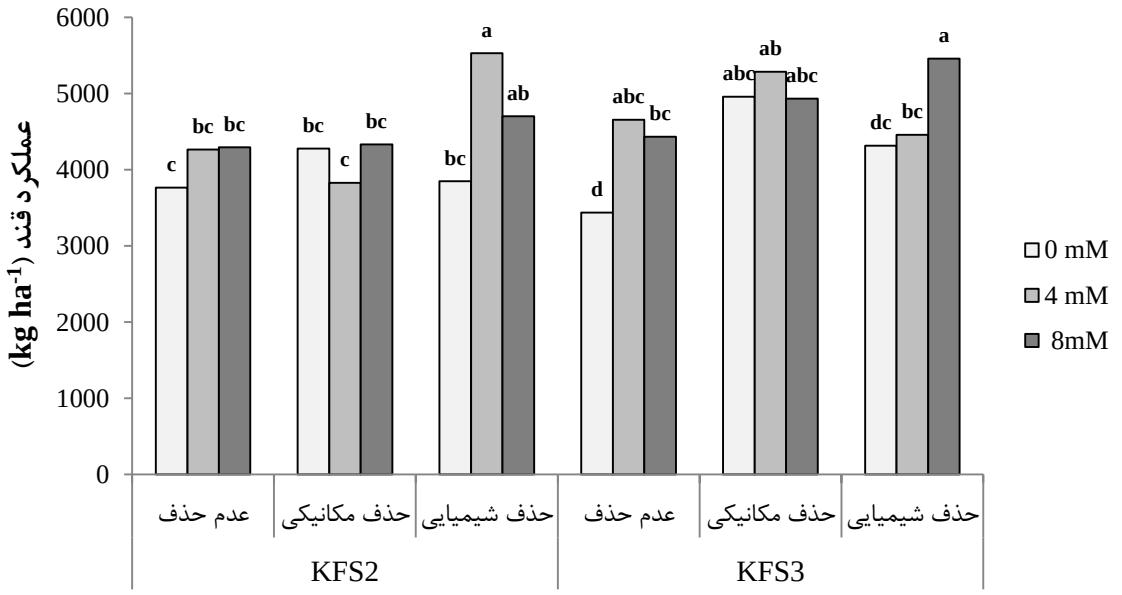
نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نشان داد عملکرد قند به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی سال آزمایش، رقم، حذف مخزن و محلول‌پاشی و اثر متقابل سال×حذف مخزن و رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثر چهارگانه عوامل در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۳). همچنین اثر متقابل رقم×حذف مخزن و حذف مخزن×محلول‌پاشی بر عملکرد قند در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

براساس مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۵۹، در رقم KFS2، حذف شیمیایی مخزن و غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم به طور معنی‌داری میزان عملکرد قند را نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش دادند (به ترتیب با مقادیر ۳۴۲۸ و ۲۶۰۲ کیلوگرم در هکتار). در رقم KFS3، به جز حذف شیمیایی مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم تمام ترکیبات تیماری میزان عملکرد قند را نسبت به تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش معنی‌دار دادند.

در بررسی اثرات چهارگانه عوامل آزمایش مشخص شد در سال ۱۳۹۳، ترکیب تیماری KFS2 ×حذف شیمیایی مخزن×۴ میلی‌مولار منیزیم و KFS3 ×حذف شیمیایی مخزن×۸ میلی‌مولار منیزیم و KFS3 ×حذف مکانیکی مخزن×۴ میلی‌مولار منیزیم بیشترین میزان عملکرد قند را دارا بودند و با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم تفاوت معنی‌داری داشتند (شکل ۴-۶۰). در سال ۱۳۹۴ و در رقم KFS2، غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم و در رقم KFS3 غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم در تیمار عدم حذف مخزن سبب افزایش معنی‌دار عملکرد قند نسبت به سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در این تیمار شدند. همچنین در رقم KFS2 حذف مکانیکی مخزن و غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم و نیز حذف شیمیایی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم تاثیر معنی‌داری بر عملکرد قند در مقایسه با سایر ترکیبات تیماری در این رقم داشتند. در رقم KFS3 در بین سطوح محلول‌پاشی منیزیم در حذف مکانیکی مخزن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی در حذف شیمیایی مخزن افزایش غلظت منیزیم عملکرد قند را به طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۴-۶۰).

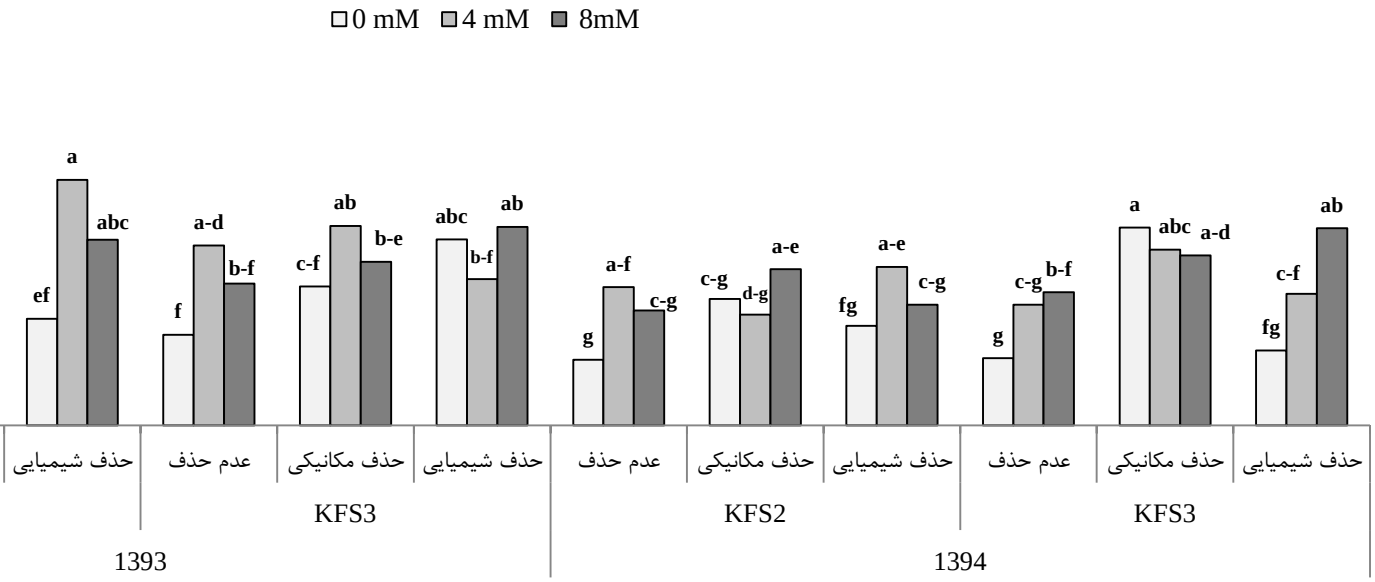
همراه شدن محلول‌پاشی منیزیم با حفظ مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه از طریق حذف مخزن و ممانعت از تشکیل دانه توانست عملکرد قند که اصلی‌ترین هدف در توسعه کشت سورگوم شیرین است را به نحو مطلوب‌تری افزایش دهد. همانگونه که مشاهده شد واکنش دو رقم مورد بررسی به این ترکیبات تیماری متفاوت بود. محققان نشان دادند که کاربرد اتفون می‌تواند عملکرد ساقه، عملکرد قند و صفات کیفی مرتبط با قند را در ارقام مختلف نیشکر به طور معنی‌داری افزایش دهد (تایر،

۱۹۷۴). هاردی و همکاران (۱۹۸۶) معتقدند کاربرد حذف شیمیایی در زمان مناسب تاثیر بالایی بر میزان عملکرد گیاه قندی و کیفیت قند تولید شده در آن دارد. به‌طوری‌که این محققان 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 (گانش کومار و همکاران، ۲۰۱۰). در پژوهشی با بررسی ۳۷ رقم سورگوم شیرین نیز بین ارقام مختلف از نظر میزان عملکرد قند تفاوت زیادی مشاهده شد و مشخص گردید 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 (فراریس،b ۱۹۸۱).



شکل ۵۹-۴. اثر متقابل رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد قند

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۶۰-۴. اثر متقابل سال× رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد قند

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات

۸-۳-۴ عملکرد بالقوه اتانول

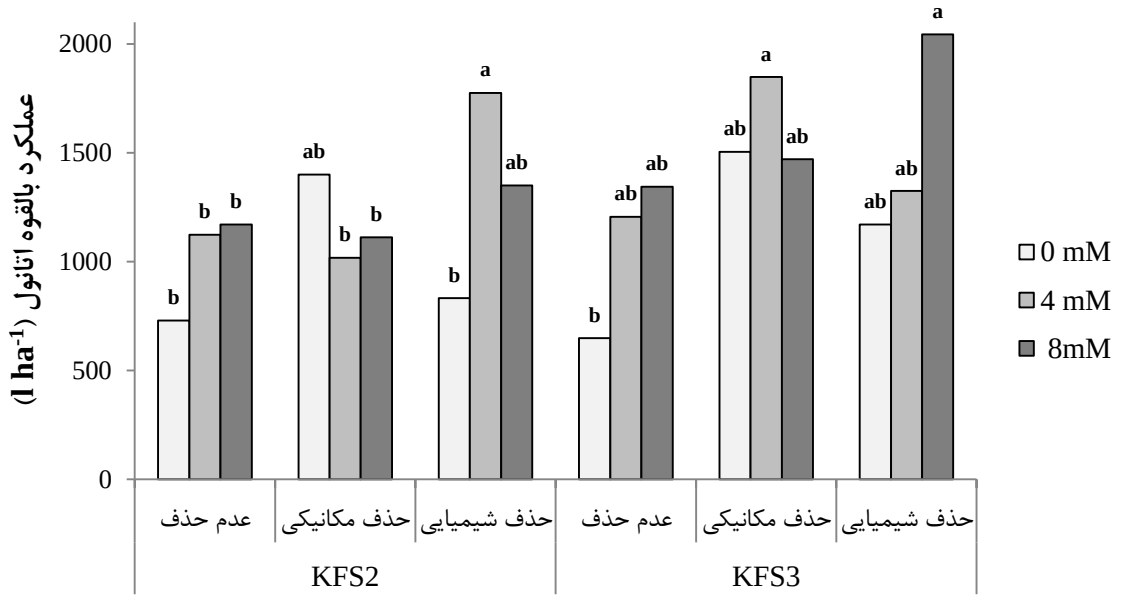
براساس نتایج آزمایش اثر اصلی سال، رقم، حذف مخزن و محلول‌پاشی منیـزیم و اثـر متقابـل حـذف مخزن×محلول‌پاشی و رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی بر عملکرد بالقوه اتانول در سـطح احتمـال یـک درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳).

نتایج مقایسه میانگین سال‌های آزمایش نشان داد بین دو سال آزمایش از نظر میـزان عملکـرد بـالقوه اتانول تفاوت معنی‌دار وجود داشت. براین اساس میزان عملکـرد بـالقوه اتـانول در سـال ۱۳۹۳، برابـر ۱۴۰۵/۳ لیتر در هکتار و در سال ۱۳۹۴، ۱۱۵۸ لیتر در هکتار بود.

براساس برش‌دهی اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی، در رقم KFS2 افزایش غلظت منیزیم در تیمار عدم حذف مخزن تاثیری بر میزان عملکرد بالقوه اتانول نداشت. مشابه این رونـد در تیمارهـای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن نیز مشاهده شد به طوری‌که غلظت‌های مختلف محلول‌پاشـی منیزیم تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر عملکرد بالقوه اتانول نداشـتند. تنهـا تیمـار حـذف شـیمیایی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان عملکرد بالقوه اتانول در مقایسـه بـا سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم در شرایط عدم حذف مخزن شد (شـکل ۴-۶۱). در رقـم KFS3 نیز افزایش غلظت منیزیم محلول‌پاشـی تـاثیر معنـی‌داری بـر میـزان عملکـرد بـالقوه اتـانول در بـین تیمارهـای مختلـف حـذف مخـزن نداشـت. تنهـا تیمارهـای حـذف مکـانیکی مخـزن و غلظـت ۴ میلی‌مولارمنیزیم و حذف شیمیایی مخزن و غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب با مقادیر ۱۸۴۸/۱ و ۲۰۴۳/۴ لیتر در هکتار بیشترین میزان عملکرد بالقوه اتانول در این رقم را داشتند که بـا تیمـار عـدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (۶۴۸ لیتر در هکتار) تفاوت معنی‌دار نشان دادند.

دالوی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی ۲۰ ژنوتیپ مختلف سورگوم شیرین نشان دادند که عملکرد اتانول در بین ژنوتیپ‌ها از ۴۵۳ تا ۱۱۵۴ لیتر در هکتار متغیر بود. میری (۱۳۹۲) معتقد اسـت تغییـرات در رشد و جذب مواد فتوسنتزی که منجر به تجمع بیشتر ماده خشک به خصوص در ساقه می‌گردد عامل اصلی تغییرات در عملکرد اتانول و اجزای آن در بین ژنوتیپ‌های سورگوم شیرین است.

براساس نتایج آزمایش حاضر حذف مخزن سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بالقوه اتانول شد. هولوی و استیونس(۲۰۱۲) نیز نشان دادند حذف خوشه در سورگوم شیرین می‌تواند فرآیند تبدیل قندهای تجمع یافته در ساقه به اتانول را تسریع و عملکرد اتانول را افزایش دهد. چراکه اگر به جای استفاده از قندهای موجود در شیرابه در فرآیند تولید اتانول از تبدیل کربوهیدرات‌های موجود در بذر استفاده شود به دلیل آنکه در داخل بذور، قندها به فرم نشاسته ذخیره می‌شوند در نتیجه انرژی بیشتری برای شکستن پیوندهای بین آمیلوز و آمیلوپکتین قبل از آزادسازی مونوساکاریدها برای تخمیر و تولید اتانول لازم است که هزینه تولید اتانول را افزایش می‌دهد.



شکل۶۱-۴. اثر متقابل رقم×حذف مخزن ×محلول‌پاشی منیزیم بر عملکرد بالقوه اتانول

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۹-۳-۴ شاخص سطح اسمیلات‌کننده

نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد اثر اصلی سال و اثر متقابل سال×حذف مخزن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم×حذف مخزن در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده معنی‌دار بود (جدول پیوست ۳).

