بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پاسخ گیاه سیاه‌دانه به محلول‌پاشی ساکارز و گلوکز در شرایط کم آبیاری

حمید آقابیکی

استاد راهنما

دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

اساتید مشاور

دکتر احمد غلامی **دکتر مصطفی حیدری**

شهریور ۱۳۹۴

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : کشاورزی

گروه : زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/ خانم حمید آقابیکی به شماره دانشجویی: **۹۱۰۰۷۵۴**

تحت عنوان: بررسی پاسخ گیاه سیاه‌دانه به محلول‌پاشی ساکارز و گلوکز در شرایط کم‌آبیاری

در تاریخ ۹۴/۶/۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد زراعت مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :دکتر مهدی برادران فیروزآبادی		نام و نام خانوادگی : دکتر احمد غلامی	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر مصطفی حیدری	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی : دکتر محمد رضا عامریان		نام و نام خانوادگی : دکتر حسن مکاریان	
نام و نام خانوادگی : دکتر منوچهر قلی پور			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیر و تشکر

با سپاس از ایزد یکتا که همواره یار و یاور بندگانش است

جای آن دارد از تمام کسانی که در تدوین و اجرای این پایان‌نامه اینجانب را یاری نموده‌اند تشکر نمایم بطور خاص از استاد راهنمای گرانقدر **جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی** که در طی اجرای این پایان‌نامه زحمات فراوانی متقبل شدند و در تمام این مدت از هیچ کمکی در این رابطه دریغ نفرمودند، همچنین از اساتید مشاورم **جناب آقای دکتر احمد غلامی و جناب آقای دکتر مصطفی حیدری** که در به ثمر رسیدن این پایان‌نامه مرا مساعدت فرمودند، از **جناب آقای دکتر محمد رضا عامریان و جناب آقای دکتر منوچهر قلی پور** که زحمت داوری این پایان‌نامه را به عهده داشتند نیز تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم. از مدیریت محترم گروه زراعت **جناب آقای دکتر حسن مکاریان** و کلیه اساتیدی که در طی این مقطع از تحصیل در محضر آن بزرگان افتخار شاگردی را داشتم کمال تشکرم و قدردانی می‌نمایم.

تعهدنامه

اینجانب **حمید آقابیکی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زراعت** دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی پاسخ گیاه سیاهدانه به محلول پاشی ساکارز و گلوکز در شرایط کم آبیاری** تحت راهنمائی **جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی** متعهد می‌شوم.

تحقیقات در این پایان نامه 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 شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام ((دانشگاه شاهرود)) ویا ((**Shahrood University**)) به چاپ خواد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرخ از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته و استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**

چکیده

تنظیم اسمزی به‌عنوان جزئی مهم از مکانیزم‌های تحمل به خشکی در گیاهان مطرح است. در شرایط تنش، قندها از سلول‌ها از طریق تنظیم اسمزی و نگهداری تورژسانس و همچنین پایداری غشاها و پروتئین‌ها محافظت می‌کنند. جهت بررسی اثر محلول‌پاشی قندهای ساکارز و گلوکز بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک سیاه‌دانه آزمایشی در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود به اجرا درآمد. تیمارها شامل دو سطح آبیاری هر ۸ روز یکبار (عدم‌تنش) و هر ۱۶ روز یکبار (تنش) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه سطح محلول‌پاشی ساکارز (صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر) و گلوکز در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر) به‌عنوان فاکتورهای فرعی بودند که در سه تکرار در قالب آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی سازماندهی شدند. تیمار تنش پس از استقرار کامل بوته‌ها و محلول‌پاشی قندها ۳۰ روز پس از کاشت صورت پذیرفت. نتایج نشان داد افزایش فواصل آبیاری موجب کاهش وزن خشک، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، عملکرد، تعداد شاخه فرعی، محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، کلروفیل، درصد پروتئین و قندهای محلول دانه گردید. هر دو غلظت بکار رفته ساکارز بر کلیه صفات مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری داشت ولی دو غلظت بکار رفته در محلول‌پاشی گلوکز بر صفات نسبت کلروفیل a به b، کلروفیل کل، پروتئین دانه تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند و در صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، آب برگ و شاخص پایداری غشاء، غلظت ۲۰ گرم در لیتر با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد و صفات تعداد کپسول، کلروفیل b و کاروتنوئید تحت تأثیر این تیمار واقع نگردید.

کلمات کلیدی: تنش کم آبیاری، ساکارز، گلوکز، سیاه‌دانه.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۶
۱-۱- سیاهدانه	۶
۱-۱-۱- گیاهشناسی	۶
۱-۱-۲- اهمیت و موارد مصرف	۸
۱-۱-۳- ترکیبات سیاه‌دانه	۹
۱-۱-۴- اکولوژی	۹
۱-۱-۵- کاشت و تکثیر	۱۱
۱-۱-۶- سازگاری	۱۴
۱-۱-۷- برداشت	۱۴
۱-۲- نقش و اهمیت آب در گیاه	۱۶
۱-۳- تنش	۱۷
۱-۴- خشکی	۲۱
فصل دوم	۲۲
۲-۱-۱- تاثیر تنش بر فرآیند های رشدی گیاهان	۲۲
۲-۱-۱-۱- جوانه زنی	۲۳
۲-۱-۱-۲- رشد گیاه و توسعه برگ	۲۴
۲-۱-۱-۳- عملکرد	۲۵
۲-۱-۲- تأثیر تنش بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه	۲۶
۲-۱-۲-۱- تأثیر تنش خشکی بر مقدار آب نسبی برگ	۲۷
۲-۱-۲-۲- تأثیر تنش خشکی بر پایداری غشاء پلاسمایی	۲۸
۲-۱-۲-۳- تأثیر تنش خشکی بر قندهای محلول	۲۹
۲-۱-۲-۴- تأثیر تنش خشکی بر مقدار پروتئین دانه	۳۰
۲-۱-۲-۵- تاثیر تنش خشکی بر فتوسنتز	۳۲
۲-۲- مواد تنظیم کننده اسمزی	۳۴
۲-۳- نقش کربوهیدراتها در فرآیند تنظیم اسمزی	۳۷
۳- فصل سوم: مواد و روش ها	۳۸
۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش	۳۸
۳-۲- مشخصات طرح آزمایشی	۴۰
۳-۳- عملیات اجرایی	۴۰
۳-۳-۱ کاشت	۴۱
۳-۳-۲- داشت و برداشت	۴۱
۳-۳-۳- اعمال تیمارها	۴۱

۳-۳- ۴- نمونه برداری
۳-۴- صفات زراعی و مورفولوژیک ۴۱
۳-۴-۱- ارتفاع بوته ۴۱
۳-۴-۲- وزن خشک اندام هوایی (برگ و ساقه و غلاف) ۴۲
۳-۴-۳- عملکرد و اجزای عملکرد ۴۲
۳-۵- صفات فیزیولوژیک ۴۲
۳-۵-۱- محتوی آب نسبی برگ ۴۲
۳-۵-۲- پایداری غشای پلاسمایی ۴۳
۳-۵-۳- کلروفیل و کاروتنوئید ۴۳
۳-۶- صفات کیفی ۴۴
۳-۶-۱- سنجش قند های محلول ۴۴
۳-۶-۲- درصد پروتئین دانه ۴۶
۳-۷- تجزیه و تحلیل داده ها ۴۷
فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۹
۴-۱- صفات زراعی ۵۰
۴-۱-۱- ارتفاع گیاه ۵۰
۴-۱-۲- وزن خشک اندام هوایی گیاه ۵۱
۴-۱-۳- تعداد شاخه فرعی ۵۳
۴-۱-۴- تعدادکپسول در بوته ۵۵
۴-۱-۵- عملکرد ۵۶
۴-۲- صفات فیزیولوژیک ۵۹
۴-۲-۱- آب برگ ۵۹
۴-۲-۲- پایداری غشا پلاسمایی ۶۱
۴-۲-۳- کلروفیل a ۶۴
۴-۲-۴- کلروفیل b ۶۵
۴-۲-۵- کلروفیل کل ۶۶
۴-۲-۶- کاروتنوئید ۶۷
۴-۲-۷- نسبت کلروفیل a به b ۶۸
۴-۳- صفات کیفی ۶۹
۴-۳-۱- درصد پروتئین دانه ۶۹
۴-۳-۱- کربوهیدرات دانه ۷۲
۴-۴- نتیجه گیری ۷۴
۴-۵- پیشنهادات ۷۴
۴-۶- منابع ۷۷
۴-۷- پیوست ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

شکل	صفحه
۱-۱- شمای کلی گیاه سیاه‌دانه	۷
۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده	۴۰
۳-۲- منحنی استاندارد گلوکز خالص در طول موج ۴۸۵ نانومتر	۴۵
۴-۱- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر تنش‌کم‌آبیاری	۵۰
۴-۲- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی با ساکارز و گلوکز	۵۱
۴-۳- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز	۵۲
۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز	۵۲
۴-۵- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول‌پاشی ساکارز	۵۴
۴-۶- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول‌پاشی گلوکز	۵۵
۴-۷- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز	۵۵
۴-۸- مقایسه میانگین تعداد کپسول تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی ساکارز	۵۶
۴-۹- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر تنش‌کم‌آبیاری	۵۷
۴-۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز	۵۷
۴-۱۱- مقایسه میانگین عملکرد تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز	۵۸
۴-۱۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر تنش‌کم‌آبیاری	۵۹
۴-۱۳- مقایسه میانگین محتوای آب نیبی برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز	۵۹
۴-۱۴- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز	۶۰
۴-۱۵- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تأثیر تیمار تنش کم‌آبیاری	۶۲
۴-۱۶- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تأثیر محلول پاشی ساکارز	۶۲
۴- ۱۷ - مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تأثیر محلول پاشی گلوکز	۶۳
۴- ۱۸- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل a تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز	۶۳
۴- ۱۹- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل a تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و ساکارز	۶۵
۴- ۲۰ مقایسه میانگین غلظت کلروفیل b تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز	۶۶
۴- ۲۱- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل کل برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ساکارز	۶۷
۴- ۲۲- مقایسه میانگین میزان کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیب تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و ساکارز	۶۸
۴-۲۳- مقایسه میانگین نسبت کلروفیل a به b تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول‌پاشی ساکارز	۶۹
۴-۲۴- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول‌پاشی ساکارز	۷۰
۴-۲۵- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی با ساکارز و گلوکز	۷۱

۴-۲۶- مقایسه میانگین کربوهیدرات دانه ساکارز تحت تأثیر تیمار تنش کم‌آبیاری ۷۲
۴-۲۷- مقایسه میانگین کربوهیدرات دانه ساکارز تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز ۷۳
۴-۲۸- مقایسه میانگین کربوهیدرات دانه ساکارز تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز ۷۳

فهرست جداول

جدول صفحه
۱-۱- جدول مراحل رشد و نمو سیاه‌دانه ۱۲
۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۳۹
۴-۱- میانگین مربعات ارتفاع بوته، وزن خشک کل، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول دربوته و عملکرد گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز. ۱۰۲
۴-۲- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، وزن خشک کل، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول دربوته و عملکرد گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز ۱۰۲
۴-۳- یانگین مربعات محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز ۱۰۳
۴-۴- میانگین مربعات کلرفیل a، b و کل، کاروتنوئید و نسبت کلروفیل a به b در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز ۱۰۳
۴-۵- مقایسه میانگین کلرفیل a، b، و کل، کاروتنوئید و نسبت کلروفیل a به b در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز ۱۰۴
۴-۶- مقایسه میانگین پروتئین و کربو هیدرات دانه در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول-پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز ۱۰۴
۴-۷- مقایسه میانگین پروتئین و کربوهیدرات دانه در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول-پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز ۱۰۵

فصل اول

مقدمه و کلیات

بر اساس سی و چهارمین گزارش کمیته‌ی امنیت غذایی در جهان ، تعداد گرسنگان جهان در حال افزایش است (فائو ۲۰۰۸). در همین رابطه برآوردهای فائو نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۷ ، ۷۵ میلیون نفر بر تعداد افراد دچار گرسنگی نسبت به دوره ۲۰۰۵ - ۲۰۰۳ افزوده شده است و تعداد گرسنگان جهان در سال ۲۰۰۷، به حدود ۹۲۳ میلیون نفر رسیده است (سازمان خوارو بار و کشاورزی ملل متحد، ۲۰۰۵).

حال‌آنکه با توجه به رشد روزافزون جمعیت، چالش‌های بخش کشاورزی باگذشت زمان پیچیده‌تر از گذشته می‌شوند، ازجمله این چالش‌ها می‌توان به افزایش نیاز غذایی به دلیل رشد جمعیت، کاهش حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی و افزایش مصرف آب در بخش شرب، بهداشت و صنعت با توجه به محدودیت منابع آبی اشاره کرد، که در کنار این عوامل تغییرات دما و تغییرات الگوهای بارش حاصل از تغییرات آب و هوایی نیز می‌توانند سبب اثرات مهمی بر کشاورزی جهانی شوند. همچنین انتظار می‌رود که بهره‌وری تولید درنتیجه تغییرات در اقلیم و اتفاقات آب‌وهوایی و تغییرات در الگوهای آفات و بیماری ها، تغییر یابد (ابیلدراپت و جیلینگ،۲۰۰۱).

باوجود این‌که آب از فراوان‌ترین ترکیبات روی زمین می‌باشد و دوسوم از سطح زمین را آب فراگرفته است، ولی در بخش عمده‌ای از جهان کمبود آب، عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی شناخته می‌شود (خواجه حسینی و پاول، ۲۰۰۳). گیاهان در اغلب مناطق خشک جهان کم‌وبیش با تنش رطوبتی مواجه هستند. حتی در شرایط آب‌وهوای مرطوب نیز ممکن است توزیع نامنظم بارندگی، منجر به محدود شدن آب قابل‌دسترس و درنتیجه کاهش رشد شود. همچنین تنش‌هایی مانند تنش شوری، سرمازدگی و انجماد، همراه با از دست رفتن آب بافت، منجر به تنش کم‌آبی در گیاهان می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۷۴).

بیش از ۴۵ درصد از زمین‌های کشاورزی به‌طور دائم در معرض خشکی قرار دارند و ۳۸ درصد جمعیت دنیا، در آن مکان‌ها ساکن هستند (افشار و همکاران، ۲۰۰۷). لذا در آینده، بیشترین تلاش‌ها در جهت تولید بیشتر محصول در شرایط کم‌آبی خواهد بود (سینکی و همکاران، ۲۰۰۷).

تنش خشکی یک پدیده طبیعی است که در گیاهان به وجود می‌آید (حاجبی و حیدری شریف‌آباد، ۱۳۸۴). علت اصلی تنش کمبود آب در گیاه افزایش میزان تلفات آب، یا کافی نبودن میزان جذب آب و یا ترکیبی از هر دو عامل است که براثر آن میزان تلفات آب ناشی از تعرق بر میزان جذب آن توسط ریشه‌ها پیشی گرفته و میزان تنش افزایش می‌یابد. کمبود آب با از بین بردن آماس سلول‌ها، سبب مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، توقف رشد برگ، کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تغییر در متابولیسم، خشک شدن و مرگ گیاه می‌گردد (علیزاده، ۱۳۷۴). کاهش میزان فتوسنتز بـه علت بسته شدن روزنه‌ها، کاهش رشد گیاه، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه و کاهش طـول دوره پر شدن دانه‌ها از مهم‌ترین اثرات خشکی بر گیاهان است (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). وقوع تنش کم‌آبی در مرحله پر شدن دانه از طریق کاهش رشد برگ‌ها (گان و آمازینو، ۱۹۹۷)، (گال و همکاران، ۲۰۱۰)، غلظت کلروفیل (برودان و اگلی، ۲۰۰۳)، غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها (رودریگز و همکاران، ۲۰۰۲)، هدایت روزنه‌ای (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۲) و در نهایت سرعت فتوسنتز (یانگ و زانگ، ۲۰۰۶) و تسریع پیری برگ‌ها (مارتینز و همکاران، ۲۰۰۳) میزان تولید بیوماس و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان خسارت به شدت و مدت زمان اعمال تنش و همچنین مقاومت گیاه و مرحله رشدی که گیاه در آن قرار دارد بستگی دارد (توماس و همکاران، ۲۰۰۴). در موارد زیادی نیز کاهش میزان متابولیت‌های ثانویه در شرایط تنش دیده می‌شود (صالحی، ۱۳۸۴). کمبود هر منبعی که رشد را بیش از فتوسنتز محدود کند تولید متابولیت‌های ثانویه را افزایش می‌دهد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرفی تأثیر تنش خشکی بر همه این ترکیب‌ها یکسان نیست، بنابراین کیفیت مواد مؤثره نیز تحت تنش قرار می‌گیرد (صالحی، ۱۳۸۴).

تنش خشکی براساس شدت، مدت و مرحله رشدی می‌تواند منجر به تغییرات زیادی در رشد و نمو و میزان ماده مؤثره تولیدی در گیاهان دارویی شود.

گیاهان در شریط مواجهه با تنش به‌منظور حفظ و ادامه جذب آب نسبت به تنظیم اسمزی اقدام می-کنند. تنظیم اسمزی یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل و سازگاری سلول در مواجهه با تنش خشکی است و تحت تأثیر اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها قرار دارد (بوزانوواو و دچو، ۲۰۱۰).

تنظیم اسمزی، بر اثر کاهش پتانسیل اسمزی از طریق تجمع املاح در سلول‌های گیاهی حاصل می-شود و با حفظ فشار آماس سلول‌ها، به توسعه سلولی و رشد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند (راسکیو و همکاران، ۱۹۹۴). افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول ازجمله واکنش‌هایی است که گیاهان مختلف در مواجهه با تنش خشکی از خود بروز می‌دهند (بوهنرت و همکاران، ۱۹۹۵). در این شرایط در اثر افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز نشاسته کاهش و در مقابل غلظت قندهای محلول افزایش می‌یابد (آندرسون و کوهورن، ۲۰۰۱). قندهای محلول درون سلول در تنظیم اسمزی نقش مهمی ایفا کرده و کمک می‌کنند تا پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ فشار تورژسانس در تنش کم-آبی در داخل سلول باقی بماند (ساتو و همکاران، ۲۰۰۴). البته این فرآیند برای گیاه بدون هزینه نخواهد بود.

با علم به این موضوع، محلول‌پاشی ساکارز و گلوکز در شرایط تنش و عدم تنش به‌عنوان موضوع این پژوهش مطرح شده و این‌گونه استنباط می‌شود که ساکارز و گلوکز بتوانند پس از ورود به گیاه در شرایط عدم‌تنش رشد گیاه را بهبود بخشند و از پر شدن دانه، تولید روغن و سایر آلکالوئیدهای موجود در سیاه‌دانه حمایت کرده و در شرایط تنش به‌عنوان یک ماده محافظت‌کننده از طریق تنظیم اسمزی و کاهش هزینه تولید متابولیت‌ها عمل و اثرات تنش را تخفیف دهند.

با توجه به اینکه مطالعات اندکی در زمینه‌ی کاربرد قندها در مقابله با تنش و تأثیر بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه صورت گرفته است، در این تحقیق سعی شده است به بررسی اثر ساکارز و گلوکز بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک سیاه‌دانه در شرایط تنش کم‌آبیاری، پرداخته شود تا شاید بخشی از ابهام‌های موجود در زمینه‌ی چگونگی تأثیرگذاری کاربرد خارجی کربوهیدرات‌ها روی گیاه به‌ویژه در شرایط تنش روشن گردد.

اهداف در نظر گرفته‌شده برای این پژوهش به شرح زیر است:

۱- تأثیر تنش کم‌آبیاری بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک سیاه‌دانه در شرایط کم‌آبی و عدم تنش.

۲- تأثیر غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز بر خصوصیات کمی و کیفی سیاه‌دانه در شرایط کم‌آبی و عدم تنش.

۱-۱- سیاه‌دانه

۱-۱-۱- گیاه‌شناسی

سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* گیاهی علفی، یک ساله و دو لپه با ۱۲= $2n$ کروموزوم، متعلق به زیر رده جدا گل برگان و تیره آلاله[1] است (بابایان و همکاران، ۱۹۷۸). که در غرب آسیا و منطقه مدیترانه رشد می‌کند (مشهدین و رخشنده، ۲۰۰۵) این گیاه یک‌ساله با دوره زندگی کوتاه‌مدت، مخصوص نواحی نیمه‌خشک است. این گیاه به ارتفاع ۲۰-۵۰ سانتی‌متر و دارای ریشه راست و ساقه راست و منشعب است (بابایی، ۱۳۷۴). همان‌طور که در شکل ۲-۱ نیز مشاهده می‌شود، برگ‌های آن منقسم به تقسیمات باریک و نخی شکل، گل‌هایش منفرد دارای ۵ گلبرگ به عرض ۲/۵ سانتی‌متر به رنگ سفید شیری با کناره مایل به آبی است. میوه آن از نوع کپسول پنج‌قسمتی است، بذور کوچک (۱تا ۵ میلی‌گرم)، به رنگ سیاه مات با گوشه‌های تیز و یک بخش داخلی چرب و سفید که شباهت زیادی به دانه‌های پیاز دارد (دآنتونو، ۲۰۰۲).

۱ -۱-۲- اهمیت و موارد مصرف

بیش از دو هزار سال است که از سیاه‌دانه به‌عنوان گیاه دارویی استفاده شده است و دانه آن در حال حاضر مصارف گسترده‌ای در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دارد. سیاه‌دانه به‌طور وسیع در درمان آسم، سردرد، اسهال خونی، عفونت‌ها، چاقی، کمردرد، فشارخون و مشکلات گوارشی در خاورمیانه و خاور دور استفاده می‌شود و به‌صورت موضعی در درمان آبسه‌ها، زخم‌های بینی و روماتیسم کاربرد دارد (حاجی شریفی، ۲۰۰۳). همچنین کاربرد دارویی سنتی از سیاه‌دانه به جهت درمان سرگیجه، فراموشی، درد دندان، آلرژی‌ها، آکنه، بیماری پوست، به‌عنوان یک پادزهر برای گزش، نازایی، درمان مشکلات کلیه، معده

[1]-Ranunculaceae

شکل ۲-۱- اندام‌های گیاهی در سیاهدانه

درد، اختلال قلبی، بهبود گردش خون، به‌عنوان یک درمان میگرن و برای درمان اسهال است (حنفی و حاتم، ۱۹۹۱). عطرمایه سیاه‌دانه نیز خاصیت ضدعفونی‌کننده دارد (بانیان و همکاران، ۲۰۰۸).