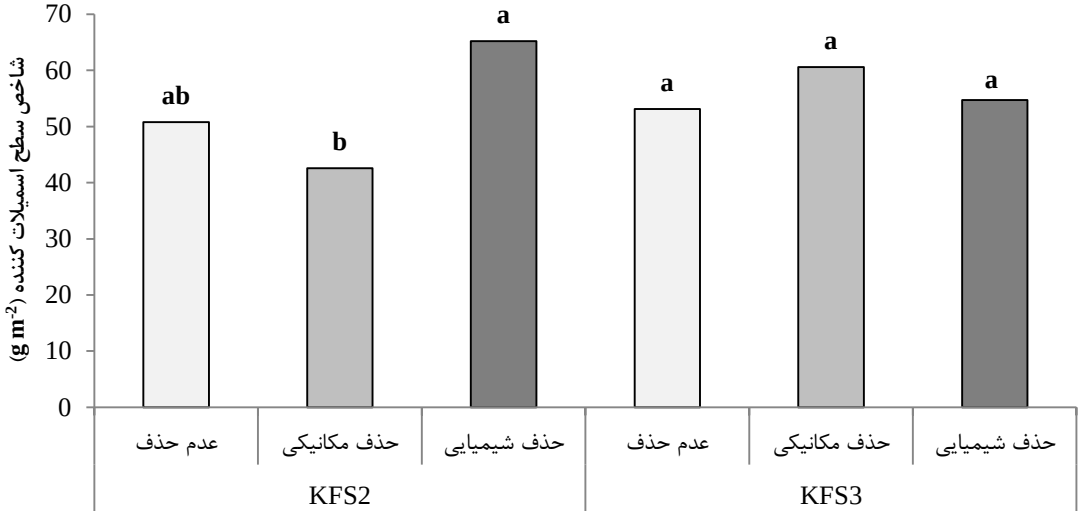
نتایج مقایسه‌های میانگین در شکل ۴-۶۲ نشان داد در رقم KFS2، بین حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن از نظر تاثیر بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده تفاوت آماری وجود داشت و میزان این شاخص از ۴۲/۶ گرم قند به ازای هر مترمربع سطح فتوسنتزکننده در حذف مکانیکی مخزن به ۶۵/۲ گرم در مترمربع در حذف شیمیایی مخزن رسید. تیمار عدم حذف مخزن در این رقم تفاوت معنی‌داری با حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن نداشت. در رقم KFS3 نیز بین سطوح مختلف حذف مخزن تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۴-۶۲).

بررسی مقایسه‌های میانگین اثر متقابل سال×حذف مخزن نشان داد در سال ۱۳۹۳، بین حذف شیمیایی و حذف مکانیکی مخزن تفاوت معنی‌دار وجود داشت. همچنین در این سال بین تیمار عدم حذف مخزن و تیمارهای حذف مخزن تفاوتی مشاهده نشد. در سال ۱۳۹۴، نیز بیشترین میزان شاخص سطح اسمیلات‌کننده از حذف شیمیایی مخزن بدست آمد که سبب افزایش معنی‌دار این صفت به میزان ۳۰ درصد در مقایسه با شرایط عدم حذف مخزن شد (شکل۴-۶۳).

شاخص سطح اسمیلات‌کننده نشان دهنده توانایی و سهم سطح فتوسنتزکننده در سورگوم شیرین برای افزایش عملکرد قند است. در واقع این شاخص نشان می‌دهد که برای دستیابی به میزان مشخصی از عملکرد قند به چه میزان سطح برگ برای فتوسنتز نیاز است. به این ترتیب هر چه میزان سطح برگ مورد نیاز برای این میزان مشخص عملکرد قند کمتر باشد شاخص سطح اسمیلات‌کننده بیشتر است که نشان می‌دهد بافت‌های مبدا توان فتوسنتزی بالایی داشته و یا آنکه فرآیند تسهیم مواد فتوسنتزی، در راستای ذخیره قند بیشتر در ساقه سورگوم شیرین عمل کرده است.

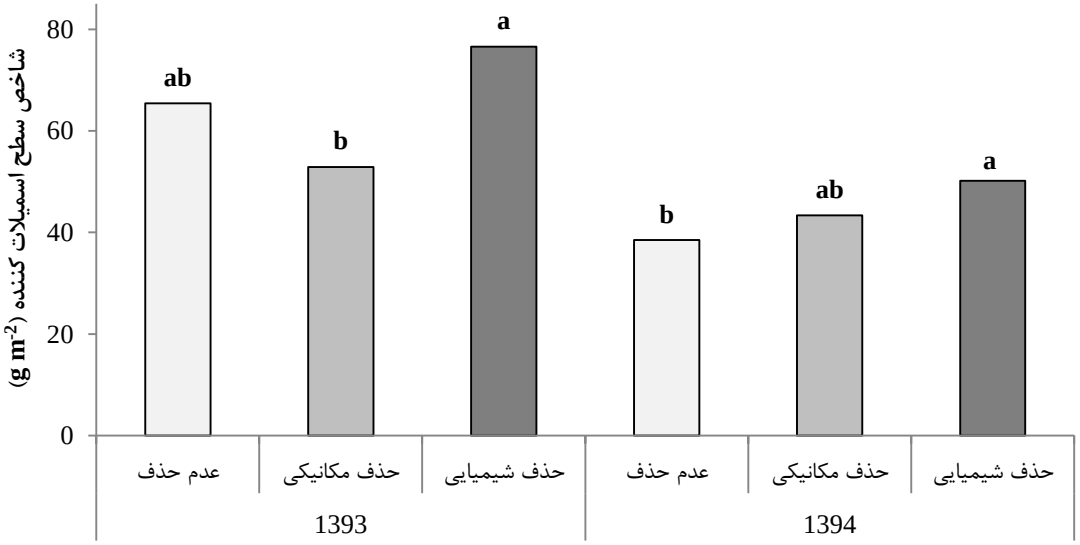
براساس نتایج آزمایش استفاده از اتفون در حذف شیمیایی مخزن سبب شد شاخص سطح اسمیلات‌کننده به طور معنی‌داری افزایش یابد. این افزایش می‌تواند ناشی از تاثیر اتفون بر افزایش توان فتوسنتزی گیاه در واحد سطح برگ باشد. خان (۲۰۰۴) نیز نشان داد استفاده از اتفون از طریق افزایش هدایت روزنه‌ای، حفظ میزان CO_2 داخل سلول و افزایش ظرفیت انتقال الکترون در مزوفیل سبب افزایش فتوسنتز خالص در برگها می‌شود. از سوی دیگر کاربرد اتفون می‌تواند بر انتقال و تخصیص مواد فتوسنتزی نقش داشته باشد که سبب افزایش عملکرد قند و در نهایت افزایش شاخص سطح اسمیلات‌کننده باشد. روبرتو و همکاران (۲۰۱۵) با مقایسه میزان تولید قند در برگ‌ها و ذخیره آن در ساقه نیشکر نشان دادند کاربرد اتفون می‌تواند منجر به افزایش انتقال ساکارز و قندهای احیایی ساخته شده از برگ‌ها به ساقه شود. این محققان بر وجود اثر متقابل بین نوع رقم و اتفون و تاثیر آن بر میزان تجمع قند همانند آزمایش حاضر تاکید داشتند.

همچنین نتایج آزمایش نشان داد بین حذف مکانیکی مخزن و عدم حذف مخزن تفاوتی در میزان شاخص سطح اسمیلات‌کننده وجود نداشت. به نظر می‌رسد هرچند حذف مکانیکی مخزن سبب افزایش عملکرد قند ساقه در سورگوم شیرین و نیز بهبود فتوسنتز گیاه از طریق افزایش شاخص سطح برگ و میزان کلروفیل‌های موجود در آن شده است اما نتواسته بر نسبت این اجزا به عنوان شاخص سطح اسمیلات‌کننده تاثیر معنی‌داری داشته باشد. مشابه این شرایط در مورد اثر محلول‌پاشی منیزیم بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده نیز مشاهده شد که بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر این صفت وجود نداشت.



شکل۶۲-۴. اثر متقابل رقم×حذف مخزن بر شاخص سطح اسمیلات‌کننده

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۶۳-۴ . اثر متقابل اثر سال× حذف مخزن بر شاخص سطح اسمیلات کننده

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

۴-۴ آنزیم‌های متابولیزکننده ساکارز

۴-۴-۱ فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی

نتایج تجزیه مرکب داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد اثر اصلی حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم و اثر متقابل حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم×حذف مخزن، سال×رقم×حذف مخزن ، رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی و اثر چهارگانه عوامل آزمایش در سطح پنج درصد بر میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴).

برش‌دهی اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن در شکل ۴-۶۴ نشان داد در سال ۱۳۹۳، حذف شیمیایی مخزن در رقم KFS2 و حذف مکانیکی مخزن در رقم KFS3 سبب کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی در مقایسه با عدم حذف مخزن در هر دو رقم شد. بین حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن در دو رقم مورد بررسی در این سال از نظر تاثیر بر فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در سال ۱۳۹۴، در رقم KFS2 حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن (به ترتیب با مقادیر ۸/۹ و ۹/۲ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر) سبب کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی در مقایسه با عدم حذف مخزن با میزان ۱۱/۳ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر شد. در رقم KFS3 بین سطوح مختلف حذف مخزن از نظر تاثیر بر فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

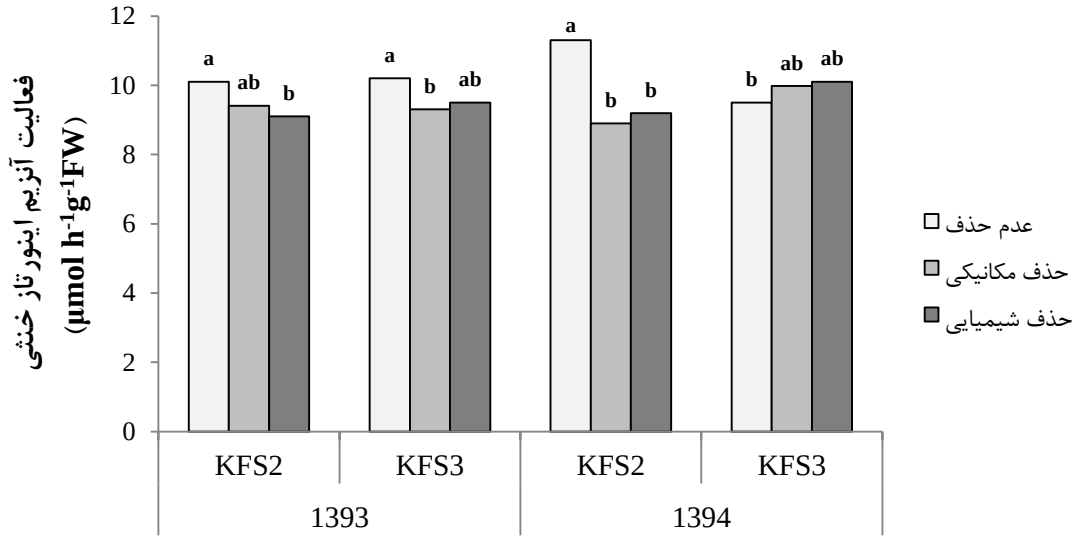
برش‌دهی اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم نشان داد در رقم KFS2، در شرایط عدم حذف مخزن محلول‌پاشی منیزیم با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی در این شرایط شد. در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن نیز محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف منیزیم سبب کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی در مقایسه با تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد (شکل ۴-

۶۵). در رقم KFS3 نیز در شرایط عدم حذف مخزن محلول‌پاشی منیزیم با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی به ترتیب به میزان ۲۲ و ۱۸ درصد در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی در این شرایط شد. اما در حذف مکانیکی مخزن تنها غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم و در حذف شیمیایی مخزن غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب کاهش معنی‌دار فعالیت این آنزیم در مقایسه با عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شدند (شکل ۴-۶۵).

مقایسه میانگین اثر چهارگانه عوامل آزمایش بر میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی در شکل ۴-۶۶ آمده است. براساس نتایج در سال ۱۳۹۳، تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی، بیشترین میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی را نشان دادند. میانگین‌های سایر تیمارهای آزمایش از نظر تاثیر بر فعالیت این آنزیم درگروه آماری پایین‌تری قرار گرفتند. در سال ۱۳۹۴، بیشترین میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی در رقم KFS2 از تیمار عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به میزان ۱۴/۵۸ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر بدست آمد. سایر تیمارهای آزمایش در گروه‌های آماری پایین‌تری نسبت به این تیمار قرار گرفتند.

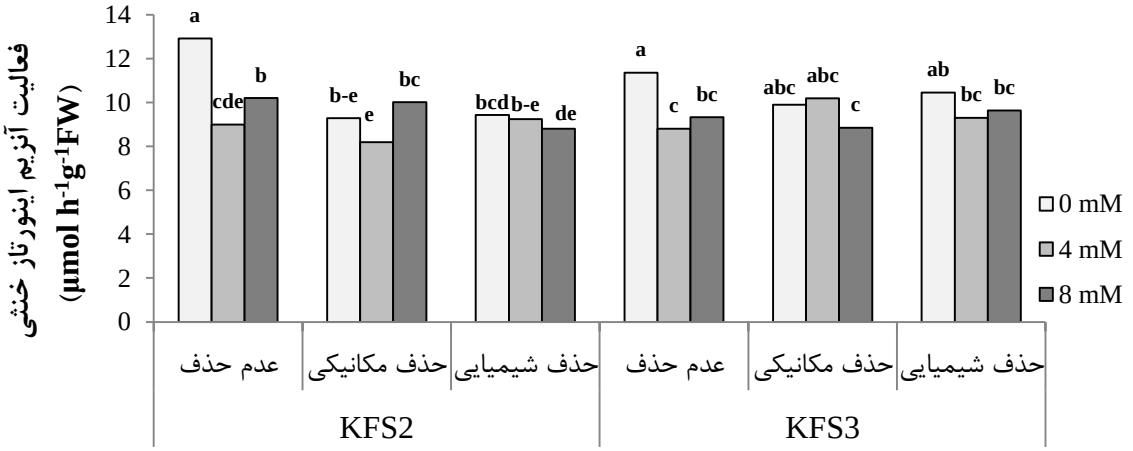
براساس نتایج آزمایش حاضر بیشترین میزان فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی در سطح عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در دو رقم مورد بررسی بدست آمد. در حالی که با اعمال حذف مکانیکی و حذف شیمایی مخزن و محلول‌پاشی منیزیم از میزان فعالیت این آنزیم در انتهای ساقه کاسته شد. در شرایط معمول رشد گیاه در مرحله پر شدن دانه میزان تنفس در بخش‌های بالایی ساقه بیشتر بوده و گیاه نیازمند تجزیه ساکارز در این ناحیه می‌باشد. مطالعات نشان داده است فعالیت بیشتر اینورتاز خنثی در سیتوزول منجر به تولید گلوکز و فروکتوز بیشتری در مقایسه با ساکارز موجود در این بخش از سلول می‌شود که عمدتا با فرآیندهای تنفس سلولی، بیوسنتز ترکیبات اولیه و ثانویه و تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با تولید قند در ارتباط هستند (استورم، ۱۹۹۹). حال آنکه با حذف

مخزن نیاز گیاه به تجزیه ساکارز کاهش یافته و در نتیجه فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده ساکارز نیز کاهش می‌یابد.



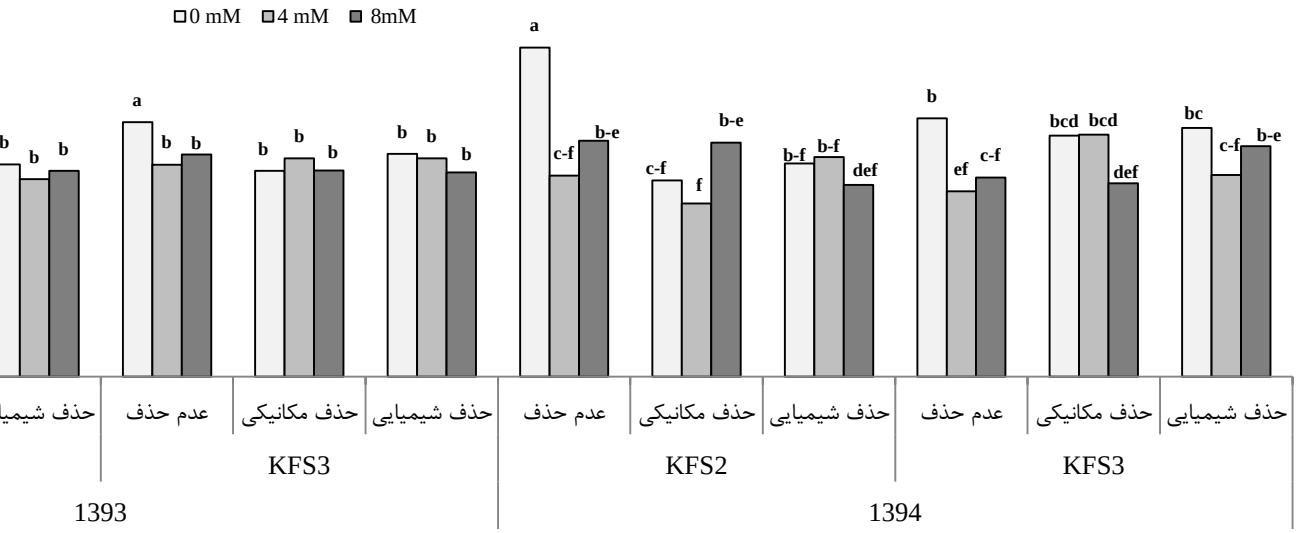
شکل۶۴-۴. اثر متقابل سال× رقم× حذف مخزن بر فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۶۵-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم اینورتاز خنثی

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل۶۶-۴. اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان فعالیت آنزیم اینورتا

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس روش برش‌د

۴-۴-۲ فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول

براساس نتایج حاصل از تجزیه مرکب، اثر اصلی رقم و اثر متقابل سال× محلول‌پاشی، سال×رقم× حذف مخزن و رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد و اثر حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم، رقم× حذف مخزن و حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم اسیداینورتاز محلول معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴).

برش‌دهی اثر متقابل سال×رقم×حذف مخزن نشان داد در سال ۱۳۹۳، بیشترین فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول از تیمار عدم حذف مخزن در ارقام KFS2 و KFS3 به ترتیب با مقادیر ۱۱/۳ و ۱۰/۵ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر بدست آمد. تیمارهای حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن در هر دو رقم مورد بررسی میزان فعالیت این آنزیم را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند (شکل۴-۶۷). در سال ۱۳۹۴، بیشترین میزان فعالیت آنزیم اسیداینورتاز محلول از عدم حذف مخزن در رقم KFS2 بدست آمد که در گروه آماری بالاتری نسبت به سایر تیمارها قرار گرفت. بین سایر تیمارهای حذف مخزن در دو رقم مورد بررسی از نظر تاثیر بر فعالیت این آنزیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

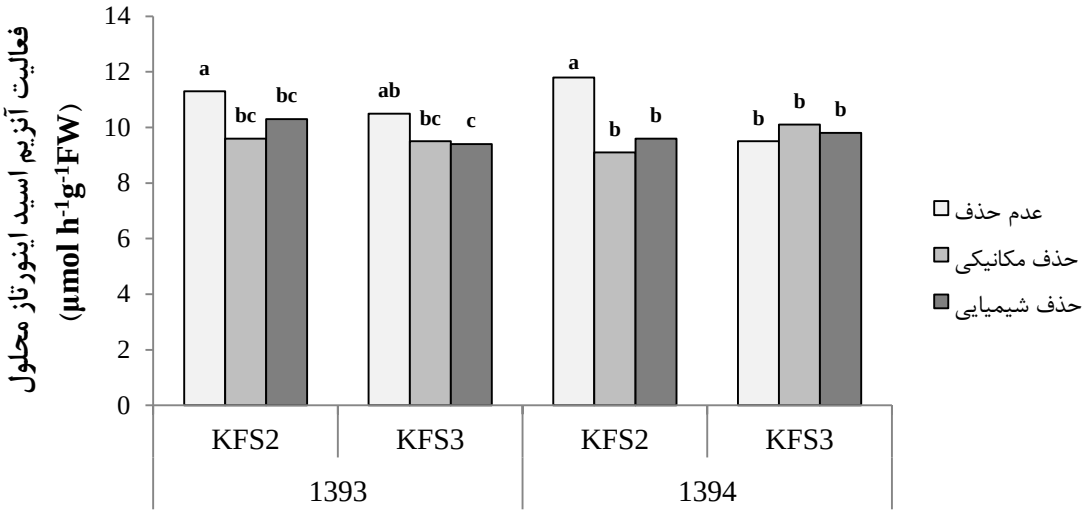
بررسی مقایسه‌های میانگین اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی در شکل ۴-۶۸ نشان داد در رقم KFS2 ، در سطح عدم حذف مخزن محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم (به ترتیب با مقادیر ۹/۴ و ۱۱/۰ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر) سبب کاهش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم اسیداینورتاز محلول در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم (۱۴/۲ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر) شد. در حذف مکانیکی مخزن افزایش غلظت منیزیم محلول‌پاشی تاثیر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم نداشت. در مقابل در حذف شیمیایی مخزن محلول‌پاشی با غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول در مقایسه با سطح صفر و ۸ میلی‌مولار منیزیم در همین تیمار حذف مخزن گردید. همچنین ترکیبات تیماری حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن و غلظت‌های مختلف منیزیم سبب کاهش معنی‌دار فعالیت این آنزیم در مقایسه با عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شدند (شکل ۴-۶۸).

در رقم KFS3، نیز در شرایط عدم حذف مخزن محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم به ترتیب سبب کاهش ۲۵ و ۱۵ درصدی فعالیت آنزیم اسیداینورتاز محلول در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شد. در این رقم نیز در حذف مکانیکی مخزن بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم از نظر تاثیر بر میزان فعالیت این آنزیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما میزان فعالیت آن را در مقایسه با عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به طور معنی‌داری کاهش داد. در حذف شیمایی مخزن محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی در حذف شیمایی و عدم حذف مخزن شد (شکل ۴-۶۸).

براساس نتایج آزمایش حاضر در شرایط عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم میزان فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود. بالا بودن میزان فعالیت این آنزیم در شرایط معمول در میانگره‌های انتهایی ارقام مختلف نیشکر و سورگوم شیرین توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (رابرتسون و همکاران، ۱۹۹۶). آنزیم اسیداینورتازمحلول در واکوئل سلول فعالیت می‌نماید و با تجزیه ذخیره ساکارز در واکوئل به ویژه در بافت‌های در حال توسعه، اصلی‌ترین منبع تامین قندهای هگزوز در داخل سلول به شمار رفته و سطح این قندها را در بافت مورد نظر تنظیم می‌نماید (رولاند و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین این امکان وجود دارد که آنزیم اسیداینورتازمحلول با فعالیت بیشتر و تجزیه ساکارز به گلوکز و فروکتوز در واکوئل در فرآیند سیگنال‌دهی گلوکز نقش داشته باشد. زو و همکاران (۱۹۹۷) معتقدند کاهش فعالیت اینورتازها به افزایش تجمع ساکارز در میانگره مورد نظر منجر خواهد شد. بر همین اساس است که در میانگره‌های بالایی سورگوم شیرین مقادیر کمتری ساکارز در مقایسه با میانگره‌های پایینی ذخیره می‌گردد. همچنین، بالا بودن میزان فعالیت این آنزیم با کاهش نسبت ساکارز به قندهای احیائی (گلوکز و فروکتوز) در بخش انتهایی ساقه همراه است (جین، ۲۰۱۳) که برای رشد پایدار خوشه همانند آنچه در گندم و جو رخ می‌دهد مورد نیاز است (سیدهو و سینگ، ۲۰۰۲؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۸).

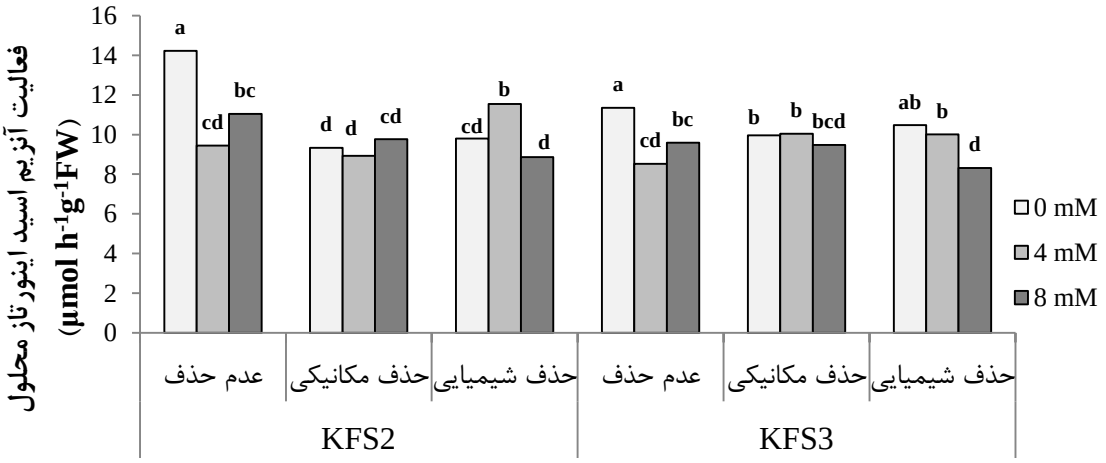
از سوی دیگر نتایج آزمایش حاضر نشان داد با حذف خوشه به روش مکانیکی و یا با استفاده از اتفون فرآیند تسهیم مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه دستخوش تغییرات اساسی گردید. در واقع با حذف مخزن رقابت بین میانگره‌های جوان و دانه برای جذب ساکارز از منبع برگ‌ها از بین می‌رود و به این ترتیب میزان فعالیت اسیداینورتاز محلول در بخش انتهایی ساقه کاهش می‌یابد. مطالعه یاو و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد کاربرد اتفون فعالیت اینورتازهای اسیدی و خنثی را در میانگره دوم ساقه نیشکر پس از یک ماه از اعمال تیمار کاهش داد. با گذشت زمان و تاثیر اتفون بر رشد گیاه که با بازدارندگی گلدهی همراه است گیاه از رشد و نمو به سمت بلوغ پیش می‌رود و براین اساس از فعالیت آنزیم‌های متابولیزکننده ساکارز کاسته شده و در مقابل بر فعالیت آنزیم‌های موثر در سنتز آن مانند ساکارز فسفات سینتاز افزوده می‌شود (کوچ، ۲۰۰۴).

براساس نتایج آزمایش حاضر میزان فعالیت آنزیم اسیداینورتاز محلول با کاربرد منیزیم کاهش پیدا نمود. این نتایج با یافته‌های جین و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. احتمال دارد با کاربرد منیزیم و افزایش توان رشد گیاه هگزوزهای تولید شده بلافاصله در مسیرهای متابولیکی مورد استفاده قرار گرفته و یا تنظیمات پس از رونویسی یا ترجمه به نحوی بوده که منجر به افزایش فعالیت آنزیم و تولید قندهای هگزوز در این شرایط شده است (هوانگ و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل۶۷-۴. اثر متقابل سال× رقم×حذف مخزن بر فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۶۸-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم اسید اینورتاز محلول

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

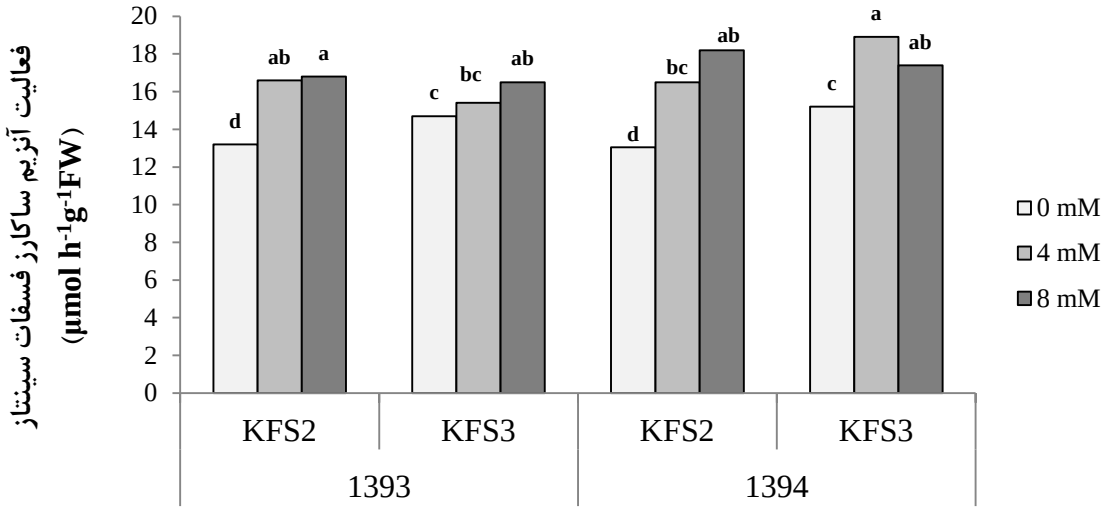
۴-۴-۳ فعالیت آنزیم ساکارزفسفات‌سینتاز

براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌های آزمایش میزان فعالیت آنزیم ساکارزفسفات‌سینتاز به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر اصلی سال، حذف مخزن، محلول‌پاشی منیزیم و اثر دوگانه حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل رقم×محلول‌پاشی، سال×حذف مخزن، سال×رقم×محلول‌پاشی، سال×حذف مخزن×محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۴).

برش‌دهی اثرات متقابل سال×رقم×محلول‌پاشی نشان داد در سال ۱۳۹۳، در رقم KFS2 افزایش غلظت منیزیم محلول‌پاشی سبب افزایش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز شد به طوری که میزان فعالیت این آنزیم را از ۱۳/۲ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر در سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم به ۱۶/۶ و ۱۶/۸میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر به ترتیب در غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم رساند. در رقمKFS3 تنها غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم توانست میزان فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز را در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم در این رقم افزایش دهد (شکل ۴-۶۹).