۱-۱-۳- ترکیبات سیاه‌دانه

سیاه‌دانه حاوی حدود ۱۰۰ نوع ترکیب است. بذور سیاه‌دانه منبع غنی از اسیدهای چرب اشباع نشده و حاوی ۳۰ تا۴۰ درصد ماده روغنی، ۲۱ درصد پروتئین و ۳۸ درصد کربوهیدرات است (بسیم عطا، ۲۰۰۳). بر اساس تحقیقات شاه و سن‌ری (۲۰۰۳) در هند، دانه رسیده سیاه‌دانه حاوی ۷ درصد رطوبت، ۴/۳۴ درصد خاکستر، ۲۳ درصد پروتئین، ۳۹ درصد چربی کل، ۴/۹۹ درصد نشاسته، ۵/۴۴ درصد فیبر خام و ۹/۵۲ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم توکوفرول است. اغلب این خواص به دلیل وجود ترکیبات کینونی مانند تیموکینون و دی تیموکینون دردانه است (قوشه و همکاران، ۱۹۹۸). بیش از ۵۰ درصد روغن آن از اسیدهای چرب ضروری است و ۰/۵ تا ۱/۵ درصد عطرمایه با بوی تند و قندهای مختلف، مواد صنعتی و ساپونوئیدی است. تیموکینون، تیموهیدروکینون و نیژلون به‌عنوان ترکیبات فعال اصلی در سیاه‌دانه شناخته شده‌اند (قوشه و همکاران، ۱۹۹۹).

چهـار نـوع آلکالوئید بانام‌های نیجلامین A(1)، A(2)، B(1)، B(2) از دانه گیاه سیاه‌دانه استخراج شده است. تیموکینون، دی تیموکنیون، تیموهیدروکینون و تیمول مواد مؤثره اصلی در عصاره آبی دانه گیاه هستند (موری کاوا و همکاران، ۲۰۰۴). ۳۰ درصد وزن سیاه‌دانه را روغن تشکیل می‌دهد که p-cymen اصلی‌ترین ترکیب آن است و تقریباً ۶۱/۴۸ درصد از وزن روغن فرار آن را تشکیل می‌دهد (گنگ و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین دانه گیاه حاوی چربی، ویتامین‌ها، مـواد معـدنی و پروتئین (شامل هشت اسیدآمینه ضروری) و کربوهیدرات‌ها شامل منوساکاریدها به شکل گلوکز، زایلوز، آرابینوز و رامنوز است (بهاتیا، ۱۹۷۲). دانه گیاه منبع غنی اسیدهای چرب ضروری و غیراشباع است. اصلی‌ترین اسید چرب غیراشباع اسید لینولئیک و سپس اسید اولیئک است. ترکیبات دیگری مانند فسفولیپیدها، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم نیز دردانه‌ها وجود دارد (نیک‌آور و همکاران، ۲۰۰۳).

در بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی، این گیاه را برای روغن دانه کشت می‌نمایند. در بررسی سیاه‌دانه هندی بـه روش GC-MASS ، ۳۸ ترکیب مشخص‌شده ۸۴/۶۵ درصد کل ترکیبات موجود در سیاه‌دانه را تشکیل می‌دهند. عمده این ترکیبات (۹۷/۹ درصد) شامل: P-سیمن (۳۶/۲ درصد)، تیموکینون (۱۱/۳۷ درصد)، آلفا توجن (۱۰/۰۳ درصد)، لونجی فولن (۶/۳۲ درصد) و کارواکرول (۲/۱۲ درصد) می‌باشد (عطالرحمان و همکاران، ۱۹۹۵). در حالی‌که ترکیبات اصلی گیاه ایرانی شامل ترانس آنتول (۳۸/۳ درصد)، p- سیمن (۱۴/۸ درصد)، لیمونن (۴/۳ درصد)، کارون (۴ درصد) و تیموکینون (۵/۸ درصد) است (حسین زاده و پرورده، ۲۰۰۴).

۱-۱-۴- اکولوژی

سیاه‌دانه در بیشتر نواحی اروپای جنوبی، آفریقای شمالی و آسیا از جمله در شمال و شمال غربی ایران به‌صورت طبیعی می‌روید و در نواحی مختلف به‌صورت پرورشی نیز کشت می‌گردد. موطن اصلی این گیاه جنوب اروپا و آسیای غربی بوده است (صالحی سورمقی، ۱۹۹۳). این گیاه به‌سادگی با محیط جدید خو می‌گیرد. سیاه‌دانه به کمبود آهن و خاک‌های ضعیف حساس است و به‌سرعت زرد می‌شود همچنین به شوری و گرما نیز مقاومت خاصی ندارد. در ایران این گیاه بیشتر در اراک و در مناطقی از کرمانشاه به‌طور خودرو می‌روید. در اصفهان و در نواحی مختلفی از ایران نیز کشت می‌گردد (مودی و راشد محصل، ۱۳۷۸).

۱-۱-۵- کاشت و تکثیر

تکثیر سیاه‌دانه به‌وسیله‌ی بذر صورت می‌گیرد. تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه زراعی بسیار با اهمیت بوده و از عوامل مهم جهت رسیدن به حداکثر عملکرد بالقوه در گیاهان می‌باشد. تأثیر عوامل محیطی بر مراحل فنولوژیکی گیاه باعث می‌شود که تاریخ کاشت از منطقه‌ای به منطقه دیگر

و حتی در یک منطقه بسته به اختلاف ژنتیکی میان ارقام، فرق کند (قوشه و همکاران، ۱۹۹۹). انتخاب تاریخ کاشت مناسب به دلیل ضرورت استفاده حداکثر از منابع طبیعی طی فصل رشد حائز اهمیت است. در کاشت خیلی زود، پایین بودن دمای خاک و صدمات ناشی از یخبندان موجب استقرار ضعیف گیاهان در بهار می‌گردد. تأخیر زیاد در کاشت نیز به علت کوتاه شدن دوره رشد گیاه و احتمال برخورد زمان گلدهی با دماهای بالا اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاهان می‌گذارد (باروس و همکاران، ۲۰۰۴). فیلیپو و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که با تأخیر در تاریخ کاشت عملکرد دانه سیاه‌دانه کاهش یافت. آن‌ها دلیل این کاهش را کاهش تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه بیان کردند. از عوامل مهم تعیین‌کننده تاریخ کاشت مطلوب در هـــر منطقه می‌توان به دمای مناسب خاک جهت جوانه‌زنی، میزان رشد رویشی کافی قبل از گلدهی، عدم برخورد زمـــان گلدهی با دمای بالا و سرمای آخر فصل اشاره کرد (امام، ۱۳۷۴). به لحاظ تأثیر تاریخ کاشت بر استقرار گیاه، کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، زمان برداشت و کیفیت محصول، دانستن مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای هر منطقه در جهت ارتقاء کمی و کیفی محصول اجتناب‌ناپذیر است. تراکم مطلوب بوته عبارت از تراکمی است که در نتیجه آن عوامل محیطـی (آب، هوا، نور و خاک) به‌طور کامل مورد استفاده قرار گرفته و در عین حال رقابت‌های بین بوته‌ای و درون بوته‌ای حداقل باشند. از طرف دیگر این تراکم فضای کافی را برای انجام عملیات داشـت تأمین، وشـــرایط لازم بـــرای ارتقاء کیفیت محصول را نیز مهیا نماید (خواجه‌پور، ۱۳۷۳)

نوروز پور و رضوانی مقدم (۱۳۸۵) نتیجه گرفتند که حداکثر عملکرد در تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع و حداقل عملکرد از تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد، به نظر می‌رسد که افزایش تراکم بیش از ۲۰۰ بوته در مترمربع سبب افزایش رقابت بین بوته‌ای در مزرعه می‌شود که خود موجب افزایش رشد رویشی بوته‌ها می‌گردد و سهم اجزای زایشی از فتوسنتز تولیدشده کاهش می‌یابد، لذا به نظر می‌رسد که تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع در سیاه‌دانه تراکم بحرانی است. در این مطالعه بیشترین عملکرد روغن در

واحد سطح از فاصله آبیاری یک هفته و تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع حاصل شد، عملکرد عطرمایه هم در تراکم ۱۵۰ بوته در مترمربع بیشترین مقدار را دارا بوده و با افزایش تراکم از میزان عملکرد عطرمایه در واحد سطح کاسته شد.

۱-۱-۶- سازگاری

حداقل دمای ۷/۸ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ۱۳ درجه سانتی‌گراد، دمای حداکثر ۲۱ درجه سانتی‌گراد، حداقل باران سالیانه ۴۳۰ میلی‌متر، بارندگی مطلوب ۷۹۰ میلی‌متر، حداکثر باران سالیانه ۱۵۳۰ میلی‌متر، حداقل اسیدیته (pH) خاک ۶/۵ ، حد مطلوب اسیدیته ۶/۹ و حداکثر اسیدیته ۸/۲ شرایطی هستند که توسط دوک (۱۹۸۲) برای رشد سیاه‌دانه ذکر شده است. مودی (۱۳۷۸) مشاهده کرد که در فاصله ردیف ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر بترتیب بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به‌دست آمد.

مودی (۱۳۷۸) مراحل فنولوژیکی سیاه‌دانه را در شرایط آب‌وهوایی مشهد مورد بررسی قرار داد که نتایج آن در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه زراعی بسیار بااهمیت بوده و از عوامل مهم جهت رسیدن به حداکثر عملکرد بالقوه در گیاهان است. تأثیر عوامل محیطی بر مراحل فیزیولوژیکی گیاه باعث می‌شود که تاریخ کاشت از منطقه‌ای به منطقه دیگر و حتی در یک منطقه بسته به اختلاف ژنتیکی میان ارقام، فرق کند (هادلی و آر جی سامر، ۱۹۸۳؛ سند هو، ۱۹۸۴). انتخاب تاریخ کاشت مناسب به علت ضرورت استفاده حداکثر از منابع طبیعی طی فصل رشد حائز اهمیت است. در کاشت خیلی زود پایین بودن دمای خاک و صدمات ناشی از یخبندان موجب استقرار ضعیف گیاهان در بهار می‌گردد. تأخیر زیاد در کاشت نیز به علت کوتاه شدن دوره رشد گیاه و احتمال برخورد زمان گلدهی با درجه حرارت‌های بالا اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاهان می‌گذارد (باروز و همکاران، ۲۰۰۴).

جدول۲-۱- مراحل رشد و نمو سیاه‌دانه با توجه به تعداد روز و درجه روزرشد (GDD) موردنیاز گیاه از کاشت تا هر مرحله از نمو

مراحل نمو	تعداد روز	GDD
سبز شدن کامل	۱۲	۱۲۱/۴
۴-۲ برگی	۲۰	۲۰۹
۶-۴ برگی	۲۵	۲۵۰
۸-۶ برگی	۳۱	۳۰۲/۲
۱۰-۸ برگی	۴۱	۳۹۲/۸
شروع غنچه دهی	۵۶	۵۸۹/۸
غنچه دهی کامل و شروع گلدی	۶۷	۷۲۲
گلدهی کامل و شروع تشکی کپسول	۸۱	۱۰۱۳/۸
کامل شدن تشکیل کپسول‌ها و شروع پر شدن دانه‌ها	۱۰۳	۱۴۰۴/۲
رسیدگی فیزیولوژیک	۱۱۳	۱۵۷۴/۲
برداشت	۱۲۲	۱۷۵۹/۴

صفرنژاد و همکاران (۱۳۸۶) در بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژی سیاه‌دانه دریافت که با افزایش تنش شوری، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه، طول ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، نسبت اندام هوایی به ریشه و بیوماس در سیاه‌دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اساس این نتایج گیاه سیاه‌دانه از نظر تحمل به شوری در مرحله گیاهچه نسبت به مرحله جوانه‌زنی برتری نشان داد.

در بررسی نوروزپور (۱۳۸۴) که در دوره‌های مختلف آبیاری و تراکم در گیاه سیاه‌دانه انجام گرفت. در کرت‌های اصلی فواصل آبیاری (۱، ۲، ۳، هفته) و در کرت‌های فرعی تراکم بوته از پنج سطح (۱۵۰، ۲۰۰ ، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰ ، بوته در متر مربع) با چهار تکرار قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان داد تیمارهای مختلف آبیاری تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد فولیکول در بوته و عملکرد دانه داشت و بیشترین عملکرد دانه (۷۵۱/۶۰) کیلوگرم در هکتار در فاصله آبیاری یک هفته و کمترین آن (۳۵۵/۲) کیلوگرم در هکتار از فاصله آبیاری سه هفته مشاهده شد و نتیجه شد که تراکم‌های ۱۵۰ تا ۲۵۰ بوته در متر مربع با فواصل آبیاری دو هفته مناسب‌ترین ترکیب برای تولید سیاه‌دانه در شرایط آب و هوایی مشهد است. بنایان و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تیمارهای مختلف آبیاری روی کیفیت سیاه‌دانه نتیجه گرفتند که سیاه‌دانه کمبود آب را به‌جز در زمان تشکیل دانه تحمل می‌کند. کم‌ترین عملکرد دانه نیز در صورت توقف آبیاری در زمان گلدهی رخ می‌دهد. تعداد دانه در هر گیاه اصلی‌ترین فاکتوری است که در این زمان تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما غلظت روغن تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد.

خان و چاترجی (۱۹۸۲) گزارش کردند که در شرایط پنجاب هند و در یک خاک شنی لومی گیاه سیاه‌دانه به کاربرد فسفر به‌تنهایی پاسخ معنی‌داری نشان نداد ولی هنگامی که فسفر با نیتروژن به‌کار برده شد، افزایش عملکردی معادل ۹۷ درصد را سبب شد و افزایش عملکرد حاصل از کاربرد نیتروژن به تنهایی به مقدار ۸۰ کیلوگرم در هکتار (۹۱ درصد) بود. همچنین گیاه به کاربرد کود پتاسه نیز پاسخ مثبتی نشان داد. با کاربرد هر سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاس عملکرد دانه نسبت به شاهد ۱۲۳ درصد افزایش پیدا کرد. آنان همچنین نتیجه گرفتند که با کوددهی مناسب سود خالص حاصل از کشت سیاه‌دانه به مراتب بیشتر از برنج و گندم بود. در این آزمایش با کاربرد دو تیمار شخم معمولی و شخم حداقل مشخص شد

که عملکرد در تیمارهای شخم حداقل بطور معنی‌داری کمتر از عملکرد در تیمارهای ۴ مرتبه شخم معمولی بود.

۱-۱-۷- برداشت

برداشت سیاه‌دانه در کشت پائیزه در تیرماه و در کشت بهاره در شهریور ماه انجام می‌شود. با زرد شدن کپسول‌ها می‌توان اقدام به برداشت کرد.

۱-۲- نقش و اهمیت آب در گیاه

هیچ موجود زنده‌ای در عالم حیات نمی‌توان یافت که بدون وجود آب بتواند به حیات خود ادامه دهد، زیرا قسمت اعظم اندام‌های گیاهی و بدن جانوران را آب تشکیل می‌دهد. بین ۴۰ تا ۶۰ درصد وزن‌تر درختان و حدود ۹۰ درصد وزن‌تر گیاهان علفی را آب تشکیل می‌دهد. آب در اندام‌های گیاهی و بدن جانوران، محیطی را فراهم می‌سازد که در آن تماس بسیاری از ترکیبات و عناصر بیشتر شده و فعل و انفعالات بیوشیمیایی در این‌چنین محیطی امکان‌پذیرتر می‌شود (اردکانی، ۱۳۸۷). موارد زیر نقش و اهمیت آب را در رشد و نمو گیاهان نشان می‌دهد.

۱- آب جزء عمده و تشکیل دهنده پروتوپلاسم سلول‌ها است. سلول‌های در حال رشد حدود ۹۰ درصد آب دارند.

۲- آب حلالی است که عناصر معدنی در آن محلول شده، و از طریق ریشه وارد گیاه می‌شوند.

۳- آب عامل انتقال مواد غذایی در داخل گیاه است.

۴- آب در فرآیند فتوسنتز دخالت دارد و بدون حضور آن عمل غذا سازی گیاه انجام نخواهد شد.

۵- آب موجب تورم سلول‌های در حال رشد می‌شود و به این ترتیب شکل و ساختمان آن‌ها را تأمین می‌کند.

۶- آب در تنظیم دمای گیاه، دخالت دارد.

اگرچه بسته شدن روزنه ها از طریق کاهش اتلاف آب گیاه می‌تواند در مقاومت به خشکی مؤثر باشد اما بسته شدن روزنه در تنش خشکی باعث افزایش دمای برگ می‌شود (ریت‌چی و همکاران، ۱۹۹۰).

یکی از عملیات عمده‌ای که آب در گیاهان انجام می‌دهد حمل مواد غذایی به داخل ریشه و درون گیاه و از ریشه به برگ و آوندها و سایر اندام‌ها است (اردکانی، ۱۳۸۷؛ رستگار، ۱۳۸۱).

برای تولید هر کیلو ماده خشک گیاهی به ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر آب نیاز است و بدون شک کمبود آب در خاک یکی از عوامل مهم محدودیت و پایین بودن عملکرد بسیاری از محصولات و زراعت‌ها است. این احتیاج گیاه به آب در گیاهان یک‌ساله و به‌ویژه آن‌هایی که ریشه سطحی دارند بیشتر محسوس است تا برای درختان و نباتاتی که دارای ریشه عمیق عمودی و طویل می‌باشند (رستگار، ۱۳۸۱). آب یکی از مواد مؤثر در فرآیندهای فتوسنتز است. لیکن فقط یک‌دهم درصد مجموع آب جذب شده توسط گیاه صرف فتوسنتز می‌گردد و ۹۹ درصد آب جذب‌شده به‌صورت تعرق دفع می‌شود و تقریباً ۱ درصد آب جذب شده صرف آبدهی و تورژسانس شده و امکان رشد گیاه را فراهم می‌سازد (خدابنده، ۱۳۷۷).

وجود آب در واکوئول سلول‌های گیاهی موجب به وجود آمدن فشار تورگر (فشار آماس) می‌گردد و سبب تورسانس سلول‌ها می‌شود. فشار تورگر خود موجب قرار گرفتن طبیعی اندام‌ها مثل برگ یا گل‌ها روی ساقه می‌گردد و یا در باز و بسته شدن روزنه‌ها مؤثر است (اردکانی، ۱۳۸۷).

به‌طورکلی بسیاری از فرآیندهایی که در گیاه صورت می‌پذیرد به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم به وجود آب بستگی دارد و کمبود آب بر تمام جنبه‌های رشد گیاه شامل جنبه‌های فیزیولوژیکی آناتومیکی ازجمله باز و بسته شدن روزنه‌ها تأثیر می‌گذارد. زیرا آماس سلول‌های محافظ روزنه بستگی به مقدار آب دارد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۷۹). این عکس‌العمل، اثر بسیار مهمی در تولید دارد، چون مقدار گازکربنیک

جذب‌شده از طریق برگ، فتوسنتز را مستقیماً کنترل می‌نماید و درنتیجه تولید ماده خشک و عملکرد دانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۸). از طرف دیگر عملکرد دانه نتیجه هم‌بستگی بین اجزای عملکرد است، کاهش در اجزای عملکرد موجب کاهش عملکرد دانه و به دنبال آن عملکرد در واحد سطح می‌گردد (هاشمی دزفولی و همکاران، ۱۳۷۵). کمبود آب مهم‌ترین علت کاهش عملکرد در واحد سطح در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (لیانگ، ۱۹۹۹).

۱-۳- تنش

رشد و عملکرد گیاهان زراعی تابعی از عوامل محیطی و اثرات متقابل آن‌هاست. مطالعات گسترده‌ای در مورد نقش عوامل محیطی مانند عوامل آب و هوایی (بارندگی، دما، رطوبت، نور و باد)، عوامل غیر اقلیمی (رطوبت خاک، مواد غذایی، گازها، آفات و بیماری‌ها و رقابت با علف‌های هرز)، عوامل مدیریتی زراعی و میزان نهاده‌های کشاورزی در کاهش یا افزایش رشد و نمو گیاه به انجام رسیده است (لویت، ۱۹۸۰). لویت (۱۹۸۰) تنش را نتیجه روند غیرعادی فرآیندهای فیزیولوژیکی دانست که از تأثیر یک یا ترکیبی از عوامل زیستی و محیطی به‌دست می‌آید. در حقیقت مقدار یا شدت نامناسب این عوامل است که می‌تواند برای موجود زنده مشکل‌ساز باشد و موجب تنش در گیاه یا اجزای آن و بروز آسیب‌های مستقیم و غیرمستقیم در گیاه یا اجزای آن شود. وی به عوامل محدود کننده فوق، اصطلاح تنش‌های محیطی اطلاق نمود و آنها را به دو دسته تنش‌های زیستی و غیرزیستی تقسیم نمود. به‌عنوان مثال کمبود آب با از بین رفتن آماس سلول‌ها، باعث مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، توقف رشد برگ، کاهش فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تغییر در متابولیسم، خشک شدن و مرگ گیاه می‌گردد (علیزاده، ۱۳۷۴).

بررسی‌های انجام‌شده نشان داده که ساخت مواد مؤثره گیاهان دارویی تحت تأثیر ژنوتیپ و عوامل محیطی است (فیلیپو و همکاران، ۲۰۰۲). کاهش رشد در گیاهان تحت شرایط تنش می‌تواند به جهت

کاهش ذخایر انرژی گیاه باشد که متأثر از کاهش و اختلال در فعالیت‌های زیستی و متابولیسمی گیاه است (کرپسی و گالیبا، ۲۰۰۰). گزارش‌های مختلفی نیز حکایت از کاهش رشد، کاهش تولید ماده خشک و همچنین کاهش عملکرد نهایی در اکثر گیاهان زراعی ازجمله گندم، جو، لوبیا و پنبه در اثر شوری است (پنوالز و همکاران، ۱۹۹۷).

به‌هرحال، تحقیقات نشان می‌دهد که گیاهان با اتخاذ تمهیداتی ازجمله افزایش ضخامت کوتیکولی (سیید، ۱۹۹۴)، کاهش سطوح برگ (جابری، ۱۹۹۹)، ریزش برگ و گوشتی شدن (کوچکی و همکاران، ۱۹۹۷)، بستن روزنه‌ها (قاسمی فیروزآبادی، ۱۹۹۵)، گسترش سیستم ریشه (زارع چاهوکی، ۲۰۰۰)، تنظیم فشار اسمزی (مؤدب شبستری و مجتهدی، ۱۹۹۰)، کاهش اندازه سلول (حکمت شعار، ۱۹۹۳)، و غیره، سعی در سازگاری با عوامل نامساعد محیطی دارند و طبیعتاً در این شرایط رشد ایده‌آل نخواهند داشت و عملکرد نیز پایین باقی خواهد ماند.

در این مرحله اگر رویارویی گیاه با تنش کوتاه مدت باشد و از حد (آستانه) تحمل گیاهی فراتر نرود، خسارت وارد شده به گیاه ممکن است قابل ترمیم و برگشت‌پذیر باشد و تنها موجب تغییرات موقت در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه شود. به‌عبارتی اگر در شرایط رویارویی گیاه با یک تنش ثابت، درجه‌ای از مقاومت در گیاه پدید آید یا موجود باشد، گیاه قادر است پایداری خود را دوباره باز یابد. ولی اگر گیاه در مدتی معین توسط یک تنش حاد یا مزمن تحت فشار قرار گیرد، سبب بروز آثار خستگی در آن شده و آسیب‌های غیرقابل برگشت در گیاه به وقوع می‌پیوندد. به همین دلیل رویارویی طولانی مدت با تنش موجب اختلالات دائمی در گیاه می‌شود (میر محمدی میبدی و قره‌یاضی، ۱۳۸۱).

۱-۴- خشکی

خشکی به‌عنوان کمبود رطوبت قابل استفاده خاک به اندازه‌ای که موجب کاهش رشد گیاه شود، تعریف می‌شود. البته این تعریف نشان‌دهنده وضع کیفی مقدار آب قابل استفاده در خاک است، ولی وضع آب داخل گیاه در نظر گرفته نشده است. بعضی مواقع شدت تعرق به‌علت رطوبت نسبی کم هوا، گرمای زیاد و سرعت متوسط باد، باوجود رطوبت قابل استفاده زیاد در محیط ریشه، بیشتر از سرعت جذب آب توسط ریشه‌ها است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۶).