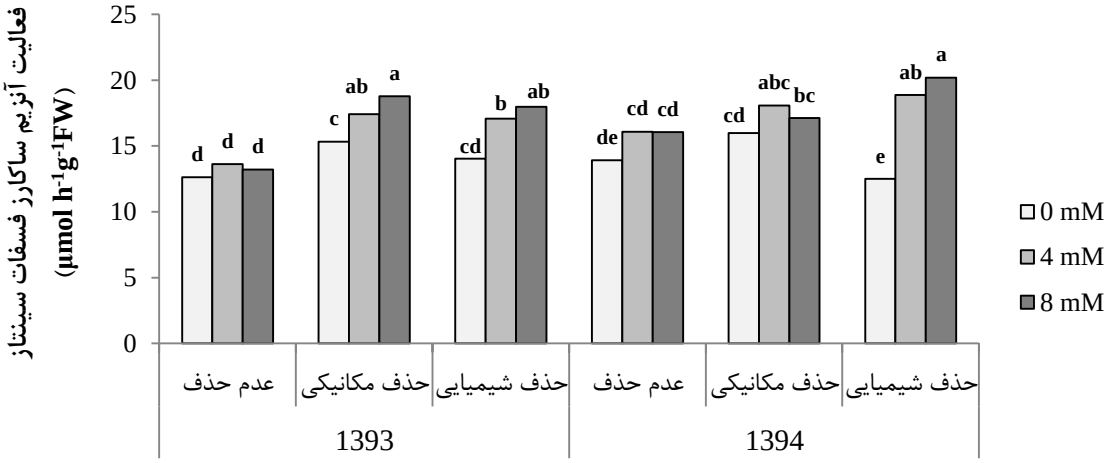
در سال ۱۳۹۴، غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در هر دو رقم مورد بررسی میزان فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز را به طور معنی‌داری در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی در رقم KFS2 افزایش دادند. بین این غلظت‌ها در هر رقم به صورت مجزا اختلاف آماری از نظر تاثیر بر فعالیت این آنزیم وجود نداشت (شکل ۴-۶۹).

بررسی مقایسه‌های میانگین اثر متقابل سال×حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر میزان فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز نشان داد در سال ۱۳۹۳، در تیمار عدم حذف مخزن بین سطوح مختلف محلول‌پاشی منیزیم از نظر تاثیر بر فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مقابل در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸



شکل ۴-۶۹. اثر متقابل سال× رقم× محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز

در هرسال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.



شکل ۷۰-۴. اثر متقابل سال× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز

در هر سال، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

میلی‌مولار منیـزیم سـبب افـزایش معنـی‌دار میـزان فعالیـت ایـن آنـزیم در مقایسـه بـا سـطح صـفر محلول‌پاشی در سطوح مختلف حذف مخزن شد (شـکل ۴-۷۰). در سـال ۱۳۹۴ نیـز در سـطح عـدم حذف مخزن تفاوتی بین غلظت‌های مختلف منیزیم از نظر تـاثیر بـر فعالیـت آنـزیم سـاکارز فسـفات سینتاز مشاهده نشد و میانگین‌های حاصل در یک گروه آمـاری قـرار گرفتنـد. در حـذف مکـانیکی و حذف شیمیایی مخزن غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار فعالیت ایـن آنـزیم در مقایسه با عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم شدند (شکل ۴-۷۰).

آنزیم ساکارز فسفات سینتاز جریان کربن به ساکارز را کنترل می‌نماید و نقش مهمی در صـدور مـواد فتوسنتزی از منبع به بافت‌های مخزن ایفا می‌نماید (جانگ و شین، ۱۹۹۴). فعالیت این آنزیم با تظاهر ژن و نیز با نقش گلوکز-۶-فسفات به عنوان فعال‌کننده و فسفات غیرآلی به عنـوان بازدارنـده کنتـرل می‌شود (کالواد و دواروماس، ۲۰۱۴). در واقع ساکارز با فعالیت ساکارزفسفات سینتاز و ساکارز سینتاز در بخش سیتوزول سلول تولید می‌شود اما میزان توزیع آن در بین بخش‌هـای مختلـف سـلول ماننـد آپوپلاست، سیتوزول و واکوئل متفاوت است و در نتیجه هر عاملی کـه بـر فعالیـت اینورتازهـا در ایـن بخش‌های سلول تاثیرگذار باشد بر میزان تولید، توزیع و ذخیره ساکارز تاثیرگذار اسـت (لـی و واتـون، ۱۹۹۶). در آزمایش حاضر حذف شیمیایی و مکانیکی مخزن و نیز محلول‌پاشی منیزیم سبب افـزایش فعالیت آنزیم ساکارزفسفات سینتاز و در نتیجه افزایش تجمع ساکارز در ساقه گردید به طوری‌که قند غالب در شیرابه حاصل از ساقه ساکارز بود. به نظر می‌رسد با حذف مکانیکی مخـزن دیگـر نیـازی بـه فعالیت اینورتازها برای تامین گلوکز و فروکتوز فعالیت‌های تنفسی و رشد در انتهای ساقه وجود ندارد و لذا فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز از انواع اینورتاز در این بخـش بیشـتر اسـت. از سـوی دیگـر محلول‌پاشی اتفون در تیمار حذف شیمیایی مخزن سبب شد تا با تولید اتیلن بیشتر در میـانگره‌هـای انتهایی گیاه در این بافت‌ها نیاز سلولی به گلوکز و فروکتوز کاهش یابد و در نتیجه از فعالیت اینورتازها کاسته شده و گیاه ساکارز بیشتری در این قسمت از ساقه ذخیره می‌نماید که نیازمند فعالیـت بیشـتر ساکارز فسفات سینتاز است. لینگل (۱۹۹۱) و بوسا و بلک (۲۰۰۰) در مطالعات خود نشان دادند هـم

فعالیت آنزیم ساکارز فسفات‌سینتاز و هم اختلاف فعالیت بین این آنزیم و اسیداینورتاز محلول همبستگی بالایی با غلظت ساکارز در میانگره‌های بالایی ساقه سورگوم شیرین داشت و با افزایش فعالیت این آنزیم میزان ساکارز به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. لی و سالمون (۲۰۰۵) بیان داشتند که کاربرد اتفون تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش تجمع قند در ساقه و افزایش میزان ساکارز نسبت به قندهای هگزوز داشت که این تاثیر در میانگره‌های انتهایی بیشتر بود. همچنین مطالعه میرون و اسکافر (۱۹۹۱) نشان داد با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی میزان فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز عموما افزایش پیدا می‌نماید که به نظر می‌رسد در آزمایش حاضر با کاربرد اتفون چنین شرایطی فراهم شده که خود عاملی در افزایش فعالیت این آنزیم است.

همچنین نتایج آزمایش نشان داد در هر دو سال آزمایش میزان فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز در رقم KFS3 در سطح صفر محلول‌پاشی در مقایسه با رقم KFS2 به طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۴-۶۹). کالواد و دواروماس (۲۰۱۴) نیز نشان دادند در ارقام نیشکر که توانایی تولید قند بیشتری دارند میزان فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز در مقایسه با سایر ارقام بیشتر است.

۴-۴-۴ فعالیت آنزیم ساکارزسینتاز

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش اثر اصلی سال و اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال پنج درصد و اثرات اصلی حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴).

نتایج مقایسه میانگین سال‌های آزمایش نشان داد بین دو سال آزمایش از نظر میزان فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز تفاوت معنی‌دار وجود داشت. براین اساس میزان فعالیت این آنزیم در سال ۱۳۹۳، برابر ۱۸/۵ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر و در سال ۱۳۹۴، ۱۹/۴ میکرومول در ساعت بر گرم وزن تر بود.

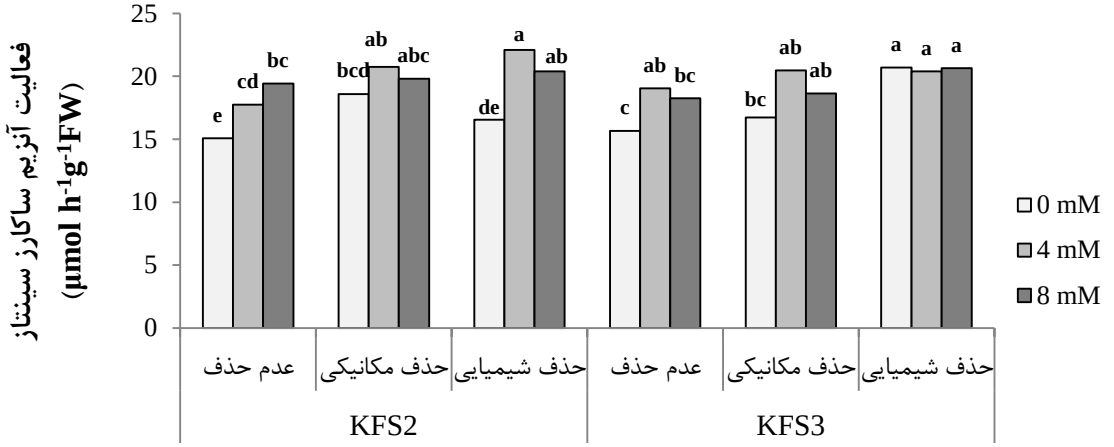
بررسی اثر متقابل رقم×حذف مخزن×محلول‌پاشی منیزیم نشان داد در رقم KFS2 بیشترین فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز از محلول‌پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن بدست آمد. کمترین میزان فعالیت در این رقم نیز از سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم و عدم حذف و حذف شیمیایی مخزن حاصل شد (شکل ۴-۷۱). در رقم KFS3 در شرایط عدم حذف مخزن محلول‌پاشی با غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز در مقایسه با سطح صفر محلول‌پاشی شد. در حذف مکانیکی و حذف شیمیایی مخزن بین غلظت‌های مختلف منیزیم تفاوت معنی‌داری از نظر تاثیر بر فعالیت این آنزیم مشاهده نشد. هرچند هر سه سطح محلول‌پاشی منیزیم و حذف شیمیایی مخزن و سطوح ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم و حذف مکانیکی مخزن میزان فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز را به طور معنی‌داری نسبت به عدم حذف مخزن و سطح صفر محلول‌پاشی منیزیم افزایش دادند (شکل ۴-۷۱).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد حذف مکانیکی و شیمایی مخزن سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز شد. محلول‌پاشی اتفون در حذف شیمیایی مخزن از طریق افزایش تولید اتیلن در بافت‌های انتهایی ساقه فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز را در این بخش از ساقه افزایش داده است که در نتیجه سبب افزایش میزان ساکارز در میانگره‌های انتهایی در ارقام سورگوم شیرین می‌گردد. وانگ و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه خود نشان دادند محلول‌پاشی اتفون علاوه بر تاثیر مثبت بر فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز و تاثیر بر افزایش سرعت انتقال ساکارز از برگ‌ها به ساقه سبب افزایش میزان ساکارز تجمع یافته در ساقه می‌گردد.

براساس نتایج حاصل از آزمایش حاضر محلول‌پاشی منیزیم سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز و نیز ساکارز فسفات سینتاز شد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی منیزیم با افزایش غلظت کاتیون منیزیم در گیاه بر فعالیت این آنزیم‌ها تاثیرگذار است. جین و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تاثیر محلول پاشی منیزیم و منگنز و مقایسه آن با کاربرد اتفون و اسید جیبرلیک نشان دادند منیزیم

بیشترین تاثیر را بر فعالیت آنزیم‌های ساکارز سینتاز و ساکارز فسفات سینتاز داشت کـه ایـن تـاثیر از طریق تنظیم ژن‌های دخیل در سنتز پروتئین‌های مربوط صورت گرفته است.

از سوی دیگر براساس نتایج آزمایش، در شرایط عدم اعمال تیمارهای حـذف مخـزن و محلـول‌پاشـی منیزیم بین دو رقم سورگوم شیرین از نظر میزان فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز تفاوت وجود نداشت. در مقابل یانگ و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی ده رقم مختلف سورگوم شیرین نشان دادند میزان فعالیـت آنزیم ساکارز سینتاز در میانگره‌های انتهایی این ارقام متفاوت بـوده و بـین ۱۵ تـا ۲۸ میکرومـول در ساعت بر گرم وزن تر متغیر بود. این نتایج بیانگر آن است کـه بـین دو رقـم KFS2 و KFS3 از نظـر مکانیسم عمل این آنزیم تشابه وجود دارد و اختلاف تجمع ساکارز در ساقه این ارقام به میزان فعالیت سایر آنزیم‌های دخیل در متابولیسم ساکارز وابسته است.



شکل ۷۱-۴. اثر متقابل رقم× حذف مخزن× محلول‌پاشی منیزیم بر فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز

در هر رقم، میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد براساس برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد بین دو رقم سورگوم شیرین مورد بررسی از نظر صفات مختلف زراعی، فیزیولوژیکی و ویژگی‌های کمی و کیفی شیرابه ساقه تفاوت وجود داشت که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در بین این دو رقم است. رقم KFS3 در مقایسه با رقم KFS2 از عملکرد بیولوژیک و عملکرد قند بالاتری برخوردار بود که منجر به بهبود کارایی مصرف آب در این رقم شد. همچنین بالاتر بودن میزان تجمع قندهای محلول در رقم KFS3 سبب شد تا عملکرد بالقوه اتانول در این رقم بیشتر بوده و بنابراین به عنوان رقم غالب به شمار آید.

در این آزمایش حذف مکانیکی و حذف شیمیایی اندام زایشی به عنوان مخزنی قوی که در رقابت با ساقه برای انتقال مواد حاصل از فتوسنتز بود سبب شد تا با تجمع مقادیر بیشتری از مواد فتوسنتزی در ساقه سورگوم شیرین عملکرد قند در این گیاه افزایش یابد. از سوی دیگر این تیمارها با تاثیر مثبت بر سطح فتوسنتزکننده گیاه و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، ظرفیت تولید گیاه را افزایش دادند که خود عاملی اساسی در افزایش میزان قندهای محلول در شیرابه ساقه است. در بین تیمارهای حذف مخزن، حذف شیمیایی مخزن با اتفون به دلیل سهولت کاربرد جایگزین مناسبی برای حذف مکانیکی مخزن معرفی شد. همچنین نتایج آزمایش نشان داد کاربرد اتفون با تاثیر بر فعالیت آنزیم‌های ساکارز فسفات سینتاز و ساکارز سینتاز که در سنتز ساکارز از قندهای گلوکز و فروکتوز نقش دارند و نیز تاثیر بازدارنده بر فعالیت آنزیم‌های اینورتاز به افزایش تجمع ساکارز محلول در سلول‌های پارانشیم ساقه کمک نمود.

در کنار تیمار حذف مخزن، محلول‌پاشی ارقام سورگوم شیرین با منیزیم از طریق تاثیر بر صفات فیزیولوژیکی مانند میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و شاخص سطح برگ سبب بهبود شرایط رشدی گیاه شد. همچنین این ترکیب بر میزان فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم ساکارز تاثیرگذار بود و سبب افزایش میزان ساکارز در شیرابه ساقه گردید. بین دو غلظت ۴ و ۸ میلی‌مولار منیزیم از نظر تاثیر بر

بسیاری از صفات مورد ارزیابی تفاوت آماری مشاهده نشد و لذا صرف نظر از سایر تیمارهای آزمایش، غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم برای محلول‌پاشی در ارقام سورگوم شیرین قابل توصیه است.

نتایج آزمایش نشان داد ترکیب تیمارهای حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم در دو رقم سورگوم شیرین بر میزان تجمع قندهای محلول در ساقه تاثیرگذار بود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد قند و عملکرد بالقوه اتانول گردید. در بین این ترکیب‌های تیماری حذف مکانیکی مخزن و غلظت ۴ میلی‌مولار منیزیم و حذف شیمیایی و غلظت ۸ میلی‌مولار منیزیم بیشترین تاثیر را بر صفات اندازه‌گیری شده داشتند.

در مجموع نتایج آزمایش نشان داد با توجه به پتانسیل قابل توجه ارقام سورگوم شیرین در تولید قند و کارایی مصرف آب بالای آنها در سال‌های مختلف آزمایش، امکان معرفی این گیاه به عنوان جایگزین چغندرقند در مناطق خشک و نیمه خشک قابل تصور است. در این میان استفاده از تیمارهای حذف مخزن و محلول‌پاشی منیزیم امکان افزایش عملکرد قند در این گیاه را بیش از پیش فراهم می‌نماید.

پیشنهادها

- تکرار آزمایش در مناطق دیگر با شرایط آب و هوایی و خاک متفاوت
- مقایسه ارقام مورد بررسی در کنار ارقام خارجی سورگوم شیرین برای شناخت هر چه بیشتر تفاوت‌های ارقام داخلی و خارجی
- بررسی بیان ژن‌های دخیل در فعالیت آنزیم‌های موثر بر تجمع ساکارز در ساقه سورگوم شیرین
- مطالعه فرآیند انتقال مواد فتوسنتزی از مبدا به مخزن و شناخت تاثیر آن بر بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه
- بررسی تاثیر ترکیبات دیگری در کنار اتفون به منظور حذف شیمیایی مخزن

پیوست

جدول پیوست ۱. تجزیه واریانس صفات زراعی سورگوم شیرین تحت تاثیر تیمارهای رقم، حذف‌مخزن و محلول‌پاشی منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	قطر ساقه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	عملکرد علوفه تر	عملکرد بیولوژیک	کارایی مصرف آب (ماده خشک)
	۱	۲۶۶/۰۲ ns	۴۲/۶۳ **	۶۷۶۰۵/۰۴ **	۳۶۴۶۰۷/۷ ns	۲۸۰/۷۷ ns	۷۴/۶۲ ns	۲/۴۷ ns
	۴	۱۵۵۱/۸۹ **	۴/۷۵ ns	۱۶۲۵۸/۶۶ **	۸۳۴۹۴۱/۴ *	۹۵۹/۵۳ *	۱۰۴/۸۷ *	۳/۴۶ *
	۱	۵۶۹۸/۵۲ **	۱۲/۲۳ *	۳۵۹۴۳/۷۴ **	۶۰۸۹۰۰۳/۱ **	۶۸۸۵/۴۷ **	۷۰۶/۰۶ **	۲۳/۳۵ **
	۲	۷۲۳۶/۸۶ **	۸۵/۳۷ **	۲۸۸۲۰/۸۹ **	۶۰۵۰۶۰۶/۱ **	۱۱۴۸۸/۴۶ **	۶۹۱/۱۲ **	۲۲/۸۵ **
	۲	۱۹۲۵/۴۰ **	۵۰/۸۷ **	۲۵۵۳۴/۹۹ **	۳۶۶۳۲۴۲/۴ **	۶۴۰۴/۴۵ **	۴۲۹/۴۱ **	۱۴/۲۰ **
s	۱	۳۸/۵۲ ns	۳۳/۳۹ **	۴۷۱/۶۷ ns	۱۱۱۸۲۰۱/۳ ns	۵۲۹/۶۶ ns	۱۱۶/۴۶ ns	۳/۸۵ ns
	۲	۳۷/۵۹ ns	۲۱/۵۱ *	۲۱۸۸/۱۸ ns	۱۲۴۱۰۱/۴ ns	۵۹۳/۷۳ ns	۹/۳۴ ns	۰/۳۱ ns
	۲	۱۶۷/۰۱ ns	۳/۰۱ ns	۷۴۰۶/۱۵ ns	۴۱۲۳۳۱/۶ ns	۶۸۳/۶۵ ns	۴۸/۲۱ ns	۱/۵۹ ns
	۲	۱۳۳۳/۵۵ *	۱۲/۸۰ *	۱۳۸/۳۹ ns	۵۹۶۲۰۶/۶ ns	۱۴۹۶/۲۸ *	۶۱/۴۴ ns	۲/۰۴ ns
ی‌پاشی	۴	۴۶۱/۵۰ ns	۹/۴۰ *	۳۴۴۹/۶۹ ns	۱۰۹۰۴۱/۵ ns	۱۷۵/۳۳ ns	۱۲/۹۰ ns	۰/۴۳ ns
	۲	۲۳۴/۲۶ ns	۴/۴۸ ns	۹۶۴/۵۶ ns	۲۴۷۲۷۲/۱ ns	۳۱۷/۹۳ ns	۲۵/۹۹ ns	۰/۸۶ ns
زن	۲	۲۸۰/۸۴ ns	۷/۸۴ *	۱۷۸۳/۰۱ ns	۳۵۸۶۹۴/۸ ns	۱۱۸۷/۴۶ *	۳۳/۷۸ ns	۱/۱۲ ns
شی	۲	۲۱۴/۸۴ ns	۲/۶۴ ns	۹۳۳۳/۳۹ *	۱۱۸۷۲۴۵/۳ *	۱۵۳۵/۹۲ *	۱۳۵/۳۱ *	۴/۴۷ *
× محلول‌پاشی	۴	۳۶۱/۱۶ ns	۱/۶۲ ns	۲۹۶۷/۱۴ ns	۷۹۷۴۲۰/۶ *	۱۰۵۵/۱۸ *	۸۶/۱۸ *	۲/۸۴ *
محلول‌پاشی	۴	۲۴۳/۹۷ ns	۶/۶۰ *	۳۶۲۳/۰۷ ns	۱۸۰۸۳۲/۳ ns	۴۳۲/۳۲ ns	۲۲/۷۸ ns	۰/۷۵ ns
زن × محلول‌پاشی	۴	۱۶۰/۶۶ ns	۰/۳۸ ns	۳۵۰۲/۶۸ ns	۶۰۰۶۵۴/۹ ns	۸۳۲/ ۲۶ ns	۶۰/۶۹ ns	۲/۰۰ ns
	۶۸	۳۰۳/۹۳	۲/۸۸	۳۰۷۷/۰۷	۳۱۹۴۲۷/۶	۳۸۴/۷۳	۳۳/۹۳	۱/۱۲
		۱۱/۵۳	۱۳/۳۶	۱۶/۰۸	۱۹/۲۳	۱۵/۴۸	۱۷/۷۴	۲۵/۰۱

ns غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول پیوست ۲. تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک سورگوم شیرین تحت تاثیر تیمارهای رقم، حذف‌مخزن و محلول‌پاشی منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		شاخص سطح برگ	سطح ویژه برگ	نسبت سطح برگ	شاخص سبزینگی	کلروفیل **a**	کلروفیل **b**	کاروتنوئیدها	کلروفیل کل
	۱	۲۲/۹ **	۶۵۸۴۹ **	۵۶۷/۰ **	۷۴/۰ *	۰/۳۵ *	۰/۰۴ ns	۰/۰۲ ns	۱/۱۸ **
	۴	۲/۴ **	۳۴۲۲ **	۱۶/۷ ns	۳۸/۸ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۰/۱۸ ns
	۱	۰/۵۷ ns	۴۱۲۶ *	۱۶۶/۹ **	۲۰۷/۲ **	۰/۲۴ ns	۰/۲۱ **	۰/۰۴ ns	۰/۰۱ ns
مخزن	۲	۷/۹ **	۱۱۰۰ ns	۳۵/۲ ns	۲۴۲/۲ **	۱/۲۹ **	۰/۰۶ *	۰/۱۱ **	۱/۴۷ **
ی‌پاشی منیزیم	۲	۱۰/۰ **	۱۳۲۹ ns	۳/۰ ns	۶۷۶/۵ **	۲/۴۱ **	۰/۳۲ **	۰/۲۳ **	۲/۱۵ **
رقم	۱	۱/۲ ns	۳۸۳۹ *	۱۴۰/۵ **	۱۰/۳ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۷ *	۰/۰۲ ns	۱/۴۴ **
حذف‌مخزن	۲	۲/۱ *	۵۲۱ ns	۴۷/۷ *	۴۰/۲ ns	۰/۱۸ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۳ ns	۰/۰۳ ns
محلول‌پاشی	۲	۰/۶۲ ns	۴۷۲ ns	۰/۹ ns	۲۱/۴ ns	۰/۵۸ **	۰/۰۶ *	۰/۱۲ **	۰/۲۱ ns
حذف‌مخزن	۲	۰/۴۲ ns	۱۲۷۷ ns	۶۹/۹ **	۲۵/۲ ns	۰/۲۱ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۱ ns	۰/۱۱ ns
مخزن× محلول‌پاشی	۴	۱/۴ *	۲۴۸۶ *	۲۵/۳ ns	۲۸/۹ ns	۰/۱۶ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۱ ns	۰/۳۴ **

محلول‌پاشی	۲	۰/۴۹ ns	۶۰۶ ns	۱۸/۸ ns	۷/۵ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۳ ns	۰/۲۶*
رقم×حذف‌مخزن	۲	۱/۴ ns	۲۸۷ ns	۲۱/۶ ns	۱۲۰/۵**	۰/۰۳ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۱ ns
رقم× محلول‌پاشی	۲	۱/۴ ns	۳۳۴۸**	۱۲/۵ ns	۱۰۸/۷**	۰/۰۶ ns	۰/۰۱ ns	۰/۲۱ ns
حذف مخزن × محلول‌پاشی	۴	۱/۶*	۱۵۴۱ ns	۲۰/۷ ns	۴۵/۷*	۰/۰۴ ns	۰/۰۵*	۰/۰۱ ns
حذف مخزن × محلول‌پاشی	۴	۰/۲ ns	۱۷۱۸ ns	۸/۲ ns	۱۴/۱ ns	۰/۱۹*	۰/۱۰**	۰/۰۳*
رقم×حذف‌مخزن × محلول‌پاشی	۴	۰/۳ ns	۳۹۲ ns	۲۳/۲ ns	۱۴/۹ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۳ ns
	۶۸	۲/۵	۹۸۲	۱۳/۶	۱۷/۶	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۸
تغییرات (٪)		۱۶/۳۰	۲۲/۵۵	۲۴/۹۰	۹/۱۳	۱۲/۸۹	۱۳/۷۰	۱۳/۴۳

و ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول پیوست ۳. تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی شیرابه سورگوم شیرین تحت تاثیر تیمارهای رقم، حذف‌مخزن و محلول‌پاشی منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد شیرابه	راندمان تولید شیرابه	pH شیرابه	وزن حجمی	درصد بریک
سال	۱	۱۱۳/۳۸ ns	۱۴/۱۱ ns	۰/۳۷ ns	۰/۰۰۳۶*	۰/۰۳ ns
بلوک	۴	۲۹/۶ ns	۳۱/۵۵ ns	۱/۳۳ ns	۰/۰۰۰۹ ns	۳/۲۳ ns
رقم	۱	۳۷۴/۹۸*	۱۰۹۲/۳۹**	۰/۸۰*	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۲ ns
حذف‌مخزن	۲	۹۳/۴۵ ns	۶۴۰/۲۸**	۰/۰۱ ns	۰/۰۰۲۳*	۶۰/۱۵**
محلول‌پاشی منیزیم	۲	۱۲۵/۰۴*	۱۸۵/۹۸*	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۴۱/۹۸**
سال×رقم	۱	۸/۴۳ ns	۱۲/۹۰ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns	۳۳/۸۹**
رقم×حذف‌مخزن	۲	۵۰/۴۵ ns	۵۲۴/۱۸**	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۰۵۳ ns	۱/۴۸ ns
رقم× محلول‌پاشی	۲	۶/۸۰ ns	۵۸/۱۳ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۰۶ ns	۲/۷۸ ns
سال×حذف‌مخزن	۲	۱۲۰/۹۰*	۱۳۳/۵۴ ns	۰/۰۶ ns	۰/۰۰۲۲ ns	۶/۴۲ ns
حذف‌مخزن× محلول‌پاشی	۴	۱۱۹/۹۷**	۱۸۰/۶۹*	۰/۱۴ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۱۸/۴۳**
سال× محلول‌پاشی	۲	۱۶/۹۶ ns	۱۵۲/۴۰ ns	۰/۱۳ ns	۰/۰۰۰۸ ns	۱/۹۰ ns
سال×رقم×حذف‌مخزن	۲	۲۶/۸۳ ns	۲۰/۱۷ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۰۰۲ ns	۱۳/۷۲*
سال×رقم× محلول‌پاشی	۲	۷/۸۳ ns	۱۹/۴۳ ns	۰/۲۲ ns	۰/۰۰۱۰ ns	۰/۱۰ ns
سال×حذف مخزن × محلول‌پاشی	۴	۵/۵۱ ns	۶۴/۴۶ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۱۵/۹۷**
رقم×حذف مخزن × محلول‌پاشی	۴	۱۳۴/۹۱**	۷۸/۱۹ ns	۰/۱۷ ns	۰ /۰۰۰۹ ns	۷/۸۳ ns
سال×رقم×حذف‌مخزن × محلول‌پاشی	۴	۹۳/۳۸*	۲۹/۹۶ ns	۰/۰۴ ns	۰/۰۰۱۵ ns	۹/۶۲*
خطا	۶۸	۳۲/۸۷	۵۵/۹۰	۰/۱۴	۰/۰۰۰۷	۳/۷۱
ضریب تغییرات (٪)		۲۸/۸۹	۱۷/۵۳	۱۱/۲۱	۲/۶۲	۱۵/۳۱

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

ادامه جدول پیوست ۳. تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی شیرابه سورگوم شیرین تحت تاثیر تیمارهای رقم، حذف‌مخزن و محلول‌پاشی منیزیم

بع تغییر	درجه	میانگین مربعات

جدول پیوست ۴. تجزیه واریانس آنزیم‌های متابولیزکننده ساکارز در سورگوم شیرین تحت تاثیر تیمارهای رقم، حذف‌مخزن و محلول‌پاشی منیزیم