در مورد خشکی تعاریف مختلفی ارائه شده است. از نقطه‌نظر زراعی، خشکی شرایطی است که آب ازنظر مقدار و توزیع به اندازه‌ای نیست تا گیاه بتواند عملکرد بالقوه خود را تولید کند (دال و دایلز، ۱۹۹۵). خشکی به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن سلول‌ها و بافت‌ها در وضعیتی قرار می‌گیرند که تورژسانس آن‌ها کامل نباشد (وهاب‌زاده و علیزاده، ۱۳۷۳). برزعلی و همکاران (۱۳۸۳) عنوان نمودند که خشکی کمبود آب در گیاه در نظر گرفته می‌شود و آن را به مفهوم عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب برای گیاه تلقی کردند. خشکی بسیاری از جنبه‌های متابولیسم و رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (دی و کار، ۱۹۹۴).

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعـی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود. کاهش میزان فتوسنتز بـه علت بسته شدن روزنه‌ها، کاهش رشد گیاه، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه و کاهش طـول دوره پر شدن دانه‌ها از مهم‌ترین اثـرات خشکی بر گیاهان است (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). تنش خشکی از طریق بسته شدن روزنه‌ها و نرسیدن دی‌اکسید کربن به کلروپلاست بر میزان فتوسنتز اثر می‌گذارد (هوپکینز و هونر، ۲۰۰۴). خشکی سبب شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود (کافی و همکاران،

۱۳۸۸). حتی کلروفیل سازی در تنش‌های شدید آب متوقف می‌شود (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۵). خسارت وارد شده به دستگاه فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت‌های فتوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین باشد (موناخووا و چرنیاد، ۲۰۰۲). از طـــرفی تنش خشـــکی عملکرد گیاهان را ۱- کاهش تشعشعات فعال فتوسنتزی توسط کانوپی ۲- کاهش کارایی مصرف نور ۳- کاهش شاخص برداشت کاهش می‌دهد (هاگ و ریچارد، ۲۰۰۳).

تنش خشکی موجب کاهش پتانسیل آب خـاک می‌شود و در چنـین شـرایطی گیاه به‌منظور حفظ و ادامه جذب آب می‌تواند به تنظیم اسمزی اقدام کند. تنظیم اسمزی یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل و سازگاری سلول در مواجهه با تـنش خشـکی اسـت و تحـت تأثیر اثرات افزایشی و غیر افزایشی ژن‌ها قرار دارد (بوزانووا و دی دچو، ۲۰۱۰؛ باجی، ۲۰۰۱). هنگامی‌که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می-گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و درنتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود. یکی از این آمینواسیدها پرولین است و غلظت آن در برگ، در هر زمان، به مدت‌زمان تنش، پتانسیل آب برگ و میزان انتقال آن به قسمت‌های دیگر گیاه وابسته است. پروتئین نقش مهمی در تنظیم اسمزی ایفا می‌کند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

شایان ذکر است اگرچه گیاهان اغلب در مناطق خشک جهان با تنش رطوبتی مواجه هستند، ولی در شرایط آب‌وهوای مرطوب نیز توزیع نامنظم بارندگی ممکن است منجر به محدود شدن آب قابل‌دسترس و درنتیجه کاهش رشد شود. همچنین تنش‌هایی مانند تنش شوری، سرمازدگی و انجماد، همراه با از دست رفتن آب بافت، منجر به تنش کم‌آبی در گیاهان می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۷۴).

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱-۱- تأثیر تنش کم‌آبی بر فرآیندهای رشد گیاهان

۲-۱-۱-۱- جوانه‌زنی

مرحله جوانه‌زنی بذر در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح مهم است و این تراکم مناسب زمانی به‌دست می‌آید که بذرهای کاشته شده دارای درصد و سرعت جوانه‌زنی مناسبی باشند (هوانگ و ردمن، ۱۹۹۵).

از نظر فیزیولوژیکی، جوانه‌زنی فرآیندی است که با جذب آب توسط بذر خشک شروع می‌شود و با ظهور ریشه اولیه از درون بذر خاتمه می‌یابد. جوانه‌زنی بذر یکی از مراحل حیاتی در چرخه رشدی گیاهان است، زیرا تعیین‌کننده استقرار مطلوب گیاه است و افزایش عملکرد آن را به دنبال دارد. در بسیاری از گیاهان زراعی مرحله‌ی جوانه‌زنی و رشد ابتدایی گیاه چه از حساس‌ترین مراحل نسبت به تنش‌های محیطی است (یاوری و مصباح، ۱۳۸۰).

برومند رضازاده و کوچکی (۱۳۸۴) در آزمایشی روی سه گیاه دارویی زنیان (*Carum copticum*، *heirn*) رازیانه (*Foeniculum vulgare*) و شوید (*Anethum graveolens*) و برزگر و رحمانی (۱۳۸۳) در تحقیق روی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) مشاهده کردند که با اعمال تنش خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی گیاهان مورد مطالعه کاهش یافت. حسینی و رضوانی مقدم (۱۳۸۵) در اسفرزه (*Plantago psyllium*) و امیری و همکاران (۱۳۹۰) در دو گیاه دارویی آرتی شو (*Cynara scoolymus*) و سرخارگل(*Echinacea purpurea*) گزارش کردند که با افزایش میزان تنش خشکی، درصد و سرعت جوانه‌زنی و نیز وزن خشک، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش می‌یابد.

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات سپانلو قاجار (۱۳۷۸) و رحیمیان مشهدی (۱۳۷۱) بیانگر این است که با افزایش پتانسیل اسمزی مؤلفه‌های جوانه‌زنی در گندم کاهش داشته‌اند. در مورد گیاهان زراعی افزایش

حتی چند درصد از میزان جوانه‌زنی در محیط‌هایی که از لحاظ آب محدودیت وجود دارد، بسیار مهم است.

آب یکی از عوامل اصلی فعال‌کننده جوانه‌زنی است و قابلیت دسترسی به آب با کاهش پتانسیل اسمزی و مکش (ماتریک) کاهش می‌یابد. برای هرگونه گیاهی میزان پتانسیل آب مشخصی وجود دارد که در زیر آن جوانه‌زنی نمی‌تواند صورت گیرد (دلاچی‌وا و دپین هو، ۲۰۰۳). استقرار ضعیف گیاه‌چه سبب کاهش قدرت رقابت محصول با علف‌های هرز، سایه‌اندازی کمتر بر سطح خاک و سپس از دست رفتن مقادیر بالاتری از آب خاک از طریق تبخیر می‌شود.

۲-۱-۱-۲- رشد گیاه و توسعه برگ

رشد سلولی در گیاه فعالیتی است که نسبت به کمبود آب حساس است. کاهش پتانسیل آب بافت-های مریستمی در طول روز غالباً موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلولی می‌گردد. این امر به نوبه خود موجب کاهش سنتز پروتئین یا سنتز دیواره سلولی و بزرگ شدن سلول می‌شود. مشاهده اینکه غالباً گونه‌ای گیاهی حداکثر رشد خود را در شب یعنی در زمانی که پتانسیل آب بالا است انجام می‌دهند، ممکن است توجیهی برای این امر باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۶؛ امام و نیک‌نژاد، ۱۳۷۳).

تنش کم‌آبی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش توسعه‌ی برگ‌ها به دلیل مصرف مواد فتوسنتزی در تنظیم وضعیت آب گیاه است (گوئی رای و همکاران، ۲۰۰۴) همچنین تنش شدید کمبود آب موجب افزایش دمای برگ و درنتیجه پژمردگی، پیچیدگی و پیری زودرس برگ‌ها می‌شود که این نیز کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی را در پی دارد و منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شود (لافیت، ۲۰۰۲). تنش خشکی شرایطی را به‌وجود می‌آورد که در آن سلول‌ها و بافت‌های گیاهی در وضعیتی قرار

می‌گیرند که تورژسانس آن‌ها کامل نیست (تبایی عقدایی، ۱۹۹۶). با افزایش تنش کمبود آب، اسمولیت‌ها با صرف انـرژی زیـاد در گیـاه تجمع می‌یابند در نتیجه انرژی که می‌توانست برای رشد و توسعه برگ ها استفاده گردد صرف کاهش پتانسیل اسمزی می‌شود و در نتیجه شـاخص سطح برگ کاهش می‌یابد (کوزکول‌اولا و فکت، ۱۹۹۲).

۲-۱-۱-۳- عملکرد

عملکرد محصول یک پاسخ تجمع یافته به محیط رشد از کاشت تا برداشت است. در این صورت تعیین اثر تنش روی محصول بستگی به اثر متقابل بین فاکتورهای مرتبط با تنش و فاکتورهای مرتبط با محصولات دارد (انگادی و همکاران، ۲۰۰۳). مندهام و سالیزبری (۱۹۹۵) گزارش کردند که آبیاری تکمیلی با طولانی کردن مرحله گلدهی در کلزا، موجب افزایش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین می‌گردد. به‌طوری‌که علت آن را در سطح برگ بالاتر در طول این مرحله از رشد دانستند. همچنین تنش در مراحل ابتدایی این دوره، موجب کاهش معنی‌دار در تعداد خورجین در بوته می‌گردد. درحالی‌که با اعمال تنش در اواخر این مرحله، کاهش در تعداد دانه در خورجین مشاهده شد.

انگادی و همکاران (۲۰۰۳)، گزارش نمودند کاهش عملکرد دانه کلزا در اثر تنش خشکی در مرحله‌ی رشد طولی ساقه و گلدهی عمدتاً مربوط به کاهش تعداد غلاف در بوته بود، ولی بروز تنش خشکی در مرحله‌ی پر شدن دانه کاهش عملکرد دانه عمدتاً از طریق کاهش وزن دانه صورت گرفت. سینکی و همکاران (۲۰۰۷) و گان و همکاران (۲۰۰۴) طی آزمایشی روی کلزا گزارش نمودند تنش خشکی در مرحله‌ی توسعه‌ی غلاف‌ها بیش‌ترین کاهش و خسارت را به مجموع غلاف وارد نمود. شاخص برداشت به‌طور معنی‌دار کاهش یافت که کاهش مذکور مربوط به تعداد کم غلاف بود.

کریم زاده اصل و همکاران (۲۰۰۳) در آزمایش‌هایی اثر تنش کم‌آبی را بر صفاتی مانند قطر طبق، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد دانه آفتابگردان ارزیابی و اظهار داشتند که تنش اثر معنی‌داری بر صفات مذکور داشته و سبب کاهش آن‌ها شده است. به موازات افزایش تنش خشکی، شاخص سطح برگ آفتابگردان کاهش می‌یابد (خلیل‌وند، ۲۰۰۹). فرحوش و همکاران (۲۰۱۱) طی آزمایشی دریافتند که تنش کم‌آبی عملکـرد دانه آفتابگردان را کاهش داد.

۲-۱-۲- تأثیر تنش بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه

تنش کمبود آب اثرات فیزیولوژیک مختلفی بر گیاه می‌گذارد که نوع و میزان خسارت به شدت تنش و مقاومت گیاه بستگی دارد (خزایی و کافی، ۱۳۸۲). با توجه به تغییر الگوهای بروز خشکی در طی دوره رشد گیاه، عملکرد بالا و ثبات عملکرد تحت شرایط کمبود آب خاک بهترین روش گزینش ارقام متحمل به خشکی است (سیدی‌کو و همکاران، ۲۰۰۰). عکس‌العمل گیاه در برابر تنش آب با فعالیت متابولیکی، مورفولوژیکی، مرحله رشد و عملکرد پتانسیل گیاه در ارتباط است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۶).

رشد سلول‌ها یکی از فرآیندهای حساس فیزیولوژیکی وابسته به کاهش فشار تورژسانس است. رشد گیاه بر اثر تولید سلول‌های دختری در تقسیم سلول‌های مریستمی و افزایش ابعاد سلول‌های جوان ایجاد می‌شود. در شرایط کمبود آب، از طویل‌شدن سلول‌های بیشتر گیاهان با قطع جریان آب از آوند چوب به سلول‌های در حال طویل‌شدن جلوگیری می‌شود. در نتیجه خشکی سبب کاهش رشد و عملکرد می‌شود. با افزایش تنش خشکی، قطر ساقه و ارتفاع گیاه کاهش پیدا می‌کند و این کاهش به طویل نشدن سلول‌ها بر اثر تنش خشکی نسبت داده می‌شود. همچنین با کاهش پتانسیل آب تعداد و اندازهٔ برگ کاهش پیدا می‌کند. کاهش ایجاد شده در سطح برگ توسط تنش خشکی به جلوگیری از افزایش رشد برگ توسط کاهش فتوسنتز نسبت داده می‌شود. اثر رایج تنش خشکی روی گیاهان، کاهش در وزن خشک و تر گیاه

است (آنجوم، ۲۰۱۱) و این اثر را می‌توان این‌گونه بیان داشت که به‌طور کلی، کمبود آب در هر مرحله از رشد گیاه جذب، انتقال و مصرف عناصر غذایی را کاهش می‌دهد. کاهش رشد بر اثر تنش خشکی تا حدودی به اثرات تغذیه‌ای نیز مربوط می‌شود (نارایانان، ۱۹۹۲).

۲-۱-۲-۱- تأثیر تنش خشکی بر مقدار آب نسبی برگ

محتوای نسبی آب برگ رابطه‌ی نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد (اونیل و همکاران، ۲۰۰۶ و اوبر وهمکاران ۲۰۰۵). محتوای نسبی آب برگ یکی از ویژگی‌های مؤثر در تداوم رشد گیاهان تحت شرایط خشکی بـوده و مقدار بالاتر آن می‌تواند عامل استمرار رشد در شرایط خشکی باشد (کومار و سینک، ۱۹۹۸). چنان چـه محتوای نسبی آب برگ بالا باشد گیاه تورم سلولی خود را حفظ کرده و رشد آن تداوم می‌یابد (رائو و مندهام، ۱۹۹۱). با توجه به وجود همبستگی بالا بین توان جذب آب و محتوای نـسبی آب برگ در کلزا، به دنبال بروز خشکی و کاهش توان جذب آب، محتوای نـسبی آب برگ کاهش می‌یابد (پاسبان‌اسلام و همکاران، ۲۰۰۰). محتوای نسبی آب برگ شاخص مناسبی برای بیان وضـعیت آب در گیاهان است و وضعیت فراگیرتری از تعادل بین میزان عرضه آب نسبی برگ و میزان تعرق را نشان می-دهد (کومار و السترن، ۱۹۹۲؛ ریچتی و همکاران، ۱۹۹۰؛ یاسن و ماماری، ۱۹۹۵).

کاهش محتوای آب نسبی و بسته شدن روزنه‌ها اولین تأثیر تنش خشکی است که از طریق اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود (آنونیموس، ۱۹۹۳).

کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط خشکی موجب محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی می‌گردد (جهان‌بین و همکاران، ۱۳۸۲). محققین زیادی با بررسی گیاهان مختلف اظهار داشتند که محتوای نسبی آب برگ‌ها به این دلیل که با حجم سلول مرتبط است، می‌تواند به‌عنوان شاخص سنجش میزان تنش مورد استفاده قرار گیرد و معیار بهتری برای بیان وضعیت آب گیاه

در مقایسه با پتانسیل آب باشد (گود و استیون،۱۹۹۴ و خزاعی، ۱۳۸۱). از طرف دیگر تنش خشکی معمولاً با کاهش سطح برگ همراه است، شروع تشکیل برگ در مریستم‌ها و توسعه بعدی سطح برگ در پتانسیل پایین آب برگ کاهش می‌یابد و حتی ممکن است متوقف شود. شواهد موجود حاکی از کاهش تقسیم سلولی نیز می‌باشد ولی به‌طورکلی به نظر می‌رسد که نمو سلول نسبت به کاهش پتانسیل آب حساس‌تر از تقسیم سلولی است (کریدمن، ۱۹۸۶). کمبود آب علاوه بر تأثیر بر توسعه برگ، می‌تواند از طریق ریزش برگ‌ها در طول مراحل رشد، بر سطح برگ مؤثر باشد.

سانچز رودریگوز و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشته‌اند که محتوای نسبی آب برگ ممکن است تعادل بین آب تأمین شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزاء روابط آبی منعکس کند، لذا آن را شاخص مناسبی بـرای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانسته‌اند. کاستریلو و تروجیلو (۱۹۹۴) نیز همبستگی مثبتی بین محتوای نسبی آب بـرگ و غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت رابیسکو مشاهده کردند. با توجه به نقش پـروتئین و کلروفیل در حفظ فتوسنتز و مقاومت به خشکی، می‌توان از محتوای نسـبی آب برگ به عنوان یک شاخص در جهت مقاومت به خشکی استفاده کرد.

۲-۱-۲-۲- تأثیر تنش خشکی بر پایداری غشای پلاسمایی

یکی از دلایلی که تنش‌های محیطی مثل خشکی، رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهند، اختلال در تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی می‌شود (فو و هوآنگ،۲۰۰۱). در اثر آسیب‌پذیری غشاء سیتوپلاسمی محتویات سلول به بیرون تراوش می‌کند که مقدار این خسارت را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار نشت یونی تعیین نمود (شیر مرد کمنشاهی، ۲۰۰۳).

تنش خشکی می‌تواند موجب تخریب غشاء پلاسمایی و تونوپلاست گردد. که نتیجه آن آزاد شدن آنزیم‌های هضم می‌باشد و سرانجام این آنزیم‌ها موجب تخریب سیتوپلاسم می‌شوند (لیو و زو، ۱۹۹۸). پدیده انباشته شدن یون‌ها نیز که از کمبود آب ناشی می‌شود، می‌تواند به سلول آسیب رساند و غشاها را پاره نموده و سبب تغییر در ماهیت پروتئین‌ها گردد. دیگر آسیب‌های متابولیکی ناشی از تنش خشکی، از هم پاشیدگی اسیدهای نوکلئیک مانند DNA و RNA می‌باشد.

تحت تنش خشکی و گرما، غشاء سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌یابد، لذا پایداری غشاء به وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود (سانچز رودریگوز و همکاران، ۲۰۱۰). از این رو میزان هدایت الکتریکی در محیط آبی خسارت تنش خشکی و یا تنش گرمایی را به غشاء سلولی نشان می‌دهد و میزان پایداری غشاء سلولی به خوبی با تحمل سایر فرآیندهای گیاهی به تنش از جمله فتوسنتز مرتبط است و به‌عنوان شاخصی از تحمل به تنش ارائه شده است (سانچز رودریگوز و همکاران، ۲۰۱۰). به نظر می‌رسد که پایداری غشاء سلولی در تنش‌ها با سنتز پروتئین‌های شوک گرمایی و ویژگی‌های سیستم فتوسنتزی، از جمله آنزیم‌های کلیدی و غشاهای تیلاکوئیدی مرتبط است و غشاء سلولی که پایداری خود را در طی تنش حفظ می‌کند، نقش محوری در تحمل به خشکی و گرما دارد (بولی، ۱۹۷۹).

۲-۱-۲-۳- تأثیر تنش خشکی بر میزان قندهای محلول

از دیگر موادی که در شرایط تنش در گیاه تجمع می‌یابد، قندهای محلول هستند که تحت تنش کمبود آب، می‌توانند به دو روش: به‌عنوان عوامل اسمزی، و یا به‌عنوان حفاظت کننده‌های اسمزی (اینگرام و بارتلز، ۱۹۹۶ و بوهنرت و همکاران، ۱۹۹۹) عمل کنند.

به‌عنوان عامل اسمزی، به‌طور معنی‌داری با تنظیم اسمزی و حفـظ آماس همبستگی دارد، و به‌عنوان حفاظت کننده اسمزی، موجب پایداری پروتئین‌ها و غشاها می‌شود (سانچز و همکاران، ۱۹۹۸). قندهای محلول و پرولین می‌توانند در تنظیم اسمزی به‌عنوان مواد محلول سازگار استفاده شوند (اینگرام و بارتلز ۱۹۹۶).

۲-۱-۲-۴- تأثیر تنش خشکی بر مقدار پروتئین دانه

تنوع پروتئینی بخش اساسی از پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی و نیز سازگاری با شرایط محیطی است (ویرسترا، ۱۹۹۳؛ هینگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ باکالووا و همکاران، ۲۰۰۸ و کوک و همکاران ۲۰۱۰). بیان شده است که تنش کم‌آبی سطوح پروتئینی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد البته نتایج ضد و نقیضی در این مورد ارائه شده است به‌طوری که برخی کاهش و گروهی افزایش در سطوح پروتئینی را تحت تنش آبی گزارش کرده‌اند (پیر ساوور، ۱۹۹۰ و تود و باسلر، ۱۹۹۰ و روی ماکااولی و همکاران، ۱۹۹۲ و کلوز، ۱۹۹۶-۱۹۹۷ و اس‌ون‌سون و همکاران، ۲۰۰۲ و مرین و همکاران، ۲۰۰۳). تنش خشکی بر پروتئین ذخیره دانه گیاه نخودفرنگی اثر معنی‌دار داشته است و با افزایش شدت خشکی، پروتئین محصول کاهش یافته است (منصوری‌فر و همکاران، ۲۰۱۱). بررسی تأثیر کمبود آب بر ذخیره پروتئینی دانه در سه رقم گندم، افزایش تراکم پروتئین در آندوسپرم را نشان داد (کونوپکا و همکاران، ۲۰۰۷).

گزارش شده است که شرایط نامطلوب نظیر کاشت دیرهنگام، کمبود آب و مواد معدنی (به‌جز نیتروژن) مقدار روغن را کاهش و پروتئین را افزایش می‌دهد (اسپرنت، ۱۹۹۲). تاکاهاشا (۱۹۹۲) نیز بیان کرده است که از عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت دانه سویا نیز مقدار رطوبت در دسترس گیاه است.

۲- ۱- ۲- ۵- تأثیر تنش خشکی بر فتوسنتز

فتوسنتز یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است، که شدت آن در اثر کمبود آب کاهش می-یابد (گوسگنووا و همکاران، ۲۰۰۶). دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. به دنبال تولید و انباشت گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید می‌گردند (سایرام و همکاران، ۱۹۹۸). نتایج تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی ملایم بر مقدار کلروفیل در دو گیاه سردسیری *Festuca* و *Poa pratensis* اثری نداشته است ولی خشکی شدید مقدار کلروفیل را در این دو گیاه کاهش داد (هانی، ۲۰۰۱). همین طور مقدار کلروفیل در گیاه توتون همراه با کاهش پتانسیل آب خاک تحت تنش کاهش یافت (پاستوری و تری پی، ۱۹۹۳).

همان‌گونه که اشاره شد، نتایج بررسی‌ها گویای آن است که کمبود آب به دلیل کاهش دادن محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (بورس، ۱۹۹۱)، کاهش در فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی، به‌ویژه آنزیم روبیسکو (فوندینا و همکاران، ۱۹۹۳) و از بین رفتن کلروفیل موجب کاهش تولید شیره پرورده می‌گردد (هاشم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۰). کاهش فتوسنتز و رشد نتیجـه خود را به‌صورت کاهش عملکرد نمایان می‌سازد (کرونیک و ماساسی، ۱۹۹۶). **از**غلظت کلروفیل برگ به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع یاد می‌شود (هرزوگ، ۱۹۸۷). بنابراین کاهش مقدار آن در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای در کاهش کارآیی سطح برگ محسوب گردد (اسچولز، ۱۹۸۶).