شاخص سطح اسمیلات‌کنند	عملکرد بالقوه اتانول	عملکرد قند	قند کل	ساکارز	فروکتوز	گلوکز	آزادی	
۱۱۸۴۶**	۱۶۵۰۴۶۳/۹**	۲۸۴۵۶۱۲**	۴۸۳/۲**	۳۱۳/۲*	۲/۳۷^{ns}	۳/۲۸^{ns}	۱	
۸۹۶^{ns}	۱۴۴۲۵۱/۳^{ns}	۳۸۳۹۹۶^{ns}	۱۱۴/۹^{ns}	۱۰۷/۷۳^{ns}	۱۴/۳۶^{ns}	۱۲/۶۴^{ns}	۴	)
۲۸۵^{ns}	۱۴۰۰۵۹۰/۹**	۳۱۸۶۶۴۳**	۹۳۲/۷**	۱۳۸۳/۰۵**	۵۰/۸۱^{ns}	۲۴۷/۵۹**	۱	
۸۱۱^{ns}	۱۶۲۲۱۸۴/۷**	۳۳۵۹۷۹۸**	۹۵۶/۵**	۳۸۵۳/۸۴**	۳۸۱/۷۹**	۲۲۴/۷۷*	۲	
۱۵۸^{ns}	۱۴۹۱۲۳۷/۳**	۴۰۴۱۶۸۳**	۱۲۱۷**	۲۹۸۳/۰۹**	۶۰۰/۹۶**	۲/۴۴^{ns}	۲	ی منیزیم
۳۶۲^{ns}	۱۵۴۷۳۳/۵^{ns}	۱۸۰۴^{ns}	۲۳/۳^{ns}	۸/ ۵۱^{ns}	۴/۸۳^{ns}	۱۵/۶۱^{ns}	۱	
۱۸۲۵*	۳۲۱۱۰۱/۳^{ns}	۲۱۸۱۸۲۹*	۶۰۹/۳**	۷۲/۰۶^{ns}	۵۹/۸۵^{ns}	۷۱/۱۷*	۲	مخزن
۵۵^{ns}	۲۲۳۹۸۲/۸^{ns}	۱۶۱۸۶۹^{ns}	۵/۴^{ns}	۹۶/۴۱^{ns}	۴۸/۲۲^{ns}	۲۲/۱۰^{ns}	۲	ل‌پاشی
۲۳۲۸**	۲۳۸۳۶۴/۹^{ns}	۲۸۸۵۸۱۳**	۴۸۲/۲*	۳۷۲/۸۴*	۸/۷۰^{ns}	۱/۰۸^{ns}	۲	‌مخزن
۱۰۰^{ns}	۶۶۴۹۵۴/۷**	۱۱۴۹۳۰۴*	۳۳۲/۸*	۴۶۶/۷۴**	۴۱/۵^{ns}	۵۷/۳۴*	۴	× محلول‌پاشی
۳۷۰^{ns}	۱۳۸۶۳۳/۲^{ns}	۲۴۰۶۶۸^{ns}	۳۹/۵^{ns}	۱۱۹/۶۹^{ns}	۱۷/۲^{ns}	۱۸۳/۵۷**	۲	ول‌پاشی
۶۲۶^{ns}	۴۵۴۴۰/۲^{ns}	۶۵۷۳۲^{ns}	۶۴۸/۴**	۲۱۵/۴۵^{ns}	۱۲۴/۰*	۱۸/۰۲^{ns}	۲	حذف‌مخزن
۲۹۸^{ns}	۸۵۰۹۵/۱^{ns}	۱۴۷۶۳۱^{ns}	۲۲۷/۸^{ns}	۲۴۵/۷۸*	۱۶/۹^{ns}	۳/۱۱^{ns}	۲	محلول‌پاشی
۳۷۲^{ns}	۲۱۰۹۹۴/۸^{ns}	۱۸۳۷۴۲^{ns}	۹۴/۱^{ns}	۲۱/۹۳^{ns}	۴۳/۹^{ns}	۱۴۵/۳۲*	۴	مخزن × محلول‌پاشی
۸۴۶^{ns}	۶۳۰۸۴۹/۰**	۱۸۹۸۳۶۶**	۴۱۱/۱*	۳۲۰/۶۹**	۲۳/۴^{ns}	۳۳/۹۵^{ns}	۴	مخزن × محلول‌پاشی
۷۴۳^{ns}	۱۹۲۷۴۶/۸^{ns}	۱۸۴۵۶۸۲**	۵۵۰/۶**	۶۳۷/۸۵**	۷۲/۹^{ns}	۷۷/۲۱**	۴	حذف‌مخزن × محلول‌پاشی
۴۰۶	۱۲۵۸۳۶/۵	۴۵۱۶۵۸	۱۱۴/۱	۷۷/۸۴	۳۲/۱۵	۲۱/۰۳	۶۸	
۳۶/۹۷	۲۷/۶۷	۲۸/۱۵	۸/۸۸	۱۵/۹۳	۱۶/۶۵	۱۶/۴۵		یرات (٪)

: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		اینورتاز خنثی	اسید اینورتاز محلول	ساکارز فسفات سینتاز	ساکارز سینتاز
سال	۱	۱/۴۲^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۲۵/۳۷**	۲۲/۳۵*
بلوک	۴	۱/۷۸^{ns}	۵/۱۵*	۱/۴۸^{ns}	۸/۸۴^{ns}
رقم	۱	۰/۱۷^{ns}	۸/۹۷*	۱۰/۹۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}
حذف‌مخزن	۲	۸/۲۷**	۱۲/۲۳**	۸۸/۲۰**	۶۱/۵۵**
محلول‌پاشی منیزیم	۲	۲۰/۰۶**	۱۸/۷۰**	۱۰۷/۸۴**	۸۲/۶۴**
سال×رقم	۱	۰/۰۸^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۱۰/۶۳^{ns}	۲/۴۶^{ns}
رقم×حذف‌مخزن	۲	۶/۲۶*	۱۱/۴۰**	۱/۲۸^{ns}	۹/۳۱^{ns}
رقم× محلول‌پاشی	۲	۲/۳۹^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۱۲/۹۷*	۶/۵۹^{ns}
سال×حذف‌مخزن	۲	۰/۱۴^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۱۲/۱۳*	۷/۷۲^{ns}
حذف‌مخزن× محلول‌پاشی	۴	۷/۹۸**	۲۰/۵۴**	۱۷/۵۶**	۳/۸۴^{ns}
سال× محلول‌پاشی	۲	۲/۶۵^{ns}	۴/۵۵*	۵/۲۴^{ns}	۱/۵۶^{ns}
سال×رقم×حذف‌مخزن	۲	۵/۷۱*	۴/۹۳*	۳/۵۷^{ns}	۶/۱۱^{ns}
سال×رقم× محلول‌پاشی	۲	۰/۱۹^{ns}	۲/۳۵^{ns}	۱۰/۲۴*	۰/۰۸^{ns}
سال×حذف مخزن × محلول‌پاشی	۴	۱/۳۱^{ns}	۱/۷۵^{ns}	۷/۳۸*	۴/۲۳^{ns}
رقم×حذف مخزن × محلول‌پاشی	۴	۳/۶۷*	۴/۰۱*	۱/۱۵^{ns}	۱۳/۴۴*
سال×رقم×حذف‌مخزن × محلول‌پاشی	۴	۳/۴۰*	۰/۹۶^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۳/۹۳^{ns}
خطا	۶۸	۱/۳۱	۱/۴۸	۲/۹۵	۵/۳۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۷۶	۱۲/۱۱	۱۰/۷۰	۱۲/۲۱

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

جدول پیوست ۵. تجزیه واریانس صفات در دو سال مجزای آزمایش تحت تاثیر تیمارهای رقم، حذف‌مخزن و محلول‌پاشی منیزیم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		سال ۱۳۹۳			سال ۱۳۹۴		
		کاروتنوئیدها	راندمان تولید شیرابه	pH شیرابه	کاروتنوئیدها	راندمان تولید شیرابه	pH شیراب
	۲	۰/۰۰۵ ns	۲/۷۷ ns	۰/۷۷۹ *	۰/۰۱۳ ns	۶۰/۳ ns	۰/۰۴۱ ns
	۱	۰/۰۵۶ ns	۶۷۱/۳ **	۰/۹۷۳ *	۰/۰۰۳ ns	۴۳۳/۹ *	۰/۵۴۶ *
	۲	۰/۰۶۳ *	۳۱۶/۲ **	۰/۰۴۳ ns	۰/۰۵۱ *	۴۵۷/۶ **	۰/۰۱۴ ns
منیزیم	۲	۰/۰۵۷ *	۰/۸۴ ns	۰/۱۶۵ ns	۰/۱۹۸ **	۳۳۷/۵ *	۰/۰۳۰ ns
خزن	۲	۰/۰۰۵ ns	۳۶۵/۴ **	۰/۰۳۴ ns	۰/۰۳۸ *	۱۷۸/۹ ns	۰/۰۱۱ ns
پاشی	۲	۰/۰۶۶ *	۶۶/۴ ns	۰/۴۱۴ ns	۰/۰۶۲ **	۱۱/۰۹ ns	۰/۰۵۶ ns
× محلول‌پاشی	۴	۰/۰۰۷ ns	۵۰/۹ ns	۰/۱۶۲ ns	۰/۰۰۹ ns	۱۹۴/۲ *	۰/۰۹۳ ns
خزن × محلول‌پاشی	۴	۰/۰۲۱ ns	۳۸/۸ ns	۰/۱۵۵ ns	۰/۰۴۱ *	۶۹/۳ ns	۰/۰۷۲ ns
	۳۴	۰/۰۱۵	۴۲/۱	۰/۱۸۳	۰/۰۱۱	۶۹/۶	۰/۱۱۴
ات (٪)		۱۶/۳۱	۱۸/۵۰	۱۳/۴۹	۱۸/۸۸	۲۴/۳	۹/۴۳

به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

مراجع

بی نام. ۱۳۹۶. وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه کشاورزی، جلد اول محصولات زراعی و باغی . دفتر آمار و فن آوری اطلاعات معاونت برنامه ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

جعفری بیله‌سوار ر، سید شریفی ر و ایمانی ع.ا، (۱۳۹۱) "تأثیر نیتروژن و زمان برداشت برکارایی مصرف کود و عملکرد کمی وکیفی سورگوم علوفه‌ای" **به زراعی کشاورزی**، شماره ۱۴، دوره ۲،ص ۳۰-۱۷.

خزایی ع، (۱۳۹۰) "ارزیابی واکنش لاین‌های امیدبخش سورگوم علوفه‌ای در شرایط تنش خشکی" **فصلنامه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی**، دوره ۳، شماره ۳، ۲۴۷-۲۳۴.

سلیمانی ع، المدرس ع، نارنجانی ل، (۱۳۸۹) "تأثیر افزایش تراکم گیاهی بر عملکرد ساقه و ذخیره ساکارز در ساقه دو رقم سورگوم شیرین" **نشریه پژوهش‌های زراعی ایران**، جلد ۸، شماره ۳، ۴۶۴-۴۵۵.

شربتخواری م، شبر ز س، گالشی س، سلطانی ا و ناخدا ب. (۱۳۹۳) "بررسی بیان ژنهای کلیدی در انتقال مجدد فروکتان گندم و برخی صفات فیزیولوژیک طی تنش شوری" **مجله بیوتکنولوژی کشاورزی**، دوره ۶، شماره ۲،۹۰-۷۵.

شهسواری ف و نصرتی مومونداری ه. (۱۳۹۱) "بررسی اثر تراکم بوته بر عملکرد علوفه و برخی خصوصیات زراعی چهار رقم سورگوم علوفه ای" **فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی**، سال ۴، شماره ۱۴، ۹۴-۸۳.

صفری م، آقاعلیخانی م، مدرس ثانی س ع م، (۱۳۸۹) " اثر تاریخ کاشت بر فنولوژی و صفات مورفولوژیک سه رقم سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) دانه ای" **مجله علوم زراعی ایران**، جلد ۱۲، شماره ۴، ۴۶۶-۴۵۲.

فومن ع، (۱۳۸۴) " بررسی اثر تراکم کاشت بر صفات مختلف ارقام امیدبخش سورگوم علوفه‌ای" **نهال و بذر**، جلد ۲۱، شماره ۱، ۶۴-۴۹.

فومن اجیرلو ع، (۱۳۷۵) "اصلاح سورگوم در ایران در سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۶۵ همراه با نتایج تحقیقات به نژادی آن" انتشارات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، ۲۳ صفحه.

فومن ع، مختارزاده ع ا، بهشتی ع ر، شیری م ر، راهنما ع، نادعلی ف، نورمحمدی س، حسن زاده مقدم ه، (۱۳۸۷) "پگاه، رقم جدید سورگوم علوفه ای" **نهال و بذر**، جلد ۲۴، شماره ۲، ۳۷۱-۳۶۷.

فومن ع، (۱۳۸۹) " ارزیابی صفات مرفولوژیک و عملکرد کمی و کیفی ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای *Sorghum bicolor* (L.) Moench" **مجله علوم گیاهان زراعی ایران**، دوره ۴۱، شماره ۴، ۸۴۰-۸۳۳.

کریمی ه، (۱۳۷۶) **"زراعت و اصلاح گیاهان علوفه‌ای"**، انتشارات دانشگاه تهران. ۴۱۴ صفحه

کسرایی پ، نورمحمدی ق، شاه مرادی س ج و فومن اجیرلو ع، (۱۳۸۰) " ارزیابی بنیه بذری (Seed Vigour) هفت لاین سورگوم علوفه ای" **علوم کشاورزی**، دوره ۷، شماره ۲، ۵۹-۴۳.

ملکوتی م ج، کریمیان ن، کشاورز پ، (۱۳۸۷) **"روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار"** انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۷۱۸ صفحه.

وحیدی ح، خواجویی نژاد غ، رضائی استخروئیه ع، (۱۳۹۴) "عملکرد دانه و کارایی مصرف آب پنج رقم سورگوم (*Sorghum bicolor*) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در کرمان" **نشریه پژوهش‌های زراعی ایران**، جلد ۱۳، شماره ۳، ۴۷۰-۴۶۱.

هدایتی پور ا، خوروش م، قربانی غ، المدرس ع و عبادی م ر، (۱۳۹۱) "مقایسه خصوصیات شیمیایی و تجزیه‌پذیری انواع علوفه و سیلاژ سورگوم با ذرت در شرایط آزمایشگاهی و روش کیسه‌های نایلونی" **نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران**، جلد ۴، شماره ۳، ص ۲۳۲-۲۲۴.

یعقوبی خانقاهی م، عزیزی خ، حیدری ح، رهام ر، نوروزیان ع، (۱۳۹۳) "بررسی تاثیر روش‌های مختلف کاربرد سولفات منیزیم بر میزان منیزیم و پروتئین کل دانه و شاخص‌های رشد عدس در شرایط اقلیمی خرم آباد" **نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی)**، شماره ۱۰۳، ۱۲-۲۲.

یوسف‌زاده م، دانشور م، شهروند س، سرخه ح، (۱۳۹۲) " بررسی اثر کاربرد اتفون و کود نیتروژن بر صفات کمی سورگوم شیرین (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)" **مجله علوم گیاهان زراعی ایران**، دوره ۴۴، شماره ۲، ۲۰۷-۱۹۹.

Agung G. A. Sardiana K. Diara W. and Nurjaya Gusti M. O. (2013) "Adaptation, biomass and ethanol yields of sweet sSorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties at dryland farming areas of Jimbaran Bali, Indonesia"**J. Biol. Agri. Health care** 3(17),

Allison M.F. Fower J.H. and Allen. E.J. (2001) "Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum* L.**)" J. Agric. Sci. Acta Biol. Hung.**, 58, 87-92.

Almodares A. Taheri R. and Eraghizadeh F. (2011) "The effects of ethephon on biomass and carbohydrate content in two sweet sorghum cultivars" **Plant Prod**., 5, 221-226.

Almodares A. Hadi M. and Ahmadpour H. (2008). "Sorghum stems yield and soluble carbohydrates under different salinity levels". **Afr. J. Biotech.,** 7, 4051–4055.

Amaducci S. Monti A. Venturi G. (2004) "Non-structural carbohy- drates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques". **Ind. Crops Prod.,** 20, 111–118.

Amor Y. Haigler C. Johnson S. Wainscott M. and Delmer D. (1995). "A Membrane-Associated Form of Sucrose Synthase and Its Potential Role in Synthesis of Cellulose and Callose in Plants". **P. N. A. S.,** 92, 9353-9357.

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)". **Afr. J. Biotech.,** 6(16), 1869–1873.

Arnon D.I. (1949)."Copper enzymes in isolated chloroplasts", polyphenoxidase in beta vulgaris. **Plant physiol.,** 24, 1-15.

Arroyo-López F. N. Orlić S. Querol A. and Barrio E. (2009). "Effects of temperature pH and sugar concentration on the growth parameters of Saccharomyces cerevisiae S. kudriavzevii and their interspecific hybrid". **Int. J. Food. Microbiol** 131, 120–127.

Austin R.B. Morgan C.L. Ford M.A. and Blackwell R.D. (1980) "Contribution to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons" **Ann. Bot**., 45, 309–319.

Balibrea Lara M.E. Gonzalez Garcia M.C. Fatima T. Ehness R. Lee T.K. Proels R. Tanner W. and Roitsch T. (2004). "Extracellular invertase is an essential component of cytokinin-mediated delay of senescence". **Plant Cell** 16, 1276-1287.

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.

Barratt P.D.H. Derbyshire P. Findlay K. Pike M. Wellner N. Lunn J. Feil R. Simpson C. Maule A.J. and Smith A.M. (2009). "Normal growth of Arabidopsis requires cytosolic invertase but not sucrose synthase". **P. N. A. S.,** 106(31), 13124-13129.

Bihmidine S. Hunter III C.T. Johns C.E. Koch K.E. Braun D.M. (2013) "Regulation of assimilate import into sink organs: update on molecular drivers of sink strength" **Front Plant Sci**., 4,177.

Botha F.C. Black K.G. (2000). Sucrose phosphate synthase and sucrose synthase activity during maturation of internodal tissue in sugarcane. **Aust. J. Plant Physiol**., 27(1),81-85.

Bradford V.E. (2008) "An advanced feedstock for ethanol: Sweet sorghum is crop to fuel the future" **Sugar J**., 70(8),16-21.

Broadhead D. M. 1973. Effects of deheading on stalk yield and juice quality of Rio sweet sorghum. **Crop Sci.,**13,395–396.

Bryan W.L. Monroe G.E. Nichols R.L. and Gascho G.J. (1981) "**Evaluation of sweet sorghum for fuel alcohol**" Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers. Chicago, IL.

Burks P. S. Kaiser C. M. Hawkins E. M. and Brown P. J. (2015). "Genome wide association for sugar yield in sweet sorghum". **Crop Sci.,** 55, 2138–2148.

Buxton D.R. Anderson I.C. and Hallam A. (1999) "Performance of sweet and forage sorghum grown continuously, double-cropped with winter rye, or in rotation with soybean and maize" **Agron. J.**, 9, 93-101.

Buzás Z. Dallmann K. and Szajáni B. (1989). "Influence of pH on the growth and ethanol production of free and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells. **Biotechnol. Bioeng.,** 34, 882–4.

Cakmak I. Hengeler C. and Marschner H. (1994) "Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency" **J. Exp. Bot**., 45(9), 1245-1250.

Carvalho A. Castro C. and Dias S. (2013). "Plant Growth Reducers : An Alternative to Increase the Juice Production Potential and Decrease the Lodging of Sweet Sorghum" .**American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci.,** 13 (6), 774-777.

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 . Agri. Sci**., 20, 234–237.

Chourey P.S. Taliercio E.W. Carlson S.J. and Ruan Y.-L. (1998). "Genetic evidence that the two isozymes of sucrose synthase present in developing maize endosperm are critical one for cell wall integrity and the other for starch biosynthesis". **Mol .Gen. Genetics**., 259, 88-96.

Cole M. R. Eggleston G. Petrie E. Uchimiya S. M. and Dalley C. (2017). "Cultivar and maturity effects on the quality attributes and ethanol potential of sweet sorghum". **Biomass Bioenergy** 96, 183–192.

Contento A.L. Kim S.-J. and Bassham D.C. (2004). "Transcriptome profiling of the response of Arabidopsis suspension culture cells to Suc starvation". **Plant Physiol**., 135, 2330-2347.

Dalvi U. S. Chavan U. D. Shinde M. S. and Gadakh S. R. (2011). "Assessment of Sweet Sorghum Cultivars for Efficient Ethanol Production". **Sugar Tech** 13, 186–190.

D'Aoust M.A. Yelle S. and Nguyen-Quoc B. (1999). "Antisense inhibition of tomato fruit sucrose synthase decreases fruit setting and the sucrose unloading capacity of young fruit". **Plant Cell** 11, 2407-2418.

Davidson D. J. and Chevalier P. M. (1992) “Storage and remobilization of water soluble carbohydrates in stems of spring wheat” **Crop Sci**., 32, 186–190.

A. Shimelis H. Derese S. Mwadzingeni L. and Laing M. (2018) “Agro-morphological characterisation and selection of sorghum landraces” Acta Agri. Scandinavica S.B. Soil Plant Sci., 68(7), 585-595.

Ding Y. and Xu G. (2011) “Low magnesium with high potassium supply changes sugar partitioning and root growth pattern prior to visible magnesium deficiency in leaves of rice. **Am. J. Plant Sci.**, 2, 601–608.

Dingkuhn M. Sow A. (1997). “**Potential yield of irrigated rice in African arid environments**”. In: kropff M.J. Teng P. S. Aggarwal P. K. Bouma J. Bouman B. A. M. Jones J. W. van laar H. H. (EDs) Application of systems approaches at the field level Vol 2. Kluwer Academic Publishers Dordrecht pp. 79-99.

Echeverria E. and Gonzalez P.C. (2000). “ATP-induced sucrose efflux from red-beet tonoplast vesicles”. **Planta** 211, 77-84.

Egan H. Kirk R. S. and Sawyer R. (1981). “**Pearson's chemical analysis of foods**”. Longman Scientific and technical. 591 p.

Eiland B.R. Clayton J.E. and Bryan W.L. (1983) “Losses of fermentable sugars in sweet sorghum during storage” **Transactions of the A.S.A.E.**, 26, 1596-1600.

El-Fouly M.M. Rezk A.I. Nofel O.A. and Abou El-Nour E.A.A. (2010). “ Depletion of magnesium in Egyption soils, its content in crops and estimated needs.” **Afr. J. Agric. Res**., 5, 1060-1067.

El-Metwelly A. E. Abdalla F. E. El-Saady A. M. Safina S. A. and Ei-sawy S. S. (2010) “Response of Wheat to Magnesium and Copper Foliar Feeding under Sandy Soil Condition”. **J. Am. Sci**., 6, 818–823.

El-Zanaty A.A. El-Nour A. and Shaaban M. M. (2012) “Response of wheat plants to magnesium sulphate fertilization” **Am. J. Plant Nut. Fert. Technol**., 2, 56–63.

Emam Y. and Moaied G. R. (2000) “Effect of planting density and chlormequat chloride on morphological and physiological characteristics of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar"Valfajr"” **J. Agric. Sci. Technol**., 2, 75-83.

Erickson J. E. Woodard K. R. and Sollenberger L. E. (2012) “Optimizing sweet sorghum production for biofuel in the Southeastern USA through nitrogen fertilization and top removal.” **Bioenergy Res.,** 5, 86–94.

Essmann J. Schmitz-Thom I. Schon H. Sonnewald S. Weis E. and Scharte J. (2008). “RNA interference-mediated repression of cell wall invertase impairs defense in source leaves of tobacco”. **Plant Physiol.,** 147, 1288-1299.

Eufinger J. (2006). “Regulation of taproot development and sucrose stabilization in sugar beet: Influence of invertase inhibitors and occurrence of mitochondrial energy-dissipating proteins. In Heidelberg Institute of Plant Sciences” Heidelberg: University of Heidelberg

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 Environ**., 37, 273–289.

FAO (2017) “Food and Agriculture Organization of the United Nation Economic and Social Department”.

Fernandes G. Braga T. G. Fischer J. Parrella R. A. C. de Resende M. M. and Cardoso V. L. (2014) “Evaluation of potential ethanol production and nutrients for four varieties of sweet sorghum during maturation”. **Renew Energy** 71, 518–524.

Fleet G.H. Heard G.M. (1993). “**Yeasts-growth during fermentation**”. In: Fleet G.H. (Ed.) Wine Microbiology and Biotechnology. Harwood Academic Publishers Chur Switzerland pp. 42–43.

Fortmeier R. and S. Schubert. (1995). “Storage of non-structural carbohydrates in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): Comparison of Sterile and Fertile Lines”. **J. Agr. Crop Sci.,** 175(3), 189-193

Foster K. R. Reid D. M. and Taylor J. S. (1991) “Tillering and yield responses to ethephon in three barley cultivars” **Crop Sci**., 31, 130-134.

Fotopoulos V. (2005). Plant invertases: structure function and regulation of a diverse enzyme family. **J. Biol. Res.,** 4, 127–137.

Ferraris R. (1981a) “Early assessment of sweet sorghum as an agro-industrial crop. I. Varietal evaluation.” **Aust. J. Exp. Agr.**, 21,75-82.

Ferraris R. (1981b) “Early assessment of sweet sorghum as an agro-industrial crop. 2. Maturity factors” **Aust. J. Exp. Agr.**, 21, 83–90.

Ganesh Kumar C. Fatima A. Srinivasa Rao P. Reddy B. V. S. Rathore A. Nageswar Rao R. … Kamal A. (2010) “Characterization of Improved Sweet Sorghum Genotypes for Biochemical Parameters Sugar Yield and Its Attributes at Different Phenological Stages”. **Sugar Tech** 12, 322–328.

Gardner F.O, Pearce R. B. and Mitchell R. L. (1990) “Physiology of crop plants”. **Field Crop Res**.

Geng S. Hills F.J. Johanson S.S. Sah R.N. (1989) “Potential yields and on- farm ethanol cost of corn, sweet sorghum, fodderbeet and sugarbeet” **J. Agron. Crop Sci**., 162,21-9.

Gerendás J. and H. Führs. 2013. “The significance of magnesium for crop quality”. **Plant Soil** 368, 101–128.

Goodroad L. L. and Jellum M. D. (1988) “Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn”. **Plant Soil** 106, 85-89.

Guigou M. Lareo C. Pérez L. V. Lluberas M. E. Vázquez D. and Ferrari M. D. (2011). “Bioethanol production from sweet sorghum: Evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation”. **Biomass Bioenergy** 35, 3058–3062.

Hall A. E. Richards R. A. Condon A. G. Wright C. G. and Farquhar G. D. (1994). “Carbon isotope discrimination and plant breeding”. **Plant Breed. Rev**., 12, 81-113.

Hänggi E. and Fleming A. (2001). “Sucrose synthase expression pattern in young maize leaves: implications for phloem transport”. **Planta** 214, 326-329.

Handel E.V. (1968) “Direct micro determination of sucrose”. **Anal. Biochem**., 22, 280-283.

Hardy G. Dove H. and Awad M. (1986) “The use of ethephon for prevention of flowering in sugarcane in Sudan”. **Proc. Int. Soc. Sug. Cane Technol.,** 305-316.

Hartz C. Petty P. Ouertani K. Burgado S. Lawrence C. and Kasem A. (2009). “Influence of iron, potassium, magnesium, and nitrogen deficiencies on the growth and development of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings”. **J. Biotech. Res**., 1, 1(3), 64-71.

Hermans C. Bourgis F. Faucher M. Strasser R. J. Delrot S. and Verbruggen N. (2005). “Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves” **Planta** 220, 541–549.

Hoffmann-Thoma G. Hinkel K. Nicolay P. and Willenbrink J. (1996) “Sucrose accumulation in sweet sorghum stem internodes in relation to growth” **Phys. Plant**., 97,277–84.

Holou R. A. Y. and Stevens G. (2012). “Juice sugar and bagasse response of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. M81E) to N fertilization and soil type”. **G.C.B. Bioenergy** 4, 302–310.

Huang L.F. Bocock P.N. Davis J.M. and Koch K.E. (2007). “Regulation of invertase: a ‘suite’ of transcriptional and post-transcriptional mechanisms”. **Fun. Plant Biol**., 34, 499-507.

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.

Hunsigi G. Yekkeli N. R. and Kongawad B. Y. (2010). “Sweet stalk sorghum: An alternative sugar crop for ethanol production”. **Sugar Tech** 12, 79–80.

Hunter E.L. and Anderson I.C. (1997) “Sweet sorghum” **Hort. Rev.**, 21, 73-104.

Irvine J.E. 1985. “False pol detection by gas-liquid chromatography”. **Sugar Bull**., 50, 10-12.

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(4), 370–378.

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 Plant Sci.,** 5, 781.

Jia L. Zhang B. Mao C. Li J. Wu Y. Wu P. and Wu Z. (2008). “OsCYT-INV1 for alkaline/neutral invertase is involved in root cell development and reproductivity in rice (*Oryza sativa* L.)”. **Planta** 228, 51-59.

Kalwade S. B. and Devarumath R. M. (2014). “Functional analysis of the potential enzymes involved in sugar modulation in high and low sugarcane cultivars” **Appl. Biochem. Biotech.,** 172, 1982–1998.

Khan N. A. (2004) “An evaluation of the effects of exogenous ethephon, an ethylene releasing compound, on photosynthesis of mustard (*Brassica juncea*) cultivars that differ in photosynthetic capacity” **BMC Plant Biol**., 4, 21.

Koch K. (2004). “Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development”. **Curr. Opin. Plant Biol**., 7, 235-246

Koch K. (2010) “Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar juice and their performance in ethanol fermentation” **Ind. Crops. Prod.,** 31,164-170.

Kundiyana D. Bellmer D. Huhnke R. and Wilkins M. (2006) “Sorganol: production of ethanol from sweet sorghum” **ASABE Annual International Meeting**.Portland, OR.

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 Crop Res**., 77, 137–151.

Lakkana L. NSunan S.Penjit K.Preekamol and L.Pattana. (2009). “Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations”. **Bio. Technol**., 100, 4176–4182.

Lammens W. Le Roy K. Van Laere A. Rabijns A. and Van den Ende W. (2008). “Crystal structures of Arabidopsis thaliana cell-wall invertase mutants in complex with sucrose”. **J. Mol. Biol.,** 377, 378-385.

Lee H., and Vattuone M.A. (1996) "Purification and characterization of neutral and alkaline invertase from carrot". **Plant Physiol**., 112, 1513–1522.

Li Y.R. and Solomon S. (2005) “Ethephon technology for sugar industry. In Sugar cane: production management and agro- industrial imperatives” ed. S. Solomon S.S. Grewal Y.R. Li R.C. Magarey and G.P. Rao 261–281. Lucknow: International Book Distributing Company.

Lingle S. E. Tew T. L. Rukavina H. and Boykin D. L. (2012). “Post-harvest Changes in Sweet Sorghum I: Brix and Sugars”. **Bioenergy Res.,** 5, 158–167.

Lalonde S. Tegeder M. Throne-Holst M. Frommer W.B. and Patrick J.W. (2003) “Phloem loading and unloading of sugars and amino acids” **Plant Cell Environ**., 26, 37–56.

Lingle S. E. Tew T. L. Rukavina H. and Boykin D. L. (2012). “Post-harvest Changes in Sweet Sorghum I: Brix and Sugars”. **Bioenergy Res.,** 5, 158–167.