به‌طورکلی عوامل محدودکننده فتوسنتز شامل دو نوع روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای می‌باشند. در زمانی کـه عامل محدودکننده روزنه‌ای باشد با کاهش آب در سلول‌های برگ، روزنه‌ها بسته می‌شوند. در این حالت به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای، انتشار دی‌اکسید کربن به فضای بین سلولی کاهش یافته و فعالیت

فتوسنتزی کم و یا متوقف می‌شود. در مواقعی که عامل محدود کننده غیرروزنه‌ای باشد، به دلیل اختلال در واکنش‌هـــای بیوشیمیایی گیاه، غلظـت دی‌اکسید کربن اتاقک زیـر روزنه افـزایش می‌یابد (مک‌کری و همکاران، ۱۹۸۷). یاردانو و همکاران (۲۰۰۳) اظهار نمودند که کاهش در میزان فتوسنتز به دلیل تنش خشکی بیشتر ناشی از کاهش سرعت هدایت روزنه‌ای است. از طرف دیگر کاهش مقدار تولید و ایجاد وقفه در فرآیند چرخه تثبیت کربن به ایجاد محدودیت متابولیک و در ادامه به کاهش فتوسنتز منجر می‌شود (لاولور و جی کورنیک، ۲۰۰۲). به‌علاوه تنش خشکی می‌تواند سبب ایجاد تنش اکسیداتیو شود (چاوز و الیویرا، ۲۰۰۴) که این فرآیند می‌تواند نقش ویژه‌ای در تخریب سامانه فتوسنتزی، تخریب غشای سلولی و کلروپلاستی (اسمیرنوف، ۱۱۹۳)، کاهش مقدار رنگ‌دانه‌های a و b (ایترب ارماتکس و همکاران، ۱۹۹۸) و متعاقب آن کاهش توانایی فتوسنتز داشته باشد (اورت، ۲۰۰۱).

تنش موجب می‌شود که تعادل بین تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)[۱] و دفاع ضداکسنده در بخش‌های مختلف گیاه از بین برود (بای و سوی، ۲۰۰۶). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که منجر به تولید فرآورده‌های زیان‌آوری می‌شود که سبب به هم خوردن تعادل تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن شامل سوپراکسید، پراکسیدهیدروژن، رادیکال هیدروکسیل، رادیکال الکاکسیل، رادیکال پروکسیل و غیره می‌شود (آرورا و همکاران، ۲۰۰۲). ROS به‌طور بالقوه دارای پتانسیلی است، که با بسیاری از ترکیب‌های سلولی واکنش داده و سبب خسارت به غشاء و سایر ماکرومولکول‌های ضروری از قبیل رنگ دانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود (بلوخینا و همکاران؛ ۲۰۰۲).

[۱] - Reactive oxygen specie

آنتولین و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند با افزایش تنش خشکی، میزان کلروفیل برگ کاهش ولی نسبت کلروفیل a به کلروفیل b افزایش می‌یابد، زیرا تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از کلروفیل a کاهش می‌دهد و افزایش این نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر خواهد شد.

۲-۲- مواد تنظیم‌کننده اسمزی

در طی بروز تنش خشکی گیاهان با ذخیره تنظیم کننده‌های اسمزی همانند اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها سعی در مقابله با تنش دارند. در بین ترکیبات آلی، پرولین یکی از مهمترین تنظیم کننده‌های اسمزی به‌شمار می‌رود (ردی و همکاران، ۲۰۰۴).

تنظیم اسمزی یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های تحمل بـه خشکی درگیاهان است (باجی و همکاران، ۲۰۰۱) که به واسطه کاهش پتاسیل اسمزی از طریق تجمع املاح در سلول‌های گیاه حاصل می‌شود و با حفظ فشارآماس سلول‌ها به توسعه سلولی و رشد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند (راسکیو و همکاران، ۱۹۹۴) تنش خشکی منجر به کاهش محتوای نسبی آب (RWC)[1]، پتانسیل آب کـل و کاهش رشد گیاهان می‌شود (باجی و همکاران، ۲۰۰۱)، اما وجود سازوکار تنظیم اسمزی در گیاهان متحمل به خـشکی موجب حفظ و بالا نگه داشتن RWC درگیاه می‌گردد (تیولات و همکاران، ۱۹۹۷).

در آزمایشی اثرات تنش خشکی بر رشد و میزان محتوای نسبی آب یونجه بررسی و نتایج به‌دست آمده نشان داد که RWC، و پتانسیل آب برگ‌ها بـه طور معنی‌داری پس از یک دوره ۵ -۳ روزه خشکی کاهش یافتند (اسچابرت و همکاران ۱۹۹۵). خان و همکاران (۱۹۹۸) اعلام کردند که یونجه در شرایط تنش خشکی به منظور حفظ وضعیت آبی خود با انباشت متابولیت‌ها و برخی از یون‌ها اقدام بـه تنظیم اسمزی می‌کند. تجمع پرولین, قندهای محلول و سایر متابولیت‌ها به منظور تنظیم اسمزی در گیاهان مختلف گزارش شده است (بیتمن و سیمپسون ۱۹۸۹).

[1] -Relative water content

مشخص شده است که کاهش تورژسانس عامل اولیه تجمع پرولین در تنش‌های شوری و خشکی است. کاهش تورژسانس باعث فعال شدن یک توالی پیچیده از فرآیندهای تطابقی مرتبط با سطح تحمل گیـاه بـه تنش می‌شود (سی و سه مرده و پوست ابراه زاده، ۱۳۸۳). پرولین علاوه بر شرکت در تنظیم اسمزی، نقش‌های مهمی مانند حفاظت از سیستم‌های غشایی سلول (تسوگان و همکاران، ۱۹۹۹)، سمیت زدایی (پوریتچ و بیکر ، ۱۹۶۷) و تنظیم اسیدیته سیتوزول را نیز برعهده دارد (هار و همکاران، ۱۹۹۸). در دوره تنش، گیاه به‌منظور گریز از پلاسمولیز و ادامه تورژسانس در سلول‌های خود، مولکول‌های درشت نظیر نشاسته را به ساکارز و سپس مولکول‌های کوچکتری مانند گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌کند کـه ایـن موضوع موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (ایری‌گوین و همکاران، ۱۹۹۲). علاوه بر آن، کاهش مصرف قند نیز می‌تواند عامل دیگری برای افزایش غلظت قندهای محلول در سلول باشد (ایری‌گوین و همکاران،۱۹۹۲). افزایش غلظت یون‌ها نیز عموماً پدیده‌ای است که در شرایط تنش خشکی اتفاق می‌افتد. گزارش‌ها حاکی از آن است که پتاسیم نقش اساسی در تنظیم اسمزی گیاهان دارد (کاملی و لوسل، ۱۹۹۵) و ممکن است تغییرات آن با تغییرات قندها و سایر اسیدهای آمینه نیـــز همراه باشد (جونز و همکاران، ۱۹۸۰). بررسی‌های سال‌های اخیر نشان داده است که یون کلسیم نیـز درکنترل بازده مصرف آب از طریق بستن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی نقش داشته است (آتکینسون، ۱۹۹۱). بلوم و همکاران(۱۹۸۱) اظهار داشتند ژنوتیپ‌هایی که بدون بستن روزنه‌های خود توانایی حفظ آب بیشتری دارند، برای مناطق خشک مناسب‌ترند.

باجی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها در اثر تنش خشکی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسید آمینه آزاد از جمله پرولین، کاهش می‌یابد.

۲-۳- نقش کربوهیدرات‌ها در فرآیند تنظیم اسمزی

گیاهان معمولاً از دو راهبرد عمده اجتناب و تحمل تنش برای مقابله با تنش خشکی استفاده می-نمایند (آسپینال و پالگ، ۱۹۸۱). تنظیم اسمزی به‌عنوان جزئی مهم از راهبرد تحمل به تنش خشکی، عبارت است از کاهش در پتانسیل شیره سلولی به علت افزایش در غلظت مواد محلول است (زانگ و همکاران، ۱۹۹۹).

واکنش گیاهان به تنش خشکی به ماهیت کمبود آب وابسته است و می‌تواند به‌صورت پاسخ‌های کوتاه مدت فیزیولوژیکی به تنش خشکی، تطابق غیرقابل توارث با سطح مشخصی از تنش خشکی (پاسخ میان‌مدت) و تطابق قابل توارث با خشکی (پاسخ بلندمدت) طبقه‌بندی شود. پاسخ کوتاه‌مدت به تنش آب با کاهش حداکثر جذب CO_2 همراه است. ازجمله واکنش‌های میان‌مدت به خشکی تنظیم اسمزی به‌وسیله تجمع نمک‌های آلی و پاسخ بلندمدت به خشکی شامل الگوهای ژنتیکی تسهیم زیست‌توده است (پسرکلی، ۱۹۹۹).

در شرایط تنش گیاه به‌منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی ازجمله کربوهیدرات‌های محلول و پرولین، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و به‌عبارت‌دیگر تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد (نایار، ۲۰۰۳). تنظیم اسمزی، تجمع فعال مواد محلول توسط گیاه در واکنش به افزایش کمبود آب خاک است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که همبستگی معنی‌داری بین توانایی تنظیم اسمزی یک گیاه و رشد آن در شرایط تنش خشکی وجود دارد (والنتوفیک و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول از جمله واکنش‌هایی است که گیاهان مختلف از جمله گندم در مواجهه با تنش خشکی از خود بروز می‌دهند (بوهنرت و همکاران، ۱۹۹۵). تنش خشکی سبب تجزیه و کاهش نشاسته در اثر افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز شده و در مقابل موجب افزایش غلظت قندهای محلول می‌گردد (آندرسون

و کوهورن، ۲۰۰۱). ژنوتیپ‌های با غلظت قند محلول بالا در شرایط تنش خشکی، به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی مطرح هستند (فرشیدفر و همکاران، ۲۰۰۸). تجمع قندهای محلول درون سلول در تنظیم اسمزی نقش مهمی ایفا کرده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش یابد و آب بیشتری برای حفظ فشار تورژسانس در تنش کم‌آبی در داخل سلول باقی بماند (ساتو و همکاران، ۲۰۰۴).

پسرکلی (۱۹۹۹) بیان کرد که تجمع کربوهیدرات‌های محلول مانند گلوکز، فروکتوز، ساکارز و اسیدهای آمینه با پایداری غشاهای زیستی، پروتئین‌ها و مقاومت به خشکی و شوری در گیاهان همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. نکته مهم این است که اثر مواد حل‌شده روی کاهش پتانسیل اسمزی به تعداد ذرات حل‌شده بستگی دارد و ارتباطی با جرم و خصوصیات شیمیایی آن‌ها ندارد. بنابراین تأثیر واحدهای کوچک مثل گلوکز و ساکارز بر تنظیم اسمزی بسیار بیشتر از پلی‌ساکاریدها است (سلطانی، ۱۳۸۶).

از انجایی که در گیاهان پتانسیل اسمزی بستگی به تعداد مولکول‌های ماده محلول نیز دارد، تنظیم اسمزی از مسیر تبدیل پلی‌ساکاریدهای نامحلول مانند نشاسته و فروکتان به قندهای محلول مانند اولیگوساکاریدها، ساکارز و گلوکز انجام می‌شود (هندری، ۱۹۹۳).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود در حاشیه شهر بسطام اجرا شد. مزرعه یادشده در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۰ دقیقه و ۸۴ ثانیه با ارتفاع ۱۴۰۲ متر از سطح دریا است. شهر بسطام آب و هوایی مطبوع در تابستان و سرد در زمستان با میانگین بارندگی ۱۶۰ تا ۱۷۵ میلی‌متر دارد که بارندگی‌ها بیشتر در فصل زمستان و اوایل بهار به وقوع می‌پیوندد، حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۲۰- و ۴۰ درجه سانتی‌گراد است.

نتیجه حاصله از آزمایش خاک مزرعه موردنظر که مربوط به نمونه‌های اخذ شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح زمین بود، در جدول ۳-۱ آورده شده است.

۳-۲- مشخصات تیمارها و طرح آزمایشی

تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری هر ۸ روز یک‌بار (تیمار عدم‌تنش) و هر ۱۶ روز یک‌بار (تیمار تنش) به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی ساکارز در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر) و محلول‌پاشی گلوکز در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر) به‌عنوان فاکتورهای فرعی بودند که در سه تکرار در قالب آزمایش اسپلیت پلات فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی سازمان‌دهی شدند. در مجموع آزمایش دارای ۵۴ کرت بود که در هر کرت ۴ ردیف کاشت روی دو پشته به طول ۵ متر (با رعایت فاصله روی ردیف ۱۰ و بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر) قرار داشت. نقشه کاشت در شکل ۳-۱ آورده شده است.

جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

پارامترهای اندازه‌گیری شده	مقدار	واحد
درصد اشباع	۳۳/۲	درصد
هدایت الکتریکی	۱/۲	دسی زیمنس برمتر
اسیدیته گل اشباع	۷	-
درصد مواد خنثی شونده	۲۵/۵	درصد
کربن آلی	۰/۵۹	درصد
نیتروژن کل	۰/۱۰۵	درصد
فسفر قابل جذب	۴۴/۵	پی پی ام
پتاسیم قابل جذب	۲۲۱/۰	پی پی ام
رس	۳۴	درصد
لای	۵۰/۰	درصد
شن	۱۶/۰	درصد
درصد رطوبت	۲/۳	درصد
نسبت جذب سدیم	۱/۸	-
مجموع کاتیون ها	۷۴/۰	میلی اکی والان درلیتر
Na^{+}	۱۰/۰	میلی اکی والان درلیتر
Mg^{2+}	۱۲/۰	میلی اکی والان درلیتر
Ca^{2+}	۵۲/۰	میلی اکی والان درلیتر
مجموع آنیون ها	۷۳/۲	میلی اکی والان درلیتر
SO_4^{2-}	۳۸/۰	میلی اکی والان درلیتر
Cl^{-}	۳۰/۰	میلی اکی والان درلیتر
HCO_3^{-}	۵/۲	میلی اکی والان درلیتر
CO_3^{2-}	۰	میلی اکی والان درلیتر

۳-۳ - عملیات اجرایی

۳-۳-۱- کاشت

زمین انتخاب شده برای آزمایش در سال قبل به‌صورت آیش بود. بذر سیاه‌دانه مورد استفاده نیز از توده‌های محلی منطقه فرومد بود.

عملیات کاشت در تاریخ ۱۷ خرداد ماه ۱۳۹۲ با دست، در دو طرف پشته و در عمق بذر ۲ سانتی‌متر انجام شد. در هر کرت آزمایشی ۴ پشته به طول ۵ متر قرار داشت. فاصله بین پشته‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. دو خط کناری به‌عنوان حاشیه و دو خط وسط جهت تعیین پارامترهای آزمایش در نظر گرفته شد.

تکرار اول																	
D۱									D۲								
S۱	S۱	S۱	S۳	S۲	S۳	S۳	S۲	S۲	S۳	S۱	S۱	S۳	S۲	S۲	S۳	S۲	S۱
G۲	G۳	G۱	G۲	G۱	G۱	G۳	G۳	G۲	G۳	G۱	G۲	G۲	G۲	G۳	G۱	G۱	G۳

تکرار دوم																	
D۲									D۱								
S۳	S۳	S۱	S۲	S۳	S۱	S۱	S۲	S۲	S۲	S۱	S۱	S۲	S۳	S۲	S۱	S۳	S۳
G۱	G۳	G۲	G۳	G۲	G۱	G۳	G۲	G۱	G۲	G۳	G۱	G۳	G۳	G۱	G۲	G۱	G۲

تکرار سوم																	
D۱									D۲								
S۳	S۲	S۲	S۱	S۱	S۲	S۳	S۱	S۳	S۲	S۲	S۲	S۳	S۱	S۱	S۳	S۳	S۱
G۲	G۱	G۲	G۳	G۱	G۲	G۱	G۲	G۳	G۳	G۲	G۱	G۱	G۳	G۱	G۳	G۲	G۲

شکل ۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورداستفاده. فواصل آبیاری (D_1 و D_2 بترتیب فواصل ۱۶و ۸ روز)؛ محلول‌پاشی ساکارز (S_1، S_2، S_3 به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر) و محلول پاشی گلوکز (G_1، G_2 و G_3 به‌ترتیب غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر)

۳-۳-۲- داشت و برداشت

آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای بود و اولین آبیاری در تاریخ ۹۲/۳/۱۹ انجام شد. مقادیر آب مصرفی تا استقرار کامل گیاه برای تمام تیمارها یکسان بود. با توجه به آلودگی شدید اراضی به علف هرز طی دوران داشت، چهار بار وجین کامل علف‌های هرز توسط دست انجام شد. برداشت در ۷۹ روز پس از کاشت در تاریخ ۵/۱۶ انجام شد.

۳-۳-۳- اعمال تیمارها

پس از استقرار کامل بوته‌ها (۶ برگی) در تاریخ ۲ تیر (۱۵ روز پس از کاشت) اقدام به اعمال تیمارهای تنش کم‌آبیاری گردید. برای اعمال تیمارهای عدم تنش، و تنش کم‌آبیاری به‌ترتیب دور آبیاری ۸ و ۱۶ روز در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی ساکارز و گلوکز در یک مرحله محلول‌پاشی یک هفته پس از اعمال تنش هنگام عصر و در هوای ملایم انجام شد به‌طوری‌که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شوند.

۳-۳-۴- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری جهت تعیین پارامترهای در نظر گرفته‌شده در دو مرحله به ترتیب یک و دو هفته پس از محلول‌پاشی انجام شد. نمونه‌ها پس از برداشت از مزرعه داخل زیپ‌کیپ قرار گرفتند و در صورت لزوم روی یخ جهت اندازه‌گیری صفات به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

۳-۴- صفات زراعی و مورفولوژیک

۳-۴-۱- ارتفاع بوته

به هنگام برداشت، تعداد ۵ بوته از هر کرت پس از در نظر گرفتن حاشیه انتخاب شد. ارتفاع بوته به‌وسیله متر و برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها ثبت گردید.

۳-۴-۲- وزن خشک اندام هوایی (ساقه، برگ و غلاف)

تجمع ماده خشک در اندام هوایی گیاه در ۵ بوته به‌عنوان نمونه از هر کرت اندازه‌گیری شد. برای این منظور نمونه‌های منتقل‌شده به آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند. سپس به مدت ۲۰ الی ۲۵ دقیقه در هوای آزمایشگاه نگهداری شدند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و درنهایت با ترازوی حساس به‌دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند.

۳-۴-۳- عملکرد و اجزای عملکرد

از هر کرت آزمایشی تعداد ۵ بوته با در نظر گرفتن حاشیه و به‌منظور تعیین عملکرد نهایی برداشت گردید. مساحت اشغال‌شده توسط این ۵ بوته محاسبه و عملکرد نهایی برحسب مترمربع برآورد گردید. اجزای عملکرد در یک گیاه زراعی مؤلفه‌های میزان تولید نهایی گیاه می‌باشند و در هر گیاه زراعی دارای اجزای خاص خود است. اجزاء عملکرد در گیاه سیاه‌دانه شامل تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه می‌باشند که در ۵ بوته برداشت شده اندازه‌گیری شدند.

۳-۵- صفات فیزیولوژیک

۳-۵-۱- محتوای آب نسبی برگ

به‌منظور تعیین مقدار نسبی آب برگ از هر کرت ۳ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و چند برگ جوان و کاملاً رشد یافته قطع گردید و با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند (وزن‌تر) و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (کرامر، ۱۹۸۳). برگ‌ها از آب مقطر خارج شدند و بعد از اینکه آب روی آن‌ها با کاغذ صافی خشک شد دوباره وزن شدند (وزن اشباع). پس از آن به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن شدند

(وزن خشک). محاسبه مقدار نسبی آب با استفاده از رابطه ۳-۱ صورت گرفت (شونفلد و همکاران، ۱۹۸۸).

رابطه (۳-۱) مقدار آب نسبی = {(وزن خشک - وزن اشباع) / (وزن خشک - وزن‌تر)} × ۱۰۰

۳-۵-۲- پایداری غشای پلاسمایی

برای اندازه‌گیری پایداری غشای پلاسمایی ۰/۱ گرم نمونه از بافت برگ به‌صورت قطعات ریز و یکسان جدا شد. سپس در لوله‌های فالکون ۱۵ میلی‌لیتری حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (C_2) و ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (C_1) قرار گرفتند. EC آن‌ها پس از خنک شدن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. میزان پایداری غشاء پلاسمایی از رابطه ۳-۲ محاسبه گردید (سایرام و سریواساوا، ۲۰۰۱).

رابطه (۳-۲) شاخص پایداری غشاء = $(1 - c_1/c_2) \times 100$

۳-۵-۳- کلروفیل و کاروتنوئید

برای اندازه‌گیری کلروفیل a و b در برگ، از برگ‌های هم‌سن به روش بدون لهیدگی استفاده شد. برای این منظور ۰/۵ گرم برگ در ۵ میلی‌لیتر از دی متیل سولفوکسید، در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت ۴ ساعت قرار داده شدند. پس از گذشت این زمان و سرد شدن نمونه‌ها، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Jenway 6305 میزان جذب نمونه‌های حاوی کلرفیل در طول‌موج‌های ۶۶۵، ۶۴۵ و ۴۷۱ نانومتر خوانده شد. سپس با استفاده از روابط موجود میزان کلروفیل a ، b و کاروتنوئید محاسبه گردید (پروچازکا و همکاران، ۱۹۹۸).

رابطه (۳-۳) $Chl\ a= (12.19\ A665) – (3.45\ A645)$

رابطه (۳-۴) $Chl\ b= (21.99\ A645) – (5.32\ A665)$

رابطه (۳-۵) $Chl\ t= Chl\ a + Chl\ b$

رابطه (۳-۶) $Carotenoeid= ((1000\ A470) – (2.14\ Chl\ a) – (70.16\ Chl\ b)) / 220$

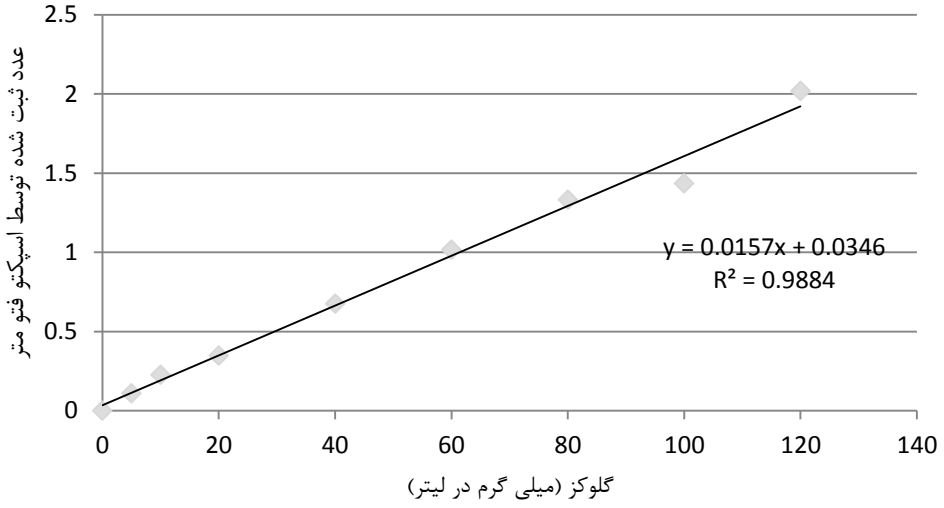
۳-۶- صفات کیفی

۳-۶-۱- سنجش قندهای محلول

غلظت قند محلول موجود در بذر در کلیه ترکیبات تیماری اندازه‌گیری شد. نمونه‌های گیاهی خشک شده، خوب پودر شدند. به‌منظور استخراج کربوهیدرات‌های غیر ساختاری ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه پودر شده در فالکون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته شد. ۸ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار داده شد. سپس لوله‌های حاوی نمونه‌ها خارج شدند و پس از سرد شدن به مدت ۲۰ دقیقه در۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. روشناور لوله‌ها جدا شد و عمل استخراج ۳ بار تکرار گردید. به روشناور جمع شده به ترتیب ۳/۵ میلی‌لیتر سولفات روی ($ZnSo_4$) ۵ درصد و ۳/۵ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ($Ba(OH_2)_2$) ۰/۳ نرمال جهت حذف رنگیزه‌ها اضافه گردید و دوباره ۲۰ دقیقه در۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. روشناور در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل جهت تعیین قند محلول به روش فنل اسیدسولفوریک (بانت و اینکال، ۱۹۹۲ و هلوبات و کارایجی، ۱۹۷۸) مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس این روش روی ۲ میلی‌لیتر محلول مورد استفاده ابتدا ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ با فشار

اضافه گردید. افزودن اسید سولفوریک با جوشش و تولید بخار سوزاننده و حرارت بالا همراه است. لذا این کار بایستی زیر هود و در ظرف مناسب انجام گیرد. بسته به غلظت قند موجود در نمونه رنگ گلبهی کم‌رنگ تا پررنگ ایجاد می‌گردد. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه خنک شدند. سپس میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل 6305 jenway ساخت کشور انگلیس در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر قرائت گردید.

منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌هایی با غلظت صفرتا ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر گلوکز خالص و تکرار کلیه مراحل روش فنل اسید سولفوریک روی ۲ میلی‌لیتر از آن‌ها به‌منظور تبدیل مقادیر ثبت شده توسط اسپکتروفتومتر به غلظت قند موجود در محلول در همان روز رسم گردید (شکل۳-۲). معادله حاکم بر منحنی استاندارد $ABS = aC + b$ است که در آن ABS مقدار جذب، C غلظت قند موجود در محلول، a و b اعداد ثابت هستند.



شکل ۳-۲- منحنی استاندارد گلوکز خالص در طول‌موج ۴۸۵ نانومتر

۳-۶-۲- درصد پروتئین دانه

اندازه‌گیری پروتئین دانه پس از برداشت به روش کجلدال انجام شد. برای مراحل هضم، تقطیر و تیتراسیون به ترتیب از اجاق هضم‌کننده 2040 Digester از شرکت Foss Tecator و دستگاه تمام‌خودکار Kjeltec Analysis Unit 2300 از همان شرکت استفاده گردید. در این روش برای عمل هضم، ۱ گرم از بافت آسیاب شده به بالن‌های مخصوص کجلدال منتقل گردید. یک قرص کاتالیزور شامل ۱/۵ گرم سولفات پتاسیم و ۰/۱۵ گرم سولفات مس به هر فلاسک اضافه گردید. برای انجام عمل هضم ۲۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ افزوده شد و بالن‌ها درون اجاق مخصوص قرار داده شدند. ابتدا درجه دستگاه هضم روی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. بعد از آن به تدریج دما به ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد از زمانی که دمای ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد ثابت شد حدود یک ساعت و نیم عمل هضم ادامه یافت. زمانی که محلول سیاه‌رنگ درون فلاسک‌ها تبدیل به محلول نسبتاً زلال به رنگ سبز بسیار کمرنگ شد، پایان عمل هضم مشخص گردید. میزان نیتروژن نمونه‌ها پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه توسط دستگاه کجلدال سنجیده شد. دستگاه دارای سه مخزن آب مقطر، سود سوزآور ۴۰ درصد و اسید بوریک ۱۰ درصد بود. پس از قرار گرفتن یک فلاسک در دستگاه به ترتیب ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی‌لیتر سود سوزآور ۴۰ درصد به نمونه اضافه‌شده و با فشار بخارآب عمل تقطیر انجام گرفت. عمل تیتراسیون نیز توسط دستگاه صورت گرفت. در این مرحله از اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال استفاده شد. مقدار نیتروژن موجود در نمونه بر اساس مقدار اسیدکلریدریک مصرف‌شده در تیتراسیون توسط دستگاه مشخص گردید. به‌منظور تبدیل مقدار اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال مصرف‌شده در تیتراسیون به درصد نیتروژن نمونه و تبدیل آن به درصد پروتئین از روابط ۳-۷ و ۳-۸ زیر استفاده شد. ضریب تبدیل پروتئین برای سیاه‌دانه ۶/۲۵ در نظر گرفته شد (ای او ای سی، ۲۰۰۵).

رابطه (۳-۷) وزن نمونه (گرم) / (۰/۱۴ × A) = درصد نیتروژن نمونه

رابطه (۳-۸) ضریب تبدیل نیتروژن × درصد نیتروژن = درصد پروتئین

A = حجم اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال مصرفی برحسب میلی‌لیتر

۳-۷- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و MSTATC و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.

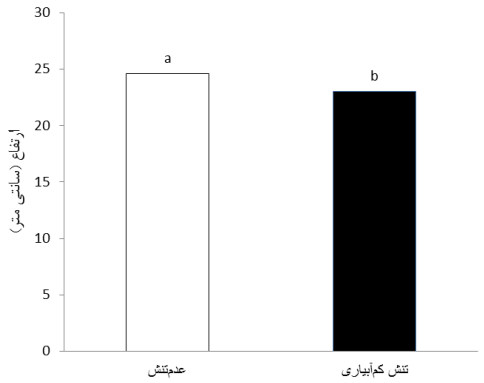
فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- صفات زراعی

۴-۱-۱- ارتفاع گیاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تنش و اثر متقابل گلوکز در ساکارز در سطح ۵ درصد و اثر محلول‌پاشی گلوکز و ساکارز در سطح ۱ درصد بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بودند (جدول پیوست ۱). تنش کم‌آبی موجب کاهش ارتفاع بوته شد. به‌گونه‌ای که میانگین ارتفاع مشاهده شده در شرایط عدم تنش ۲۴/۶ سانتی‌متر بود که در شرایط تنش با کاهش ۶/۴ درصدی به ۲۳/۰۲ سانتی‌متر رسید (شکل ۴-۱).

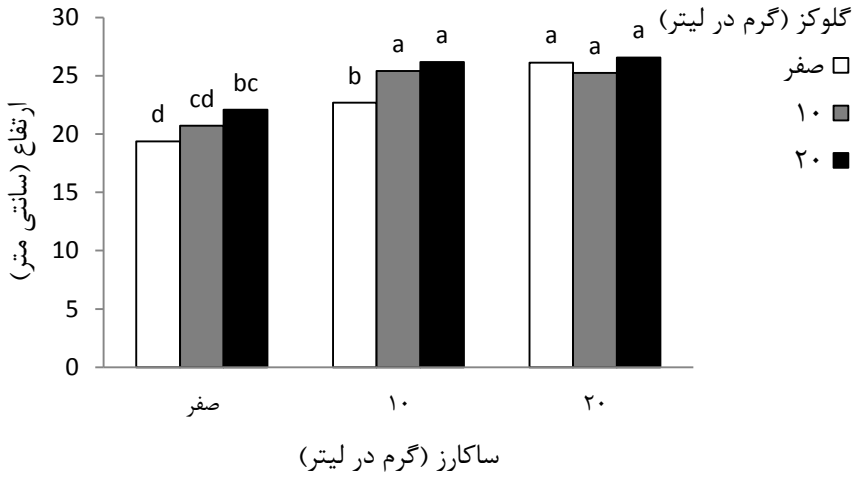


شکل ۴-۱- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر تنش‌کم‌آبیاری

ارتفاع بوته‌هایی که فقط آب خالص دریافت کرده بودند به‌طور متوسط ۱۹/۳۸ سانتی‌متر بود که کمتر از کلیه ترکیبات تیماری مورد مطالعه بود. محلول‌پاشی گلوکز و ساکارز به‌تنهایی سبب افزایش ارتفاع بوته گردید این افزایش در سطح ۲۰ گرم در لیتر گلوکز و ۱۰ گرم در لیتر ساکارز به ترتیب معادل ۱۳/۹۳ و ۲۵/۰۶ درصد بود، که به لحاظ آماری نیز معنی‌دار بود.

ارتفاع بوته‌هایی که تنها ۲۰ گرم در لیتر ساکارز یا هر دو تیمار گلوکز و ساکارز را به‌طور همزمان (با هر دو غلظت) دریافت کرده بودند، بدون وجود اختلاف معنی‌دار در گروه آماری برتر قرار گرفت (شکل ۴-۲). طی فرآیند فتوسنتز گلوکز در گیاه تولید می‌شود که به‌صورت ساکارز از طریق سیستم انتقالی گیاه

بین بخش‌های در حال رشد از جمله ساقه توزیع می‌گردد. بدیهی است دریافت اسیمیلات بیشتر توسط یک قسمت می‌تواند در رشد و توسعه سلول‌های آن مؤثر است. لذا به نظر می‌رسد که با محلول‌پاشی برگی قندها روی گیاه، سهم اسمیلات ساقه افزایش یافته و در نتیجه موجب افزایش ارتفاع گیاه شده است. البته در این بین نباید نقش مهم قندها در تنظیم اسمزی گیاه و کاهش شدت تنش‌های محیطی نادیده گرفته شود. مهقانی (۱۳۹۱ ج) طی آزمایشی روی گیاه لوبیا چشم بلبلی به این نتیجه رسید که محلول‌پاشی ساکارز موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته می‌گردد.



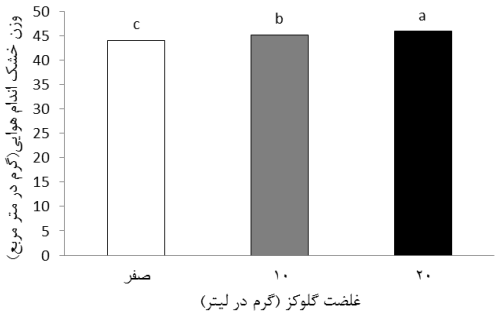
شکل ۴-۲- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول پاشی با ساکارز و گلوکز

۴-۱-۲- وزن خشک اندام هوایی

اثر تنش کم‌آبیاری، محلول‌پاشی ساکارز و گلوکز و برهمکنش تنش با ساکارز در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک گیاه معنی‌دار شدند (جدول پیوست ۱).

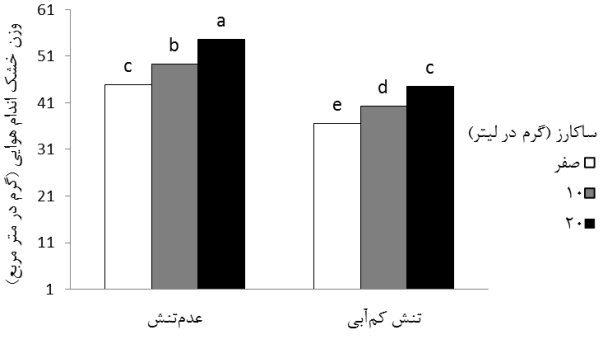
کاربرد برگی محلول گلوکز موجب افزایش تجمع ماده خشک در گیاه گردید، افزایش غلظت محلول‌پاشی نیز مقدار ماده خشک گیاه را در حدی افزایش داد که بین تیمارهای اعمال شده تفاوت

معنی‌داری مشاهده شد، بنابراین بیشترین مقدار در تیمار ۲۰ گرم در لیتر با میانگین ۴۵/۵۷ و کمترین مقدار در شاهد با میانگین ۴۰/۷۵ گرم در متر مربع به دست آمد (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین ارتفاع ساقه تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز

شکل ۴-۴ اثر متقابل تنش در محلول‌پاشی ساکارز را نشان می‌دهد. در شرایط عدم‌تنش بین تیمارهای اعمال شده تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری که تیمار با غلظت ۲۰ گرم در لیتر محلول ساکارز وزن خشک گیاه را به ۵۴/۶۱ گرم در مترمربع رساند در حالی‌که این مقدار در تیمار شاهد ۴۴/۹۱ بود، یعنی ۲۱/۶۰ درصد افزایش در میزان وزن خشک گیاه ایجاد کرد. در شرایط تنش کم‌آبیاری نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای اعمال شده مشاهده شد و بالاترین میانگین مشاهده شده در این شرایط نیز تحت تیمار ۲۰ گرم در لیتر ساکارز معادل ۴۴/۴۹ گرم در متر مربع بود که در اینجا نیز محلول ساکارز



شکل ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز

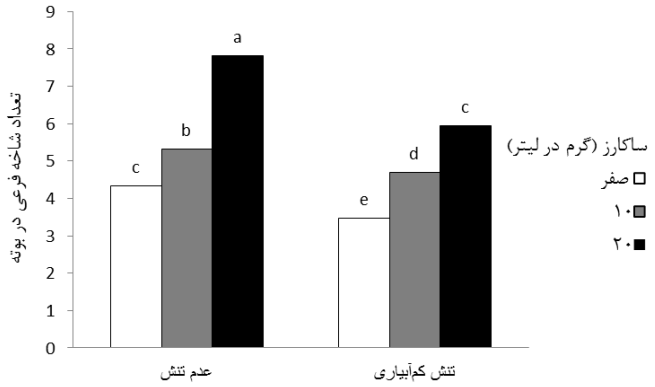
نسبت به شاهد (۳۶/۵۹) افزایش ۲۱/۵۹ درصدی را به‌وجود آورد. این موضوع حکایت از بهبود شرایط برای رشد و توسعه سلولی و در نهایت رشد گیاه در اثر کاربرد ساکارز داشت. لیو و استوتزل (۲۰۰۲) بیان داشتند که کاهش در پتانسیل اسمزی سلول در اثر تجمع مواد حل شونده سبب جذب آب بیشتر به داخل سلول می‌شود و فشار تورگر را حفظ می‌کند و حفظ فشار تورگر اجازه می‌دهد رشد گیاه با وجود کاهش پتانسیل آب برگ ادامه یابد. در تحقیقی که آلویوم (۱۹۶۰) انجام داد، محلول‌پاشی ساکارز سرعت جذب خالص، سطح برگ و سرعت رشد نسبی را افزایش داد و موجب بالا رفتن ۱۶/۴ درصدی ماده خشک گردید.

۴-۱-۳- تعداد شاخه فرعی

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد شاخه فرعی در جدول پیوست ۱ آورده شده است، مشاهده می‌شود که اثر تنش کم‌آبی در سطح احتمال ۵ درصد، محلول‌پاشی ساکارز، محلول‌پاشی گلوکز و اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی ساکارز در سطح ۱ درصد و اثر تنش و محلول‌پاشی گلوکز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند.

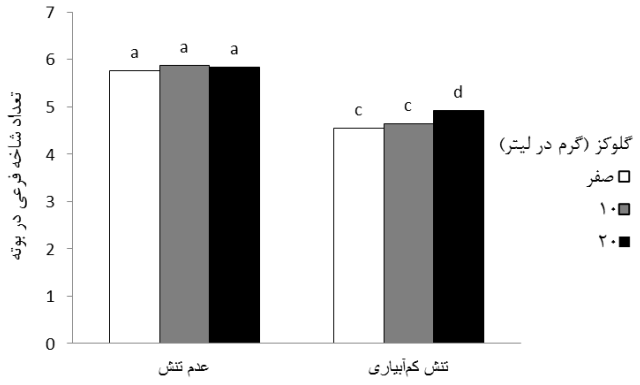
گیاهانی که در شرایط عدم‌تنش بودند نسبت به گیاهانی که در شرایط مشابه تحت تنش کم‌آبی قرار داشتند، تعداد شاخه فرعی بیشتری داشتند. در هر دو شرایط تنش و عدم تنش محلول‌پاشی ساکارز سبب افزایش تعداد شاخه فرعی شد به گونه‌ای که بیشترین تعداد شاخه فرعی در شرایط عدم‌تنش با میانگین ۷/۸۳ عدد در تیمار ساکارز ۲۰ گرم در لیتر به‌دست آمد. این در حالی است که این مقدار در تیمار شاهد برابر با ۴/۳۳ عدد بود که حکایت از افزایش ۸۰/۸ درصدی در این صفت را دارد. در شرایط تنش کم‌آبیاری محلول‌پاشی با دو غلظت ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر ساکارز سبب بهبود قابل توجهی در صفت تعداد شاخه فرعی گردید، طوری که مقدار این صفت حتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان شاهد بود (شکل ۴-۵).

کاهش تعداد شاخه فرعی در اثر تنش کم‌آبی در مطالعات مختلف بیان شده است. به عنوان مثال شعبانی و همکاران (۱۳۸۹) در کلزا به این موضوع اشاره داشتند که اعمال تنش کم‌آبی به‌صورت پیوسته تأثیر منفی چشم‌گیری بر رشد رویشی داشت و در مقایسه میانگین داده‌ها اختلاف معنی‌داری بین میانگین تعداد شاخه فرعی در بوته در تیمار دیم با سایر تیمارها وجود داشت. رضوانی مقدم و همکاران، (۲۰۰۵) نیز بیان داشتند که تیمارهای مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، زیست توده، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت کنجد دارد. همچنین پورموسوی و همکاران (۲۰۰۹) کاهش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در بوته سویا در اثر تنش کمبود آب گزارش نمودند.



شکل ۴-۵- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول پاشی ساکارز

شکل ۴- ۶ تأثیر متقابل تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی گلوکز را بر تعداد شاخه فرعی سیاه‌دانه نشان می‌دهد، در مجموع گیاهانی که در شرایط عدم‌تنش رشد کرده بودند از تعداد شاخه فرعی بالاتری برخوردار بودند. در این شرایط محلول‌پاشی با گلوکز و افزایش غلظت آن تأثیر معنی‌داری بر این صفت زراعی نداشت. در شرایط تنش نیز غلظت ۱۰ گرم در لیتر گلوکز مؤثر واقع نشد ولی دو برابر شدن غلظت گلوکز توانست این صفت را به‌طور جزئی ولی معنی‌دار به لحاظ آماری بهبود بخشد. به‌گونه‌ای که این صفت از میانگین ۴/۵۵ شاخه در سطح صفر گلوکز به ۴/۹۳ در سطح ۲۰ گرم در لیتر رسید.

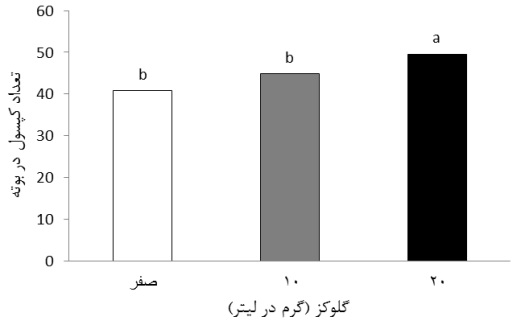


شکل ۴-۶- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول پاشی گلوکز

۴-۱-۴- تعداد کپسول در بوته

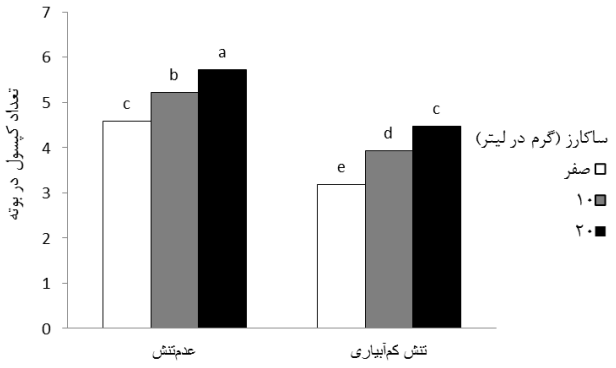
با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس از بین منابع تغییر، اثر تنش کم‌آبی ($p<۰/۰۵$)، محلول-پاشی با ساکارز، همچنین محلول‌پاشی با گلوکز ($p<۰/۰۱$) و اثر متقابل تنش کم‌آبی در محلول‌پاشی ساکارز ($p<۰/۰۵$) معنی‌دار بودند (جدول پیوست ۱).

از دو غلظت ۱۰ و ۲۰ گرم بر لیتر گلوکز، تنها غلظت بالاتر توانست افزایش معنی‌داری در تعداد کپسول بوته ایجاد نماید. این افزایش نسبت به سطح صفر گلوکز معادل ۸/۳۵ درصد بود (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز

محلول‌پاشی ساکارز در تمام غلظت‌های به‌کار رفته سبب افزایش این صفت هم در شرایط عدم-تنش و هم در شرایط تنش شد به گونه‌ای که بالاترین مقدار به ترتیب در شرایط عدم‌تنش و تنش با میانگین ۵/۷۳ و ۴/۴۸ کپسول در بوته مربوط به تیمار ۲۰ گرم بر لیتر ساکارز و کمترین مقدار ثبت شده معادل ۳/۱۹ کپسول در بوته مربوط به تیمار محلول‌پاشی با آب در شرایط تنش بود. لذا افزایش حاصل از محلول‌پاشی با بالاترین غلظت ساکارز نسبت به سطح صفر آن در شرایط عدم‌تنش و تنش کم‌آبی به ترتیب ۲۴/۸۴ و ۴۰/۴۴ درصد بود (شکل ۴-۸).

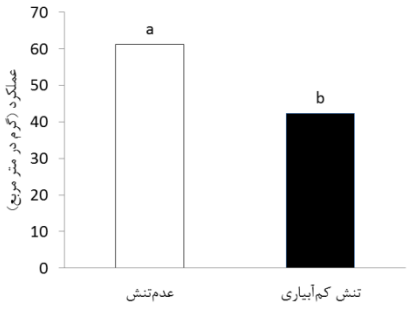


شکل ۴-۸- مقایسه میانگین تعداد کپسول تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی ساکارز

بای بوردی (۱۳۸۶) در آزمایشی روی بادام مشاهده کرد که، کاربرد ساکارز به همراه اوره موجب افزایش درصد تشکیل میوه اولیه شد.

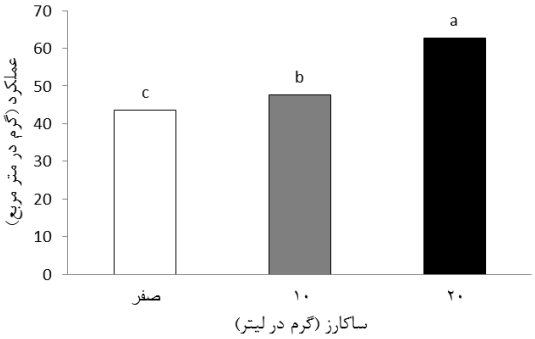
۴-۱-۵- عملکرد

همان‌طور که در جدول پیوست شماره ۱ ملاحظه می‌گردد اثر تنش، محلول‌پاشی گلوکز و ساکارز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در شکل ۴-۹ مشاهده می‌گردد که تنش کم‌آبی عملکرد دانه را ۳۱/۵ درصد کاهش داد.