Lingle S.E. (1987a.) “Aspects of sucrose transport in stem parenchyma of sweet sorghum” **Plant Physiol**., 83(4),142.

Lingle S.E. (1987b.) “Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development” **Crop Sci**., 27,1214–9.

Lingle S.E. (1999). “Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes”. **Crop Sci**., 39(2),480-486.

Lodhi G. P. Grewal R. P. S. and Pahuja S. K. (1994) “Forage sorghum hybrid". In: Proceedings of annual all Indian group meeting, all India sorghum coordinator project, G. B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar.

Macedo W. R. Araújo D. K. Santos V. M. De Camargo E Castro P. R. and Fernandes G. M. (2017). “Plant growth regulators on sweet sorghum Physiological and nutritional value analysis”. **Comunicata Scientiae**, 8, 170–174.

Maness N.O. and McBee G.G. (1986) “Role of placental sac in endosperm carbohydrate import in sorghum caryopses” **Crop Sci**., 26,1201–1207.

Marschner H. (1995) “**Mineral nutrition of higher plants**” 2nd ed. Academic press, New York, USA.

Masoni A. Ercoli L. Mariotti M. and Arduini I. (2007) "Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type" **Europ. J. Agro**., 26, 179–186.

Mengel K. and Kirkby E. A.(1987) "**Principles of Plant Nutrition**" 4th Edition, International Potash Institute, Switzerland.

Miri K. and D.S.Rana. (2012). "Evaluation of sweet sorghum (Sorghum bicolor) genotypes for biomass sugar and ethanol production under different levels of nitrogen". **Ind.J. Agri. Sci**., 82(3), 195–200.

Miron D. and Schaffer A. A. (1991) "Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulating *Lycopersicon hirsutum* Humb. and Bonpl. **Plant Physiol**., 95, 623–627.

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.

Monk R.L. Miller F.R. and McBee G.G. (1984) "Sorghum improvement for energy production". **Biomass** 6,145-153.

Monti A. and Venturi G. (2003) "Comparison of the energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy" **Europ. J. Agron**., 19, 35-43.

Murayama S. and Handa H. (2007). "Genes for alkaline/neutral invertase in rice: alkaline/neutral invertases are located in plant mitochondria and also in plastids". **Planta** 225, 1193-1203.

Murray S. C. Rooney W. L. Hamblin M. T. Mitchell S. E. and Kresovich S. (2009). "Sweet Sorghum Genetic Diversity and Association Mapping for Brix and Height". **Plant Gen. J.,** 2, 48.

Nickell L.G. (1984) "A review of plant growth regulators in the sugar cane industry" **Sugary Azucar**, 17-20.

Nicolas M. E. and Turner M. C. (1993) "The use of chemical dessiccants and senescing agents to select wheat lines maintaining stable grain size during postanthesis drought" **Field Crop Res**., 31,155–171.

Ockerby S. E. Midmore D. J. and Yule D. F. (2001) "Leaf modification delays panicle initiation and anthesis in grain sorghum" **Agri. Res**., 52, 127-135.

Oyier M. O. Owuoche J. O. Oyoo M. E. Cheruiyot E. Mulianga B. and Rono J. (2017). "Effect of harvesting stage on sweet sorghum" (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in western kenya. **Sci. World J.**, 1–10.

Onken A. B. Wendt C. W. Payne W. A. and Drew M. C. (1992). "Soil phosphorus availability and pearl millet water use efficiency". **Crop Sci.,** 32, 1010-1015.

Putra E.T.S. W.Zakaria N.A.P. Abdullah and G.B. Saleh. (2012). "Stomatal morphology conductance and transpiration of Musa sp. Cv. Rastali in relation to magnesium boron and silicon availability" **Am. J. Plant Physiol**., 7, 84-96.

Putra E.T.S. Zakaria W. Abdullah N.A.P. and Saleh G.B. (2012) "Stomatal morphology.conductance and transpiration of Musa sp.cv. Rastali in relation to magnesium, boron and silicon availability" **Am.J. Plant Physiol**., 7, 84-96.

Rae A.L. Perroux J.M. Grof C.P.L. (2005) "Sucrose partitioning between vascular bundles and storage parenchyma in the sugarcane stem: a potential role for the ShSUT1 sucrose transporter" **Planta** 220, 817–825.

Rajendran C. Ramamoorthy K. and Backiyarani S. (2008) “Effect of deheading on juice quality characteristics and sugar yield of sweet sorghum” **J. Agron. Crop Sci**., 185(1),23-26.

Ratnavathi C. V. Chakravarthy S. K. Komala V. V. Chavan U. D. and Patil J. V. (2011). “Sweet sorghum as feedstock for biofuel production : A Review” **Sugar Tech** 13, 399–407.

Reddy B. Ramesh S. Reddy P.S. Ramaiah B. Salimath P.M. Kachapur R. (2005). “Sweet sorghum A potential alternate raw material for Bio-ethanol and Bioenergy”. **International Sorghum and Millets Newsletter**. 46, 79-86.

Reddy B.V.S. Kumar A.A. Ramesh S. (2007) “Sweet sorghum: a water saving bio-energy crop” In: International conference on linkages between energy and water management for agriculture in developing countries. Hyderabad, India: IWMI, ICRISAT.

Roitsch T. and Gonzalez M. (2004). “Function and regulation of plant invertases: sweet sensations”. **Trends Plant Sci.,** 9, 606-613.

Rolland F. Baena-Gonzalez E. and Sheen J. (2006). “Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms”. **Ann. Rev. Plant. Biol.,** 57, 675-709.

Robertson M. J. Muchow R. C. Wood A. W. and Campbell J. A.(1996) “Accumulation of reducing sugars by sugarcane: Effects of crop age nitrogen supply and cultivar”. **Field Crop Res**., 49, 39-50.

Rostron H. (1977). “Prolonged chemical ripening of sugarcane following multiple applications of Ethrel”. **ISSCT Proc**. 16, 1743-1753.

Ruan Y.L. Llewellyn D.J. and Furbank R.T. (2003) “Suppression of sucrose synthase gene expression represses cotton fiber cell initiation elongation and seed development”. Plant Cell 15, 952-964.Pasternak K. Kocot J. and Horecka A. (2010) “Biochemistry of magnesium” **J. Element**. 15(3), 601–616.

Rutto L. K. . Xu Y .Brandt M. Ren S. and Kering M. K. (2013) “Juice, Ethanol, and Grain Yield Potential of Five Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Cultivars” **J. Sus. Bioen. Sys**., 3, 113-118.

Sakellariou-Makrantonaki M. Papalexis D. Nakos N. and Kalavrouziotis I.K. (2007) “Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece” **Agric. Water Manag**., 90,181-189.

Sauer N. (2007). “Molecular physiology of higher plant sucrose transporters”. FEBS Lett 581, 2309-2317.

Schittenhelm S. and Schroetter S. (2014) “Comparison of drought tolerance of maize, sweet sorghum and sorghum-sudangrass hybrids” **J. Agro. Crop Sci**., 46-53.

Serra A. Strehaiano P. Taillandier P. (2005). “Influence of temperature and pH on Sac-charomyces bayanus var. uvarum growth; impact of a wine yeast interspecific hybridization on these parameters”. **Int. J. Food Microbiol.**, 104, 257–265.

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 aestivu*m L.)”. **Agronomy**. 7(3), 61.

Sharifi M. Sani B. and Madani H. (2015). “The Response of Three Sorghum Cultivars to Different Nutritional Treatments as a New Application for Sustainable Agriculture” **N. A. S.A.,** 7, 546–551.

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.

Sridhar K. Gangaiah B. and Ramesh C. R. (2003). “Genetic diversity studies in forage sorghum” **Int. Sorghum Millets Newslett**., 44,3-6.
Stickler F. C. Wearden S. and Pauli A. W. (1961). “Leaf Area Determination in Grain Sorghum1” **Agr. J.**, 53, 187.
Sturm A. Tang GQ. (2004) “The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development sensing and plant development” **Curr. Opin. Plant Biol.**,7, 235–46.
Shekoofa A. and Emam Y. (2008) “Effects of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Shiraz” **J. Agric. Sci. Technol**., 10, 101-108.
Singh V. van Oosterom E. J. Jordan D. R. Messina C. D. Cooper M. and Hammer G. L. (2010) “Morphological and architectural development of root systems in sorghum and maize” **Plant Soil**,333, 287–299.
Smith G. A. Bagby M. O. Lewellan R. T. Doney D. L. Moore P. H. Hills F. J. Campbell L.G. Hogaboam G. J. Coe G. E. and Freeman K. (1987) “Evaluation of Sweet Sorghum for fermentable sugar productioin potential” **Crop Sci**., 27,788-793.
Smith B.A. (1982). “**Sweet sorghum**” In: Wolf A. (ed) CRC handbook of processing and utilization in agriculture vol II. CRC Press Boca Raton pp 611–621.
Spencer G. L. and G. P. Meade. (1963). “**Fresh stalk sugar handbook**” New York. John Wiley Press.
Sridhar K. Gangaiah B. and Ramesh C. R. (2003) “Genetic diversity studies in forage sorghum”**Int. Sorghum Millets NewsLett.**, 44, 3-6.
Subbaiah C.C. and Sachs M.M. (2003) “Molecular and Cellular Adaptations of Maize to Flooding Stress” **Ann. Bot.,** 91, 119-127.
Subramanian S. K. (2013) “Agronomical physiological and biochemical approaches to characterize sweet sorghum genotypes for biofuel production” Ph.D. Dissertation. Kansas University. pp187.
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”. **Com. Biomet. Crop Sci.,** 10(2), 73–81.
Tarpley L. and Vietor D.M. (2007) “Compartmentation of sucrose during radial transfer in mature sorghum culm” **BMC Plant Biol.**, 7,33-43.
Teetor V. H. Duclos D. V. Wittenberg E. T. Young K. M. Chawhuaymak J. Riley M. R. and Ray D. T. (2011) “Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona”. **Ind. Crop Products**., 34, 1293–1300.
Thayer J. S. (1974) “Organometallic Compounds and Living Organisms” **J. Organomet**. **Chem.**,76(3), 265-295.
Tsialtas J. T. and N. Maslaris. (2008). “Evaluation of a leaf area prediction model proposed for sunflower”. **Photosynthetica**, 46, 294-297.
Vasilakoglou I. Dhima K. Karagiannidis N. and Gatsis T. (2011) “Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation” **Field Crop Res**., 120, 38-46.
Verhaest M. Lammens W. Le Roy K. De Ranter C.J. Van Laere A. Rabijns A. and Van den Ende W. (2007). “Insights into the fine architecture of the active site of chicory fructan 1-exohydrolase: 1-kestose as substrate vs sucrose as inhibitor”. **New Phytol**.,174, 90-100.
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.

Welham T. Pike J. Horst I. Flemetakis E. Katinakis P. Kaneko T. Sato S. Tabata S. Perry J. Parniske M. and Wang T.L. (2009). "A cytosolic invertase is required for normal growth and cell development in the model legume Lotus japonicas". **J. Exp. Bot.**, 60(12), 3353-65.

Weschke W. Panitz R. Gubatz S. Wang Q. Radchuk R. Weber H. and Wobus U. (2003). "The role of invertases and hexose transporters in controlling sugar ratios in maternal and filial tissues of barley caryopses during early development". **Plant J.,** 33, 395-411.

Wolf F.I. Cittadini A. 2003. "Chemistry and biochemistry of magnesium" **Mol. Aspects Med**., 24, 3-9.

Wu X. Staggenborg S. Propheter J. L. Rooney W. L. Yu J. and Wang D. (2010). "Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation". **Ind. Crop. Product**., 31, 164–170.

Zegada-Lizarazu W. and Monti A. (2012) "Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices" **Biomass Bioenergy** 40, 1–12.

Zhao X.N. Li G.Y. Liu Y. Lu P. Dun B.Q. and Yue M.Q. (2008) "Genetic diversity and correlation analysis of main agronomic characters in domestic and foreign sweet sorghum germplasm" **J. Plant Gene. Res.,** 9(3), 302-307.

Zhao Y. L. D.Abdughani D.Yosef X. Wang O.Amarjan and G.H.Xie. (2009). "Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel". **Field Crop Res.,** 111, 55-64.

Zhu Y.J. Komor E. and Moore P.H. (1997) 'Sucrose accumulation in the sugarcane stem is regulated by the difference between the activities of soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase" **Plant Physiol**.,115, 609–16.

Zrenner R. Salanoubat M. Willmitzer L. and Sonnewald U. (1995). "Evidence of the crucial role of sucrose synthase for sink strength using transgenic potato plants (*Solanum tuberosum* L.)". **Plant J**., 7, 97-107.

Abstract

In recent years, water deficit in Iran, especially in arid and semi-arid regions, has necessitated the need to replace sugar beet plantation with plants with higher water use efficiency. Sweet sorghum is one of the sugar plants with low water requirements and high environmental compatibility that provides economical sugar production in different regions. However, the physiological aspects affect sugar yield in this plant is not fully understood. The present experiment examines the effect of sink removal of as a limiting factor for sugar production and magnesium spraying as a factor in improving plant growth on photosynthetic pigments and yield of two sweet sorghum varieties. This research was carried out in a factorial based on a randomized complete block design with three replications in two years (2014, 2015) in Shahroud Agricultural Research Center. Experimental factors included sweet sorghum cultivars (KFS2 and KFS3); sink removal treatments (control, mechanical removal and chemical removal using ethephon) and spraying different concentrations of magnesium (0, 4 and 8 mM).

The results of this study showed that in different years of experiment, KFS3 had significant differences with KFS2 for plant height, stem diameter, fresh forage yield and water use efficiency in terms of dry matter. Among sink removal treatments, mechanical and chemical removal had the greatest effect on the measured traits. In addition to increasing biological yield and photosynthetic pigments, these treatments increased the amount of sucrose and total sugars in syrup compared with intact plant and zero level of magnesium spraying in combination with the concentrations of 4 and 8 mM magnesium. Due to the no significant difference in most traits between 4 and 8 mM levels, a 4 mM level of magnesium is recommended. The highest yield of sugar was 4166 kg ha^{-1}, and the highest water use efficiency was obtained in terms of sugar yield 0.75 kg m^{-3} from chemical sink removal and 4 mM magnesium in KFS2. In two varieties, assimilate surface index was significantly affected by sink removal and the highest rate obtained from chemical removal with amount of 2.65 g m^{-2} of leaf area, which, along with other traits indicates that the photosynthetic capacity of the plant is enhanced by sink removal, especially by chemical removal with ethephon. In general, with the implementation of this research, it can be concluded that using the ethephon as a substitute for mechanical removal of the sink removal by preventing flowering in sweet sorghum, the quantitative and qualitative growth of the cultivars of this plant could be increased. Also, the use of different concentrations of magnesium in addition to this combination increased sugar yield.

Key words: sink removal, ethephon, magnesium spraying, sugar yield, Ethanol

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

Ph.D. Dissertation in Agronomy

Evaluation of Some Physiological Characteristics Related to the Production of Sugar in Sweet Sorghum

By: Somayeh Nezarat

Supervisor
Dr. Ahmad Gholami

Advisors
Dr. Hamid Reza Asghari
Dr. Mahdi Baradaran Firouzabadi

September, 2018