شکل ۴-۹- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر تنش‌کم‌آبیاری

تأثیر محلول‌پاشی ساکارز در شکل شماره ۴-۱۰ نشان داده شده است، محلول‌پاشی برگی ساکارز موجب افزایش میانگین عملکرد شد به‌گونه‌ای که بالاترین عملکرد معادل ۶۲/۷ گرم در مترمربع در محلول‌پاشی ساکارز با غلظت ۲۰ گرم در لیتر به‌دست آمد. حال آن‌که این مقدار در تیمار شاهد تنها ۴۳/۵۳ گرم در مترمربع بود که مفهوم آن افزایش ۴۴/۰۴ درصدی در عملکرد است. شایان ذکر است تیمار ۱۰ گرم در لیتر ساکارز نیز به‌طور معنی‌داری عملکرد را افزایش داد. ضمن اینکه اختلاف میانگین



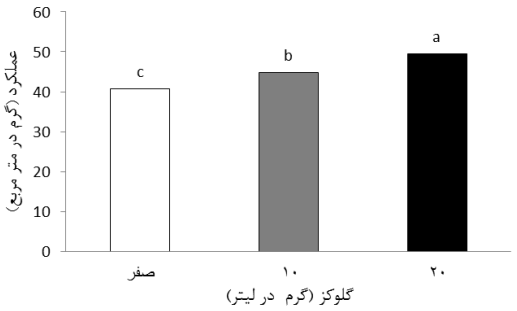
شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز

تیمار ۲۰ و ۱۰ گرم در لیتر نیز معنی‌دار بود. حکم‌آبادی و همکاران (۱۳۷۹) گزارش نمودند که با محلول-پاشی ساکارز با غلظت سه درصد در مرحلهٔ رشد سریع آندوسپرم درصد تشکیل میوه درخت پسته ۱۵ درصد افزایش یافته است. این محققان به این نتیجه رسیدند که ساکارز از طریق برگ و جوانه‌های در حال

تورم جذب گردیده است و انرژی لازم را جهت رشد اندام‌های زایشی و جنینی فراهم نموده است. محلول-پاشی ساکارز با افزایش ذخیره و انرژی سلول و بالا بردن میزان کربوهیدرات، تشکیل میوه را در محصولات لوبیا، سویا، گوجه فرنگی، ترب و پسته به‌طور معنی‌داری افزایش داده است.

گلوکز نیز همچون ساکارز موجب افزایش عملکرد گیاه شد. البته این افزایش نسبت به ساکارز کمتر بود. بین هر سه سطح گلوکز تفاوت معنی‌داری در میانگین مشاهدات وجود داشت. متوسط عملکرد در گیاهان شاهد ۴۲/۸۷ گرم در مترمربع بود این عدد در گیاهانی که تیمار ۲۰ گرم در لیتر گلوکز را دریافت کردند با ۲۳/۱۲ درصد افزایش به ۵۲/۷۸ گرم در مترمربع رسید. میزان افزایش ثبت شده در غلظت پایین گلوکز نیز ۱۹/۶۲ درصد بود (شکل ۴-۱۱).

هوشینو (۱۹۸۷) در تحقیق خود گزارش نموده است که محلول‌پاشی با گلوکز با غلظت ۳ درصد علاوه بر اینکه می‌تواند مقاومت به سرما را در بوته‌های کاهو افزایش دهد، فعالیت فتوسنتزی را در برگ-های کاهو در دمای پایین و شرایط نامساعد نسبت به شاهد بهبود بخشید. همچنین در پژوهشی توسط شاهین و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده گردید که در اثر محلول‌پاشی قند (۲۰۰۰ ppm) به‌تنهایی و به‌صورت مخلوط با آمینو اسید روی پیاز، گیاهانی قوی‌تر و با عملکرد بالاتر ایجاد شدند.

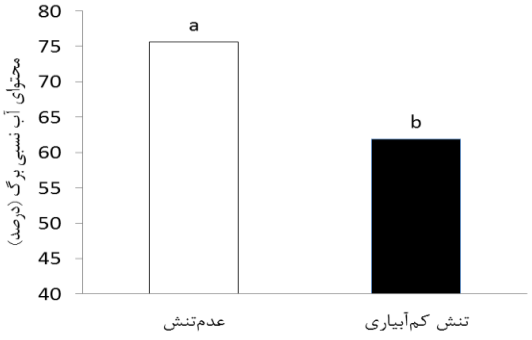


شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین عملکرد تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز

۴-۲- صفات فیزیولوژیک

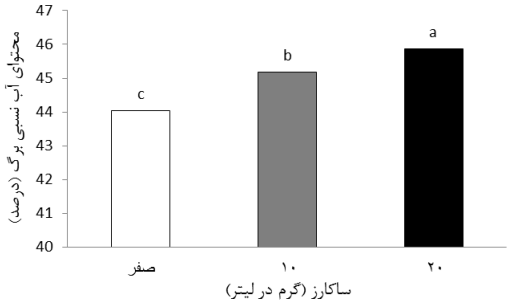
۴-۲-۱- آب نسبی برگ

مقدار آب نسبی برگ به‌طور معنی‌داری از تنش، محلول‌پاشی ساکارز و محلول‌پاشی گلوکز در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۳). محتوای آب نسبی برگ در شرایط عدم‌تنش به‌طور متوسط ۷۵/۵۸ درصد بود که با دو برابر شدن دور آبیاری از ۸ به ۱۶ روز با ۱۳/۷ درصد کاهش به ۶۱/۸۹ درصد رسید (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر تنش‌کم‌آبیاری

شکل ۴-۱۳ نشان می دهد، که محلول‌پاشی ساکارز و افزایش غلظت آن سبب افزایش معنی‌دار آب نسبی برگ گردید. بالاترین میانگین مشاهده شده مربوط به تیمار ۲۰ گرم بر لیتر ساکارز با ۷۰/۴۴ درصد

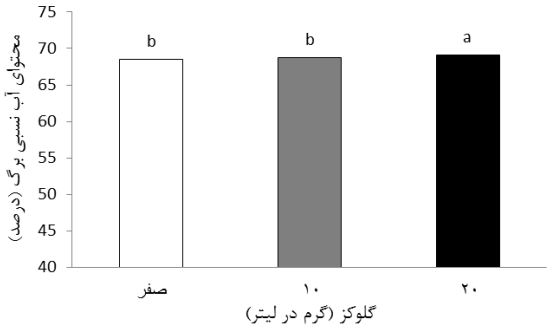


شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین محتوای آب نیبی برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز

و کمترین مقدار مشاهده شده با ۶۷/۲۳ درصد مربوط به تیمار شاهد بود.

محلول‌پاشی با غلظت ۱۰ گرم در لیتر گلوکز تأثیری بر آب نسبی برگ نداشت ولی دو برابر شدن این غلظت مؤثر واقع شد و هرچند اندک ولی به‌طور معنی‌دار این صفت را بهبود بخشید (شکل ۴-۱۴).

استحکام بیشتر دیواره سلولی و توانایی آن برای تحمل آسیب‌های ناشی از اتلاف آب از عوامل ثبات RWC درشرایط خشکی ذکر شده است (کاملی و لوسل، ۱۹۹۶). در نتیجه افزایش برخی ترکیبات



شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز

فعال اکسیژن نظیر رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل غشاء سلولی در گیاهان تحت تنش آسیب می‌بیند و الکترولیت‌های سلول به بیرون تراوش می‌کند (بلوم و ابرکان، ۱۹۸۱).

پاتاکاس (۲۰۰۰) بیان نمود، قندها از اسمولیت‌های سازگار به شمار می‌آیند که در تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس سلول‌ها و پایدار نمودن پروتئین و غشاء سلولی نقش عمده دارند. نقش و اهمیت تجمع قندها به این دلیل می‌باشد که تجمع این مواد سبب تنظیم فشار اسمزی و کاهش از دست دادن آب سلول و نگه‌داری آماس می‌شوند (حکمت شعار، ۱۳۷۲).

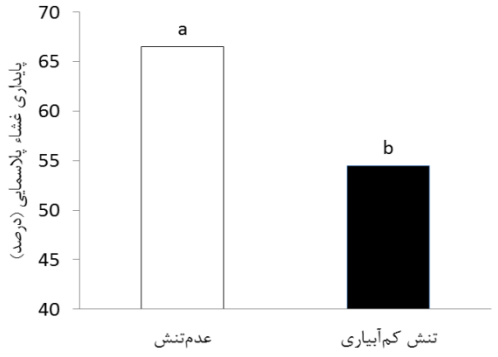
گیاهان از راهکارهای مبتنی بر قندها برای تنظیم اسـمزی استفاده می‌کنند (آندرسون و کوهورن، ۲۰۰۱). در برخی گونه‌های گیاهی، کربوهیدرات‌ها (مثل فروکتان و ساکارز)، پولیول‌ها (قندهای الکلی یا اشکال احیا شده قندهای الدوز و کتوز) در پاسخ به تنش خشکی در برگ تجمـع مـی‌یابند (نوی رود و همکاران،۲۰۰۰). مانیتول و سوربیتول فراوان‌ترین ترکیبات پولیولی در گیاهان هستند و تجمع این دو ماده تحت تنش‌خشکی در بعضی از گونه‌های گیاهی تـا ۸۰ درصد تنظیم اسمزی را توجیه می‌کند (لوبیان تو و همکاران، ۲۰۰۰). مانز و همکاران، ۱۹۸۱) سهم قندها را در تنظیم اسمزی گیاهان مهم و قابـل توجه ارزیابی کردند. به‌نظر می‌رسد قندهای محلول در شرایط تنش کم‌آبی به دو صورت (یک ترکیب اسمزی و یک حفاظت کننده اسمزی) عمل می‌کنند (بوهنرت و همکاران، ۱۹۹۵). به عنوان یک ترکیب اسمزی، افزایش غلظت قندهای محلول با تنظیم اسمزی و حفظ فشار آماس همبستگی معنی‌دار نشان می‌دهد. در حالی که قندهای محلول در نقش حفاظت کننده اسمزی از طریق تشکیل پیوند هیدروژنی با دنباله‌های قطبی پلی‌پپتیدها و گروه‌های فسفات فسفولیپید از پروتئن‌ها و غشاهای سلولی حفاظت می‌کنند (کرو و همکاران، ۱۹۹۲).

در پژوهشی که علی و اشرف (۲۰۱۱) روی ذرت انجام دادند، کاربرد ترهالوز (قند چهار کربنه) به طور قابل توجهی تحمل ذرت را نسبت به خشکی افزایش داد و روابط آبی گیاه را بهبود بخشـید، همچنـین در آزمایش مهقانی و همکاران (۱۳۹۱ ب) روی لوبیا چشم بلبلی، افزایش آب نسبی برگ در اثر محلول‌پاشی ساکارز مشاهده گردید.

۴-۲-۲- پایداری غشاء پلاسمایی

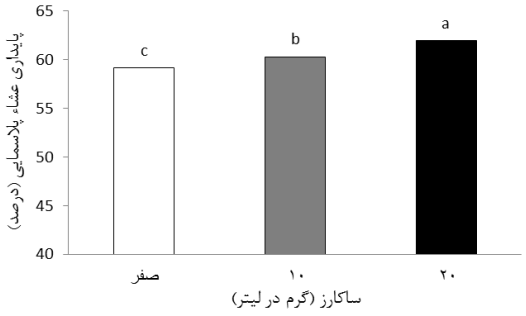
اثر تنش، محلول‌پاشی ساکارز و محلول‌پاشی گلوکز در سطح احتمـال ۱ درصـد بـر صـفت پایـداری غشاء پلاسمایی معنی‌دار شدند. شاخص پایداری غشاء در شرایط عـدم‌تـنش ۶۶/۵۲ درصـد و در شـرایط

تنش ۵۴/۴۷ درصد به‌دست آمد که حکایت از کاهش ۱۲ درصدی در این صفت در اثر تنش دارد (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴- ۱۵ مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تأثیر تیمار تنش کم‌آبیاری

محلول‌پاشی ساکارز سبب بالا رفتن شاخص پایداری غشاء شد به گونه‌ای که هر دو سطح به‌کار رفته نسبت به شاهد و نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری نشان دادند، بالاترین و پایین‌ترین میانگین مشاهده شده به ترتیب در تیمار ۲۰ گرم در لیتر ساکارز و شاهد با ۶۱/۹۹ و ۵۹/۱۶ درصد محاسبه شدکه نشان از افزایش ۲/۸۳ درصد در شاخص پایداری غشاء در تیمار ۲۰ گرم در لیتر ساکارز دارد (شکل ۴-۱۶).



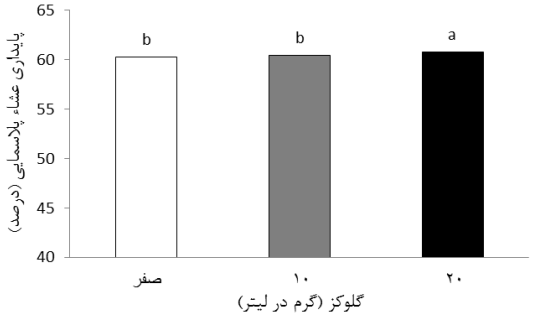
شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تأثیر محلول پاشی ساکارز

در بین بخش‌های کلیدی سلول و اندامک‌ها، غشاها از اولین محل‌های آسیب به‌شمار می‌آیند. تنش ضمن تغییر در ترکیب پروتئین‌های به‌کار رفته در غشاها، کاهش کارایی آن‌ها را نیز در پی دارد. تغییر در ساختار غشاء و ترکیب آن منجر به افزایش نفوذپذیری غشاء خواهد شد. برآیند این عوامل منجر به

کاهش نفوذپذیری انتخابی غشاء خواهد شد. بدین ترتیب دو طرف غشاء به تعادل رسیده و در نهایت به مرگ سلول منجر خواهد شد (منصور و همکاران، ۲۰۰۵).

محلول‌پاشی گلوکز نیز سبب افزایش شاخص پایداری غشاء در این آزمایش شد. البته استفاده از غلظت ۱۰ گرم در لیتر این قند تفاوت معنی‌داری در میانگین مشاهده شده (۶۰/۴۵ درصد) با شاهد (۶۰/۲۷ درصد) ایجاد نکرد. حال آن‌که غلظت ۲۰ گرم در لیتر گلوکز به‌کار رفته در محلول‌پاشی سبب افزایش میانگین (۶۰/۷۷ درصد) در حدی شد که با تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌دار نشان داد (شکل ۴-۱۷).

بلوم و ابرکان (۱۹۸۰) عنوان کردند که درنتیجه تغییر غشاء سلولی نفوذپذیری سلول افزایش می‌یابد که این امر باعث تراوش الکترولیت‌ها از سلول می‌شود. حق‌پرست (۱۹۹۷) گزارش کرد که دیواره سلولی در اثر تنش تخریب‌شده و مایع سلولی و واکئولی به داخل محیط تراوش می‌کند که موجب غلیظ شدن و



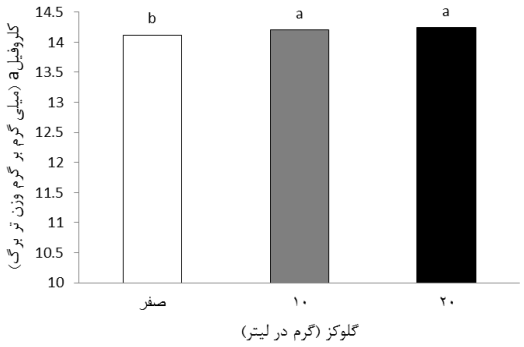
شکل ۴- ۱۷ - مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تأثیر محلول پاشی گلوکز

بالا رفتن هدایت الکتریکی محلول می‌شوند. بدین ترتیب هرچه مایع غلیظ‌تر باشد نشانه آن است که سلول‌های بیشتری تخریب‌شده و آن گیاه مقاومت کم‌تری دارد (حق‌پرست، ۱۹۹۷).

از آنجا که ساکارز به‌عنوان محافظ اسمزی در شرایط تنش جایگزین آب می‌شود، در نگه‌داری فسفولیپیدهای غشاء و ممانعت از تغییرات ساختاری پروتئین‌ها نقش دارد (کرپسی و گالیبا، ۲۰۰۰).

۴-۲-۳- کلروفیل a

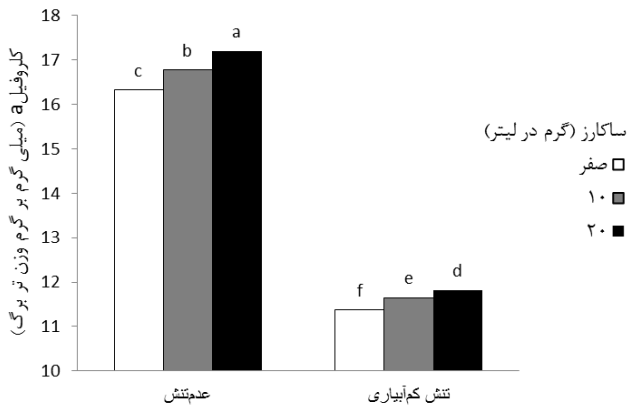
اثر تنش، ساکارز، گلوکز و اثر دوجانبه ساکارز در تنش بر میزان کلروفیل a بسیار معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴). محلول‌پاشی گلوکز کلروفیل a را تحت تأثیر قرار داد و موجب افزایش آن گردید، غلظت ۱۰ گرم در لیتر گلوکز با میانگین ۱۴/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر اختلاف معنی‌داری را با شاهد (با میانگین ۱۴/۱۲) موجب شد ولی افزایش غلظت گلوکز از ۱۰ به ۲۰ گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری را در میانگین مشاهدات سبب نشد (شکل ۴- ۱۸).



شکل ۴- ۱۸- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل a تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز

محلول‌پاشی با هر دو غلظت ساکارز موجب افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل a شد، این روند هم در شرایط تنش کم‌آبیاری و هم در شرایط عدم‌تنش قابل مشاهده بود. در بین ترکیبات تیماری مورد مطالعه بالاترین مقدار کلروفیل a معادل ۱۷/۲۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ از محلول‌پاشی با غلظت ۲۰ گرم در لیتر ساکارز در شرایط عدم تنش و پایین‌ترین میانگین با ۱۱/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از سطح صفر ساکارز در شرایط تنش کم‌آبی به‌دست آمد (۴-۱۹).

فتوسنتز تعیین کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به‌واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش



شکل ۴- ۱۹- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل a تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و ساکارز

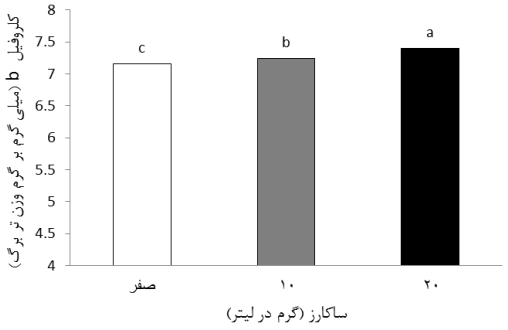
می‌یابد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به‌منظور کاهش هدر رفت آب صورت می‌گیرد، امـــا به واسطه جلوگیری از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (اشرف و هـریس، ۲۰۰۴).

گریگسن و هولم (۲۰۰۷) بیان کردند که طی تنش خشکی محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد و ارقـام دارای محتوی کلروفیل بالاتر، مقاومت بیشتری در شرایط تـنش از خـود نشـان مـی‌دهنـد، همچنـین در آزمایشی که مشایخی و آتشی (۱۳۹۱) روی گیاه توت‌فرنگی انجام دادنـد، تـأثیر معنـی‌دار محلـول‌پاشـی ساکارز بر کلروفیل a مشاهده گردید.

۴-۲-۴- کلروفیل b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که از بین منابع تغییر تنها اثر محلول‌پاشی ساکارز بر میزان کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴).

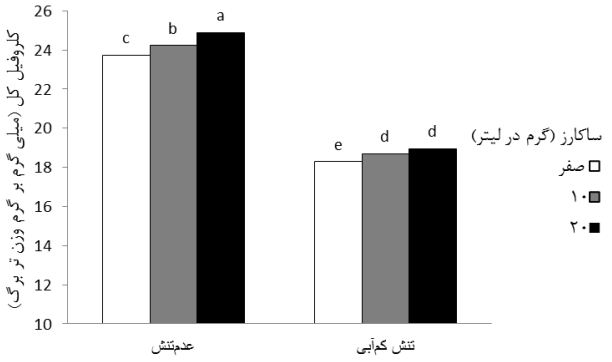
همان‌گونه که در شکل ۴-۲۰ ملاحظه می‌گردد میزان کلروفیل b در برگ گیاهانی که محلول‌های ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر ساکارز دریافت کردند به‌ترتیب ۱/۱۲ و ۳/۳۵ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود. هر سه سطح ساکارز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. مهقانی (۱۳۹۱ د) نیز طی آزمایشی روی لوبیا چشم بلبلی به این نتیجه رسید که محلول‌پاشی ساکارز موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل b می‌شود.



شکل ۴- ۲۰- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل b تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز

۴-۲-۵- کلروفیل کل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس کلروفیل کل برگ در جدول پیوست ۴ آورده شده است. اثر تنش (p<۰/۰۵)، محلول‌پاشی ساکارز (p<۰/۰۱)، و اثرات متقابل آن‌ها (p<۰/۰۱) بر این صفت معنی‌دار شد. هم در شرایط عدم‌تنش و هم در شرایط تنش انجام محلول‌پاشی ساکارز موجب افزایش میانگین این صفت گردید. بالاترین میانگین به‌دست آمده مربوط به در شرایط عدم‌تنش با ۲۴/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. کمترین میزان کلروفیل برگ نیز با میانگین ۱۸/۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط تنش کم-آبیاری بدون دریافت ساکارز بدست آمد که این عدد در اثر محلول‌پاشی با هر دو غلظت ساکارز تقریباً به یک اندازه افزایش یافت و در غلظت بالای ساکارز در این شرایط به ۱۸/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید (شکل ۴-۲۱).



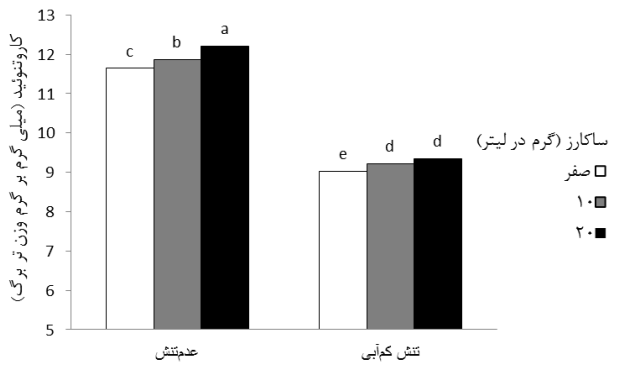
شکل ۴- ۲۱- مقایسه میانگین غلظت کلروفیل کل برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی ساکارز

۴-۲-۶- کاروتنوئید

تنش کم‌آبی (p<۰/۰۵)، محلول‌پاشی ساکارز (p<۰/۰۱) و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید برگ داشتند (جدول پیوست ۴).

شکل ۴-۲۲ اثر متقابل تنش در محلول‌پاشی ساکارز را نشان می‌دهد. در شرایط عدم‌تنش بین تیمارهای اعمال شده تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری که تیمار با غلظت ۲۰ گرم در لیتر محلول ساکارز کاروتنوئید برگ را به ۱۲/۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ رساند. در حالی‌که این مقدار در تیمار شاهد ۱۱/۶۴ بود یعنی ۴/۸۱ درصد در میزان کاروتنوئید افزایش ایجاد کرد. اما در شرایط تنش کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر ساکارز وجود نداشت ولی هر دو تیمار توانستند این صفت را نسبت به سطح صفر ساکارز حدود ۳/۴ درصد بهبود بخشند.

افزایش کاروتنوئید برگ در تقویت سیستم دفاعی گیاه مؤثر است. تنش خشکی می‌تواند سبب ایجاد تنش اکسیداتیو شود (چاوز و الیویرا، ۲۰۰۴) لذا می‌تواند نقش ویژه‌ای در تخریب سامانه فتوسنتزی،



شکل۴- ۲۲- مقایسه میانگین میزان کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیب تیماری حاصل از تنش کم‌آبیاری و ساکارز

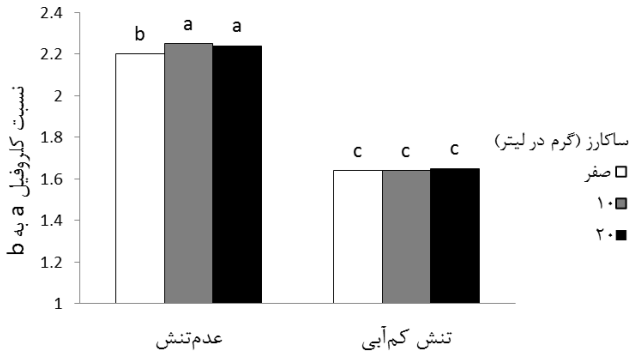
تخریب غشاء سلولی و کلروپلاستی (سمیرنوف، ۱۹۹۳)، کاهش مقدار رنگ‌دانه‌های کلروفیل a و b (ای-تورب و همکاران، ۱۹۹۸) و متعاقب آن کاهش توانایی فتوسنتز ایفا کند (ارت، ۲۰۰۱)، در این راستا، گیاهان قادرند با استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مختلف نظیر ترکیبات فنلی و کاروتنوئیدها از ساختارهای سلولی خود در برابر گونه‌های فعال تولیدشده در شرایط تنش محافظت کنند (بت‌تیب و همکاران،۲۰۱۰). در گیاهان مختلف ازجمله گیاه کتان با افزایش تنش مقدار این رنگیزه محافظ افزایش می‌یابد که نتیجه آن حفاظت بیشتر از گیاه می‌باشد. بررسی گیاه آرابیدوپسیس نیز نتیجه مشابهی را نشان داد (جانگ، ۲۰۰۴).

۴-۲-۷- نسبت کلروفیل a به b

نسبت کلروفیل a به b از تنش کم‌آبی درسطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی ساکارز و اثر متقابل آن‌ها درسطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۴).

شکل ۴-۲۳ تأثیر متقابل تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی ساکارز را بر نسبت کلروفیل a به b نشان می-دهد، در مجموع گیاهانی که در شرایط عدم تنش رشد کرده بودند از نسبت بالاتری برخوردار بودند. در هر دو شرایط تنش و عدم‌تنش دزهای مختلف به‌کار رفته در محلول‌پاشی ساکارز سبب افزایش نسبت

کلروفیل a به b گردید. در بین ترکیبات تیماری مورد مطالعه تیمار ۱۰ گرم در لیتر ساکارز در شرایط عدم تنش با میانگین ۲/۲۵ نسبت به شاهد ۲/۲۷ درصدی بیشتر بود و بالاترین مقدار را به نمایش گذاشت.



شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین نسبت کلروفیل a به b تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول‌پاشی ساکارز

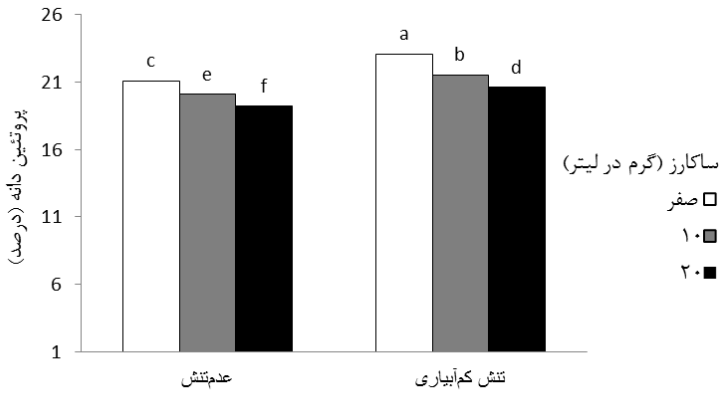
۴-۳- صفات کیفی

۴-۳-۱- درصد پروتئین دانه

همان‌گونه که در جدول پیوست ۶ ملاحظه می‌گردد اثر تنش، محلول‌پاشی ساکارز، محلول‌پاشی گلوکز و اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی ساکارز و اثر متقابل محلول‌پاشی ساکارز به‌همراه گلوکز معنی‌دار بودند.

شکل ۴-۲۴ اثر متقابل تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی ساکارز را بر درصد پروتئین دانه نشان می‌دهد، گیاهانی که در شرایط تنش کم‌آبی بودند نسبت به گیاهانی که در شرایط مشابه تحت تیمار عدم‌تنش قرار داشتند، درصد پروتئین بیشتری داشتند. در هر دو شرایط تنش و عدم تنش محلول‌پاشی ساکارز و افزایش غلظت آن سبب کاهش درصد پروتئین شد به گونه‌ای که درصد پروتئین در سطح صفر ساکارز در شرایط عدم‌تنش ۲۱/۰۵ درصد بود در حالی که این مقدار در تیمار ۲۰ گرم در لیتر برابر در همین شرایط

به ۱۹/۱۷ درصد رسید که حکایت از کاهش ۱/۸۸ درصدی در این صفت دارد. در شرایط تنش کم‌آبیاری نیز محلول‌پاشی با دو غلظت ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر ساکارز سبب کاهش قابل توجهی در درصد پروتئین

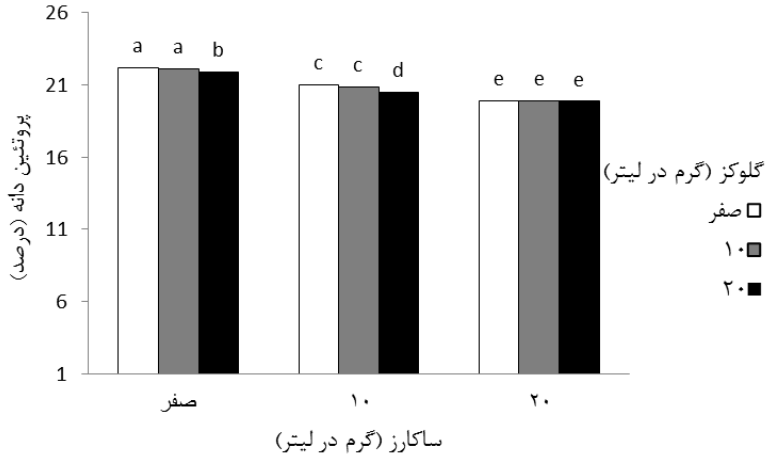


شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و محلول‌پاشی ساکارز

دانه گردید. مقدار این صفت در تیمار ۲۰ گرم در لیتر با ۲۰/۵۷ درصد حتی به‌طور معنی‌داری کمتر از گیاهان شاهد بود. کاهش میزان فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه‌ها کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پرکردن دانه‌ها و کاهش دوره پرشدن دانه‌ها از مهم‌ترین اثرات خشکی بر گیاه است (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). تنظیم اسمزی با ذخیره املاح محلول توسط سلول، می‌تواند پتانسیل آب سلول را کاهش داده و موجب ایجاد محیطی سازگار برای ماکرومولکول‌های سلول به‌ویژه پروتئین‌ها گردد (کافی، ۱۳۸۴). افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش به‌طور عمده مربوط به کاهش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه می‌باشد نه افزایش مطلق در میزان پروتئین (مک‌دونالد، ۱۹۹۲). بنابراین می‌توان گفت که در شرایط تنش، به واسطه‌ی کاهش فتوسنتز خالص و به تبع آن تکمیل نشدن وزن بالقوه دانه که عمدتاً این کاهش ناشی از ناحیه نشاسته می‌باشد، نسبت پروتئین به نشاسته در دانه افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان می‌دهد که

مکانیسم‌های ساخت نشاسته در دانه، حساستر از مکانیسم‌های ساخت پروتئین هستند، بنابراین در شرایط تنش خشکی افت سنتز نشاسته چشم‌گیرتر است (احمدی و بیکر،۲۰۰۰).

اثر دو جانبه ساکارز و گلوکز در شکل شماره ۴-۲۵ نشان داده شده است. در این شکل نیز کاهش درصد پروتئین دانه در اثر محلول‌پاشی ساکارز کاملاً مشهود است به‌طوری‌که در هر سه سطح گلوکز گیاهانی که تحت تیمار ۲۰ گرم در لیتر ساکارز قرار گرفته بودند کمترین درصد پروتئین دانه را دارا بودند. بیشترین مقدار پروتئین (۲۱/۱۵ درصد) مربوط به گیاهانی بود که فقط آب دریافت کرده بودند. هم در شرایط عدم حضور ساکارز و هم در غلظت ۱۰ گرم در لیتر ساکارز، افزایش غلظت گلوکز به ۲۰ گرم در لیتر موجب کاهش معنی‌دار در پروتئین دانه شد. همان‌طور که در شکل ۴-۲۷ و ۴-۸ ملاحظه می‌گردد استفاده از ساکارز و گلوکز سبب افزایش کربوهیدرات دانه گردید. از آنجایی که معمولاً رابطه معکوس بین کربوهیدرات و پروتئین دانه وجود دارد بنابراین کاهش پروتئین دانه در اثر محلول‌پاشی قندها مـی‌تواند به



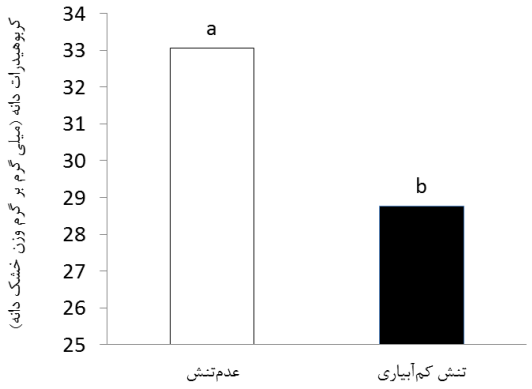
شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی با ساکارز و گلوکز

دلیل افزایش ذخایر کربوهیدرات دانه باشد.

۴-۳-۲- کربوهیدرات دانه

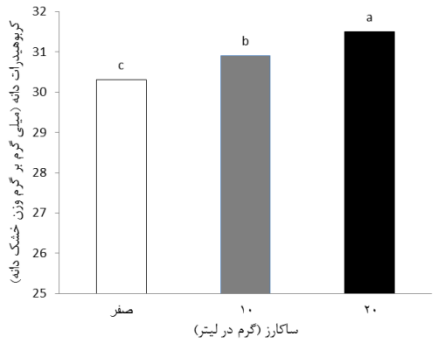
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر تنش کم‌آبیاری، اثر محلول‌پاشی ساکارز و همچنین محلول‌پاشی گلوکز بر میزان کربوهیدرات دانه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۶).

کربوهیدرات دانه در شرایط عدم‌تنش به‌طور متوسط ۳۳/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دانه و در شرایط تنش ۲۸/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دانه به‌دست آمد که حکایت از کاهش ۱۳/۰۱ درصدی در این صفت دارد (شکل ۴-۲۶).



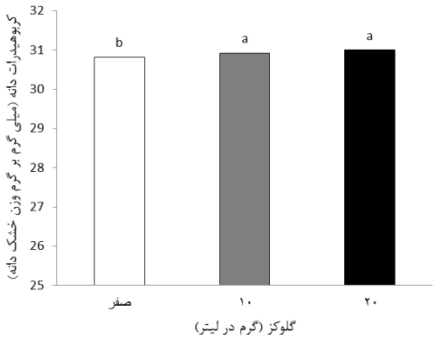
شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین کربوهیدرات دانه ساکارز تحت تأثیر تیمار تنش کم‌آبیاری

تأثیر محلول‌پاشی ساکارز در شکل ۴-۲۷ نشان داده شده است، محلول‌پاشی برگی ساکارز موجب افزایش میانگین کربوهیدرات دانه شد به‌گونه‌ای که بالاترین میزان کربوهیدرات دانه معادل ۳۱/۵۱ میلی-گرم بر گرم وزن خشک دانه در محلول‌پاشی با غلظت بالای ساکارز به‌دست آمد. حال آن‌که این مقدار در تیمار شاهد ۳۰/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دانه بود که مفهوم آن افزایش ۳/۹۳ درصدی در میزان کربوهیدرات دانه است. شایان ذکر است تیمار ۱۰ گرم در لیتر ساکارز نیز به‌طور معنی‌داری این صفت را افزایش داد.



شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین کربوهیدرات دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی ساکارز

گلوکز نیز همچون ساکارز موجب افزایش میزان کربوهیدرات دانه شد. البته این افزایش نسبت به ساکارز کمتر بود. اگرچه هر دو سطح گلوکز موجب افزایش معنی‌دار در میزان کربوهیدرات دانه شدند اما تفاوت معنی‌داری در میانگین مشاهدات تحت تیمار ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر گلوکز وجود نداشت (شکل ۴-۲۸).



شکل ۴-۲۸ مقایسه میانگین کربوهیدرات دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی گلوکز

پگتر و همکاران، (۲۰۰۵) در آزمایشی عنوان نمودند قندهای محلول نوعی از محافظت‌کنندگان اسمزی هستند که در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع می‌یابند و در تنظیم اسمزی نقش دارند. مهقانی (۱۳۹۱ د) در تحقیقی بر روی لوبیا چشم بلبلی گزارش نمود که در شرایط تنش محلول‌پاشی ساکارز قندهای محلول دانه افزایش داشت.

۴-۴- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق به‌طور خلاصه شامل موارد زیر است:

۱) تنش کم‌آبیاری موجب کاهش برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک ازجمله ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، وزن خشک گیاه، تعداد شاخه فرعی، عملکرد، پایداری غشاء پلاسمایی، محتوای آب نسبی برگ و قندهای محلول دانه گردید در حالی‌که درصد پروتئین دانه در اثر تنش افزایش یافت.

۲) محلول‌پاشی ساکارز کلیه صفات مورد مطالعه را افزایش داد اما درصد پروتئین را کاهش داد.

۳) اثر محلول‌پاشی گلوکز بر صفات کلروفیل b، کلرفیل کل، کاروتنوئید و نسبت کلرفیل a به b معنی‌دار نبود ولی بر سایر صفات مورد مطالعه را به‌جز پروتئین افزایش داشت.

۴) در شرایط عدم‌تنش صفاتی چون تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول، وزن خشک، کاروتنوئید و پروتئین از تیمار ۲۰ گرم در لیتر ساکارز بیشترین تأثیر را پذیرفتند.

۵) در شرایط تنش نیز در صفاتی چون تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول، وزن خشک، کلروفیل کل، کاروتنوئید و پروتئین تیمار ۲۰ گرم در لیتر ساکارز بیشترین تأثیر را داشت.

۴-۵- پیشنهادات

۱- این احتمال وجود دارد که پاسخ سایر گیاهان به محلول‌پاشی ساکارز و گلوکز متفاوت باشد، توصیه می‌شود این آزمایش روی سایر گیاهان نیز انجام شود.

۲- در این آزمایش ۲ غلظت از ساکارز و ۲ غلظت از گلوکز مورد مطالعه قرار گرفت، با عنایت به اینکه در اکثر نتایج به‌دست آمده بالاترین غلظت به‌کار رفته در محدوده این آزمایش مفید

واقع شد این احتمال وجود دارد که غلظت‌های بالاتر نیز اثر بهتری داشته باشد لذا پیشنهاد می‌شود طیف وسیع‌تری از غلظت‌های این مواد مورد بررسی قرار گیرند.

منابع

اردکانی، م.ر. ۱۳۸۷. اکولوژی. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران . چاپ دهم. ۳۴۰ صفحه.

امام، ی. ۱۳۷۴. فیزیولوژی تولید گیاهان زراعی گرمسیری. دانشگاه شیراز. ۳۰۵ صفحه.

امام، ی. و نیک نژاد، م. ۱۳۷۳. مقدمه ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۱ صفحه.

امیری، م.ب، رضوانی مقدم، پ.، احیایی، ح.ر. فلاحی، ج. و اقحوانی شجری، م. ۱۳۹۰. اثر تنش‌های اسمزی و شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دو گیاه دارویی آرتیشو (*Cynara scoolymus*) و سرخارگل (*Echinacea purpurea*). مجله تنش های محیطی در علوم زراعی. ۳(۲): ۱۷۶-۱۶۵

بابایی، ا. ۱۳۷۴. بررسی اثر تنش آب در مراحل رشد و نمو، کمیت و کیفیت عطرمایه و مقدار روغن سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم گیاهی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

بای بوردی، ا. و طباطبائی، ج. ۱۳۸۶. اثر محلول‌پاشی ساکاروز و اوره بر تشکیل میوه در بادام. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی ۲۱(۲):۱۳۳-۱۴۴.

برزعلی، م.، طهماسبی، ز.، پیر دشتی، ه.، قلی پور، ع. و موسوی، س.ر. ۱۳۸۳. ارزیابی و تعیین ضرایب همبستگی و برخی صفات زراعی ارقام گندم دوروم با عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی. چکیده مقالات هشتمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۵-۳ شهریور. دانشکده کشاورزی. دانشگاه گیلان.

برزگر، ا. و رحمانی، م. ۱۳۸۳. مطالعه اثر برخی تنش‌های محیطی بر تحریک جوانه‌زنی در گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis*). مجموعه چکیده مقالات دومین همایش گیاهان دارویی، تهران، دانشگاه شاهد. بهمن ماه. ص. ۶۷.

برومند رضازاده، ز. و کوچکی، ع. ۱۳۸۴. بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر زنیان، رازیانه و شوید به پتانسیل‌های اسمزی و ماتریک ناشی از کلرید سدیم و پلی‌اتیلن گلایکول در دماهای مختلف. پژوهش‌های زراعی ایران. ج.۳، ص -۲۱۷-۲۰۷.

جامی الاحمدی، م.، کامکار، ب.، مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۵. کشاورزی، کود و محیط زیست. چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

جلالی جواران، م. هاشم‌زاده، ح. موسوی، ا. ۱۳۸۰. بررسی تغییرات کمی و کیفی میزان کلروفیل و کاروتنوئید کلزای تراریخت شده با آنتی سنس ژن گلوتامین سنتتاز. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۸(۲):۱۰۷-۱۱۹.

جهان‌بین، ش.، طهماسبی سروستانی، ز.، مدرس ثانوی، س. ع. م. و کریم زاده، ق. ۱۳۸۲. اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه، برخی از اجزای عملکرد و شاخصه‌ای مقاومت در ژنوتیپ‌های جو لخت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۴: ۳۳- ۲۵.

حاجبی، ع. ح. و حیدری شریف‌آباد، ح. ۱۳۸۴. بررسی تأثیر خشکی بر روی رشد و گره زایی سه گونه شبدر. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۶۶: ۲۱-۱۳.

حسینی، ح. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی و شوری بر جوانه‌زنی اسفرزه. پژوهش‌های زراعی ایران، ۴ : ۲۳-۱۵.

حکم‌آبادی، ح.، ارزانی، ک. و دهقانی شورکی، ی. ۱۳۷۹. اثر محلول پاشی کربوهیدرات‌ها بر چند صفت کمی و کیفی پسته کله‌قوچی. ۱۶(۱): ۶۶ تا ۷۶.

خدابنده، ن. ۱۳۷۷. غلات. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ پنجم. ۵۳۷ صفحه.

خزاعی، ح.ر. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام مقاوم و حساس گندم و معرفی مناسب‌ترین شاخص-های مقاومت به خشکی. رساله دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۲۵ ص.

خزاعی، ح.ر. و کافی، م.۱۳۸۲. تأثیر تنش خشکی بر رشد و توزیع ماده خشک بین ریشه و بخش هوائی در ارقام مقاوم و حساس گندم . مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱(۱): ۴۳-۳۳.

خواجه‌پور، م.ر. ۱۳۷۳ اصول و مبانی زراعت. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان. ۴۱۲ صفحه.

رحیمیان مشهدی, ح. ۱۳۷۱. اثر تاریخ کاشت و رژیم آبیاری بر رشد وعملکرد زیره سبز. مجله دانش کشاورزی, ۳: ۴۶-۶۱.

رستگار، م.ع. ۱۳۸۱. زراعت عمومی. انتشارات برهمند. چاپ ششم. ۴۱۱ صفحه.

سپانلو، م. ق. و سیادت، ح. ۱۳۷۸. اثر تنش آبی بر خصوصیات جوانه زنی گندم . مجله علوم خاک وآب . ۱۳: ۹۷ – ۸۷.

سرمدنیا، غ.ح. و کوچکی، ع.، ۱۳۷۶. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد، ۴۲۰ صفحه.

سلطانی، ا. ۱۳۸۶. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۴۶ صفحه.

سی سه مرده، ع.، احمدی، ع.، پوستینی، ک. و ابراهیم زاده، ح. ۱۳۸۳. عوامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای کنترل کننده فتوسنتز و ارتباط آن با مقاومت به خشکی در ارقام گندم. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۵ (۱): ۱۰۶-۹۳.

شعبانی، ع.، کامگارحقیقی، ع.، امام، ی. و هنر، ت. ۱۳۸۹. اثر تنش آبی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و کیفیت کلزای پاییزه (*Brasica napus* L.) رقم لیکورد. ۱۲ (۴): ۴۰۹-۴۲۱.

صالحی ارجمند، ح. ۱۳۸۴. تأثیر تنش‌های محیطی در افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاهان. مجموعه مقالات همایش ملی توسعه پایدار گیاهان دارویی. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ص ۳۰۵ تا ۳۰۷.

صالحی ارجمند، ح. ۱۳۸۴. تأثیر تنش‌های محیطی در افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاهان. مجموعه مقالات همایش ملی توسعه پایدار گیاهان دارویی. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ص ۳۰۵ تا ۳۰۷.

صفرنژاد، ع.، صدر، ع. و حمیدی، ح. ۱۳۸۶. اثر تنش شوری بر خصوصیات مورفولوژی سیاه دانه (*Nigella sativa*) فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران. ۱۵: ۸۴- ۷۵.

علیزاده، ا. رابطه آب خاک و گیاه (ترجمه). نشر مشهد. ۷۴۴ صفحه.

کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، ا.، شریفی، ح. و گلدانی، م. ۱۳۷۴. فیزیولوژی گیاهی(جلد دوم)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۳۸۰ صفحه.

کوچکی، ع.، زند، ا.، بنایان اول، م.، رضوانی مقدم.، پ.، مهدوی دامغانی.، ع.، جامی الاحمدی، م. و وصال، س. ۱۳۸۹. اکو فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۳۴ صفحه.

کافی، م.، برزویی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع.، و نباتی، ج. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان تألیف). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد چاپ اول. ۵۰۲ صفحه.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، ع. ح. ۱۳۷۹. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ترجمه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۶۷ صفحه.

مشایخی، ک. و آتشی، ص. ۱۳۹۱. تأثیر محلول‌پاشی بور و ساکارز بر روی برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه توت‌فرنگی رقم کاماروسا. ج ۱۹. شماره ۴. ۱۷۱-۱۵۷.

مهقانی، ف. ۱۳۹۱ د. اثر محلول‌پاشی ساکارز و تنش کم آبیاری بر برخی خصوصیات کمی و کیفی لوبیا چشم بلبلی. پایان-نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

مهقانی، ف.، برادران فیروزآبادی، م.، غلامی، ا. و قربانی قوژدی، ح. ۱۳۹۱ الف. تاثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی ساکارز بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis L.*). اولین همایش ملی تنش‌های گیاهی. اصفهان ۱۰ و ۱۱ آبان.

مهقانی، ف.، برادران فیروزآبادی، م.، غلامی، ا. و قربانی قوژدی، ح. ۱۳۹۱ ج. تأثیر محلول‌پاشی ساکارز بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis L.*). در شرایط تنش کم‌آبیاری. دوازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات . کرج ۱۴ الی ۱۶ شهریور ۱۳۹۱.

مهقانی، ف.؛ برادران فیروزآبادی، م.؛ غلامی، ا. و قربانی قوژدی، ح. ۱۳۹۱ ب. تاثیرمحلول پاشی ساکارز بر بیوماس، مقدار آب نسبی و عملکرد لوبیا چشم بلبلی در شرایط تنش کم آبیاری (*Vigna sinensis* L.). همایش ملی محیط زیست و تولیدات گیاهی. ۱۵ و ۱۶ مهر ماه ۱۳۹۱.

مودی، ح. ۱۳۷۸. اثر تراکم گیاهی و نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد سیاه دانه. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۱۴ صفحه.

میرمحمدی میبدی، ع. م و قره یاضی،ب.۱۳۸۱. جنبه های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. چاپ اول. ۲۷۶ صفحه.

نوروزپور، ق. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۴. اثر دوره های مختلف آبیاری و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاه دانه. مجله پژوهشهای زراعی ایران . ۳(۲): ۳۰۵ تا ۳۱۵.

نوروزپور، ق. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۵. اثر فواصل مختلف آبیاری و تراکم بوته بر روغن و اسانس دانه سیاه‌دانه. مجله پژوهش و سازندگی. ۲(۷۳): ۱۳۸-۱۳۳.

نیک‌نژاد، م.، امام، ی. ۱۳۷۳؛ مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عمل‌کرد گیاهان زراعی. دانشگاه شیراز چاپ اول. ۵۷۱ صفحه.

هاشم‌زاده، ح. و همکاران ۱۳۸۰. بررسی تغییرات کمی و کیفی میزان پروتئین وکلروفیل و کاروتنوئید کلزای تراریخت شده با آنتی سنس ژن گلوتامین سنتتاز. چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۱۰۷-۱۱۹.

هاشمی دزفولی، ا.، کوچکی، ع. و بنایان، م. ۱۳۷۵. افزایش عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۷ صفحه.

وهاب‌زاده، ع.ح. و علیزاده، ا. ۱۳۷۳. آب، مایه حیات (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۵۷ صفحه.

یاوری، ن.، مصباح، ی. ۱۳۸۰. استفاده از مانیتول به عنوان عامل تنش خشکی در مرحله جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه چغندر قند در کشت درون شیشه. مجله چغندر قند.۱۷: ۴۳-۳۷.

Abildtrup, J. and Gylling, M. 2001 Climate change and regulation of agricultural land use: A literature survey on adaptation options and policy measures. Danish Institute of Agriculture and Fisheries Economics, Copenhagen, Denmark.

Ahmadi, A. and Baker, D.A. 2000. Stomatal and Non-Stomatal photosynthesis limiting factors in wheat in dry conditions. Iranian J. Agric. Sci. 31 (4): 825-813. [In Persian with English summary].

Ali, Q. and Ashraf, M. 2011. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of terhalose: Growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. J. of Agron. and Crop Sci. PP: 258-271.

Anderson, C.M. and Kohorn, B.D. 2001. Inactivation of arabidopsis SIP1 leads to reduced levels of sugars and drought tolerance. Plant Physiol. 158: 1215-1219.

Angadi, S., Entz, M.H. and Bullock, P. 2003. why crops produced the way they did in 2003- ability to handle drought and heat stress. University of Manitoba (ETD). 9-13.

Angadi, S.V., Cutforth, W., McConkey, B.G. and Gan, Y.T., 2003. Yield adjustment by canola under different plant populations in the semiarid prairie. Crop Sci. 43:1358–1366.

Anjum, Sh.A., Xie, X.Y., Wang, Ch.L., Saleem, M.F., Man, Ch. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Afric. J. of Agric. Res., 6: 2026-2032.

Anonymous, A. 1993. An introduction to flourescence measurements with the plant efficiency analyzer, Hansatech instruments Ltd., England.

Antolin, M.C., Yoller, J. and Sanchez-Diaz, M. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen – fixing alfalfa plants. Plant Sci. 107: 159-165.

AOAC, 2005. AOAC Methods-W. In: Horwitz (Ed.), Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th Ed. AOAC International, Gaithersburg MD, USA.

Arora, A., Sairam, R.K. and Srivastava, G.C. 2002. Oxidative stress and antioxidant system in plants. Plant Physiology 82: 1227-1237.

Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. and Exp. Bot., 59: 206–216.

Aspinall, D. and Paleg, L.G. 1981. Proline accumulation: Physiological aspects. paleg, L. G. and Aspinall, D. (eds.)**,** The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants pp. 205-241.

Atkinson, C.J. 1991. The flux and distribution of xylem sap calcium to adaxial and abaxial epidermal tissue in relation to stomatal behaviour, J. Exp. Bot. 42: 987-993.

Atta ur Rahman, Malik S, Hasan SS, Choudhary MI, Ni CZ and Clardy J. 1995. Nigellidine, a new indazole alkaloid from the seeds of *Nigella sativa*. Tetrahedron Lett. 1993-1996.

Babayan, VK., Kootungal, D. and Halaby, G.A. 1978. Proximate analysis, fatty acid and, amino acid composition of . Journal of Food Science. 43: 1315 -1319.(Persian)

Bai, L. and Sui, F. 2006. Effect of soil drought stress on leaf of maize. Pedosphere. 16: 326-332.

Bajji, M. Lutts, S. and Kinet, J.M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum Desf.*) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Sci. 160: 669-681.

Bakalova, S. Nedeva, D. and Mckee, J. 2008. Protein profiles in wheat seedlings subjected to dehydration stress. Appl. Ecol. and Environ. Res. 6: 37-48.

Banayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M. 2008. yield and seed quality of plantage ovata and Nigella sativa under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products. 27(1): 11-16.

Barros, J.F.C., Carvalho, M. and Basch, G. 2004: Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions. Europ. J. of Agron. 21: 347–356.

Bassim Atta, A. 2003: Some characteristics of nigella (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. Food Chemistry. 83:63–68.

Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B. 2010. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. Acta Physiol. Plant. DOI: 10.1007/s11738-010-0638-z.

Bewley, J.D. 1979. Physiological aspects of desiccation tolerance. Ann. Rev. of Plant Physiology. 30: 195-238.

Bhatia, I.S. and Bajaj, K.L. 1972. Tannins in black-plum (*Syzygium cumini* L.) seeds. Biochem. J. 128: 56 - 60.

Bittman, S. and Simpson, G.M. 1989. Drought effects on water relations of three cultivated grasses. Crop Sci. 29: 992–999.

Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagested, K. 2002. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress. Ann. of Bot. 91:179-194.

Blum, A. and Ebercon, A. 1980. Cell membrance stability as measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43-47.

Blum, A., Gozlan, G., Mayer, J. 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. Crop Sci. 21, 495-499.

Bohnert, H.J., Nelson, and D.E. Jensen, R.G. 1995. Adaptations to environmental stresses. Plant Cell. 1099-1111.

Bohnert, H.J., Nelson, D. and Jensen, R.G. 1999. Adaptation to environmental stresses. The Plant Cell, 7:1099-1111.

Bonnett, G.D. and Incoll, L.D. 1992. Effects on the stem of winter barley of manipulating the source and sink during grain- filling 1. Changes in accumulation and loss of mass from internodes, J. Exp. Bot., 44:75-82.

Bozhanova, V. and Dechev, D. 2010. Heritability of osmoregulation ability at durum wheat. Agric. Sci. Technol. 4: 169-173.

Brevedan, R.E. and Egli, D.B. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. Crop Sci. 43: 2083-2088.

Burce, J.A. 1991 Comparative responces of leaf conductance to humidity in single attached leaves. J. of Exp. Bot. 32:629-634.

Castrillo, M. and Turujillo, I. 1994. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivares of french bean plants under water stress and rewatering. Photosynthtica J. 30:175-181.

Chaves, M.M. and Oliveira, M.M. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: Prospects for water-saving agriculture. J. Exp. Bot. 55:2365-2384.

Close, T.J. 1996. Dehydrins: A commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. Physiol. Plant**,** 100:291-296.

Close, T.J. 1996. Dehydrins: Emergence of a bicemical role of a family of plant dehydration proteins. Physiol. Plant**,** 97:795-803.

Cosculleola, F. and Fact, J.M. 1992. Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield functions in respect to water using a line source sprinkler. Field Crops Abst. 93: 5611.

Cronic, C. and Massacci, A. 1996. Leaf photosynthesis under droghut stress. In: Baker, N.R. (ed.)**,** Photosynthesis and the environment 347-366. Kluwer Academic Publishing. Dordrecht-Boston-London.

Crowe, J.H., Hoekstra, F.A. and Crowe, L.M. 1992. Anhydrobiosis. Annu. Rev. Physiol. 54:579-599

Dale, R. and Daiels, A. 1995. A weather-soil variable for estimating soil moisture stress and corn yield. Agro, J. 87:1115-21.

D'antuono, F.L., Moretti, **A. and Lovato**, **F.S.A. 2002.** Seed yield, components, oil content and essential oil content and composition of Nigella sativa L. and *Nigella damascene* L., Industrial Crops and Products, 15:59-69

De, F. and Kar, R. K. 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiate*) under water stress induced by PEG-6000. Seed Sci. and Techno. 23: 301-304.

Delachiava, M. E. A. and De-Pinho, S. Z. 2003. Germination of Senna occidentalis link: seed at different osmotic potential levels. Brazilian J. of Biol. and Technol. 46:163-166.

Duke, J. A. 1982. Handbook of medicinal herbs. CRC press. Boca Raton, Florida.

FAO, 2005. The State of Food Insecurity in the World 2005.

FAO, 2008. Assessment of the World Food Security and Nutrition Situation. Committee on world food security , Thirty – fourth session, Rome.

Farahvash, F., Mirshekari, B. and Abbasi- Seyahjani, E. 2011. Effects of water deficit on some traits of three sunflower cultivars. Middle-East J. Scientific Res. 9(5): 584-587.

Farshadfar, E., Ghasempour, H. and Vaezi, H. 2008. Molecular aspects of drought tolerance in bread wheat (*T. aestivum*). Pak. J. Biol. Sci. 11(1): 118-121.

Fendina, I.S. Tsonev, T. and Guleva, E.L. 1993. The effect of pretreatment with praline on the responses of (*Pisum sativum* L.) to salt stress. Photosynthetica. 29:521-527.

Filippo, L., Moretti, A. and Lovat, A. 2002. Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. Indust. Crops Prod. 15: 59-69.

Fu, J. and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidant and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environ. and Exp. Bot. 45:105-114.

Galle, A., Florez-Sarasa, I., Thameur, A., Paepe, R., Flexas, J. and Ribas-Carbo, M. 2010. Effects of drought stress and subsequent rewatering on photosynthetic and respiratory pathways in *Nicotiana sylvestris* wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant. J. Exp. Bot. 61: 765-775.

Gan, S. and Amasino, R.M. 1997. Making sense of senescence. Plant Physiol. 113: 313-319.

Gan, Y. Angadi, S.V. Cutforth, H. Angadi V.V. and Mc Donald C.L. 2004. Canola and mustard responseto short periods of temperature and water stress at different developmental stages. Can. J. Plant Sci, 84: 697-704.

Geng D, Zhang S. and Lan, J. 2009. Analysis on chemical components of volatile oil and determination of thymoquinone from seed of *Nigella glandulifera*. Zhongguo Zhong Yao Za Zhi. 34 (22):2887 – 2890.

Ghasemi Firooz Abadi, S.R. 1995. Study of drought and Salt resistance for two range species Aeluropus littoralis and Puccinella distance, MSC. Project of range management, Natural resource faculty of Tehran university.

Ghosheh, A.O., Houdi, A.A. and Crooks, A.P. 1998. High performance liquid chromatographic analysis ofthe pharmacologically active quinines and related compounds in the oil of the black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 19: 757-762.

Ghosheh, O.A., Houdi, A.A. and Crooks, P.A. 1999. High performance liquid chromatographic analysis of the pharmacologically active quinones and related compounds in the oil of the black seed (*Nigella sativa* L.). J. of pharmaceutical and biomed. anal. 19(5):757-762.

Good, A.G. and Steven, T.Z. 1994. The effects of drought stress on free amino acid accumulation and protein synthesis in Brassica napus. Plant Physiol. 90: 909-914.

Gregersen, P.L. and Holm, P.B. 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat. Plant Biot. 5: 192-206.

Gui-Rui, Y., Wang, Q.F. and Zhuang, J. 2004. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. Plant Physiol. 161:303–318.

Gusegnova, I.M., Suleymanov, S. and Aliyev, J.A. 2006. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of Wheat genotypes differently toleran to water stress. Biochem., 71:223-228.

Hadley, P. and Sumner Field, R.J. 1983. Effect of temperature and photoperiod on reproductive development of selected grain Legume. Field Crops Abs. 19-43.

Haghparast, R. 1997. Select for drought stress tolerance on Wheat cultivars. M.Sc. thesis, Tabriz university. (In Farsi)

Haji Sharifi A. Black Cumin. In Secretes in Medicinal Plants (3rd ed) Hafez-e-Novin press. Tehran Iran. 2003, pp: 658 - 61. Jazayeri Gh A. Black Cumin. In Zaban-e khorakiha, volum 3, Amir kabir press. Tehran Iran. 2004, pp: 53 – 4.

Hanafi, M.S. and Hatem, M.E. 1991. Studies on the anti-microbial activity *Nigella sativa* seed (black cumin). J Ethnopharmacol 34: 275-278.

Hare, P.D. Cress, W.A. and Van Standen, J. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. Plant Cell Environ. 21:535–553.

Hauny, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidantion in theadaptation two season grasses to localized drought stress. Environ. and Exp. mental Bot., 45:105-114.

Hekmat Shoar, H. 1993. Plant physiology in hard conditions. Tabriz University Press, 320p. (In Farsi)

Hellubust, J.A. and Caraigie, J.S. 1978. Hand book of physiological methods, physiological and biochemical methods, Camb, Univ. Press.

Hendry, G. 1993. Evolutionary ori gins and natural functions of fructanc. New Phytologist, 123:3-14.

Herzog, H. 1987. Source and sink during the reproductive period of wheat. Development and its regulation with special reference to cytokinins. J. Phytopathol. 119 (4):371-376..

Hieng, B. Ugrinovich, K. Sustar-Vozlich, J. and Kidric, M. 2004. Different classes of proteases are involved in the response to drought of *Phaseolus vulgaris* L. cultivars differing in sensivity. Journal of Plant Physiology. 161: 519-530.

Hopkins, W.G. and Huner, N.P. 2004. Introduction to plant physiology (3 rd ed). John Wiely & Sons. Inc. New York. 560 p.

Hoshino, J.Y., Nonaka, M. and Oda, M. 1987. Physiological and ecological study on effect of cryoprolectant spray on cold hardiness of lettucc. Report of Rural. Dev. Admin. Hort. 29:1- 6.

Hosseinzadeh, H. and Parvardeh, S. 2004. Anticonvulsant effects of thymoquinone, the major constituent of *Nigella sativa* seeds, in mice. Phytomed. 11: 56 – 64.

Huang, J. and Redmann, R.E. 1995. Salt tolerance of hordeum and brassica species during germination and early seedling growth. Canadian Journal of Plant Science, 75: 815-819.

Hugh, J. and Richard, F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use effiiency and yield of maize. J. Agronomy. 95:688-696.

Ingram, J. and Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. and Molecu. Bio. 47: 377-403.

Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble in nodulated alfalfa(*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84: 55-60.

Iturbe Ormaetxe, I., Escuredo, P. R., Arrese-Igor, C. and Becana, M. 1998. Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat. Plant Physiol. 116: 173-181.

Jabbari, F. 1999. Plant reaction to drought stress, MSC. Seminar of range management

Jones, M. M., Osmond, C. B. and Turner, N. C. 1980. Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. Aust. J. Plant Physiol. 7: 193–205.

Jung, S. 2004. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of Arabidopsis thaliana subjected to drought. Plant Sci., 166(2): 466-459.

Kameli, A. and Lösel, D. M.1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. J. Plant Physiol. 145: 363–366.

Karimzadeh-Asl, K.H. Mazaheri, D. and Peyghambari, S.A. 2003. Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitative characteristics of three sunflower cultivar. Iranian J. Agric Sci. 34(2):293-301. (In Persian with English summary).

Kerepesi, H. and Galiba, G. 2000. Osmotic and salt stress induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedling. Crop Sci., 40: 482- 487.

Khajeh hosseini, M. and Powell, A. 2003. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of Soybean seed. Seed Sci. and Technol., 1:715 – 725.

Khalilvand, E., Yarnia, M., Deltalab, B. and Aghami, A. 2009. Effects of drought stress and plant density on yield and some morphological traits and Sunflower physiological. J. Agric. Sci. (Islamic Azad University Tabriz Branch). 11: 27-37. (In Persian with English summar).

Khan, M.G. Silberbush, M. and Lips, S.H. 1998. Response of alfalfa to potassium, calcium and nitrogen under stress induced by sodium chloride. Biol. Plant. 40: 2, 251-259.

Khan, S.A. and chattergee, B.N. 1982. Fertilizer use by (*Nigella sativa Linn*.) in west Bengal. Indian J. Agric. Sci. 52: 384-387.

Koc, E,. Islek, C. and Ustun, A.S. 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. GU J. of Sci. 23: 1-6.

Konopka, I., Tanska, M., Pszczolkowska, A., Fordonski, G., Kozirok, W. and Olszewski, J. 2007. The effect of water strees on wheat kernel size, color and protein composition. Polish J. of Natural Sci. 22: 157-171.

Kramer, P. J. 1983. Water relations in plants. Academic Press. pp.34,41.

Kriedman, P.E. 1986. Stomatal and photosynthetice limitations to leaf growth. Aust. J. of plant physiol. 13:15-31.

Kuchaki, E., Soltani, A. and Azizi, M. 1997. Plant Ecophysiology, Mashhad university press.

Kumar, A. and Elston, J. 1992. Genotypic differences in leaf water relations between *Brassica juncea* and B. *napus*. Ann. Bot. 70:3-9.

Kumar, A. and Singh, D.P. 1998. Use of physiological indices as screening technique for drought tolerance in oil seed Brassica species. Ann. Bot. 81:413-420.

Lafitte, R. 2002. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. Field Crops Res. 76:165-174.

Lawlor, D.W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25: 275-294.

Levitt, J. 1980. Responses of plant to environmental stresses. Vol. II. water, radiation, salt and other stress. Academic Press, New York. 607 p.

Liang, Y.C. 1999. Effects of silicon on enzyme activity, and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant Soil. 209: 217-224.

Liang, Z., Zhang, F., Shao, M. and Zhang, J. 2002. The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum* L.). Bot. Bull. Acad. Sinica. 43, 187-192.

Liu, F. and Stutzel, H. 2002. Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus spp*.) in response to soil drying. Eur. J. Agron. 16(2): 137-150.

Liu, J. and Zhu, J.K. 1998. A calcium sensor homolog required for plant salt tolerance. Sci., 280: 1943–1945.

Lo Bianco, R., Rieger, M. and Sung, S. J. S. 2000. Effect of drought on sorbitol and sucrose metabolism in sinks and sources of peach. Physiol. Plant. 108:71 –78.

Mansour, M.M.F. Salama, K., Ali, F. and Abou Hadid, A. 2005. Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. General and Appl. Plant Physiol. 31: 29–41.

Mansurifar, C., Shaban, M., Ghobadi, M. and Rostami Ajirlu, A. 2011: Effect of drought stress and N fertilizer on yield, yield components and grain storage proteins in chick pea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Afric. J. of Plant Sci. 5:634-642.

Marian, CO., Krebs, SL. and Arora, R. 2003: Dehydrin variability among Rhododendron spp: A25 kDa dehydrin is highly conserved and associated with cold acclimation across wide array of species. New Phytol. 161 : 773-780.

Martin, M., Micell, F., Morgan, J. A., Scalet, M. and Zerbi, G. 1993. Synthesis of osmotically active substances in winter wheat leaves as related to drought resistance of different genotypes. J. of Agron. and Crop Sci., 171: 176–184.

Martinez, D.E., Luquez, V.M., Bartoli, C.G. and Guiamét, J.J. 2003. Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). Plant Physiol.119: 1-7.

Mashhadian, NV. and Rakhshandeh, H. 2005. Antibacterial and antifungal of *Nigella sativa* extracts against S. aureus, P. aeruginosa and C. albicans. Pak. J. Med. Sci. 21: 47-52.

Mc Cree, K.J. and Richardson, S.G. 1987. Stomatal closure vs osmotic adjustment: A comparison of stress responses. Crop Sci. 24:539-543.

McDonald , G. K. 1992. Effects of nitrogen fertilizer on the gorowth, grain yield and grain protein concentration of wheat. Aust. J. Agric Res. 43:946-967.

Mendham, N.J. and Salisbury, P.A 1995. Physiology. Crop development. Growth and yield in: Kimbers D. and Mc Greagor. D. I (Eds). CAB international PP: 11-67.

Moadab Shabestari, M., and Mojtahedi M. 1990. Physiology of Agricultural Plants. Publication of Tehran University, Tehran, Iran 431 pp. (In Persian)

Monakhova, O.F. and Chernyadev, I.I. 2002. Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. App. Biochem. Microbiol. 38: 373-380.

Morikawa, T., Xu, F., Kashima, Y., Matsuda, H., Ninomiya, K. and Yoshikawa, M. **2004**. Novel dolabellane type diterpene alkaloidswith lipid metabolism promoting activities from the seeds of *Nigella sativa*. Org. Lett.; 6: 869 – 872.

Munns, R. and Weir, R. 1981. Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during mild water deficits at two light levels. Aust. J. Plant Physiol. 8: 93-105.

Narayanan, A. 1992. Nutritional approaches for drought management in agriculture crops. A review. Plant Physiol., 19: 59-64.

Nayyar, H. 2003. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in waterstressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. Environ. and Exp. Bot. 50: 253-264.

Nickavar, B., Mojab, F., Javidnia, K. and Amoli, MA. 2003 Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. from Iran. Z. Naturforsch. 58:629 – 631.

Noiraud, N., Delrot, S. and Lemoine, R. 2000. The sucrose transporter of celery: identifcation and expression during salt stress. Plant Physiol. 122:1447–1456.

Ober, E.S., Bloa, M.L., Clark, C.J.A., Royal, A., Jaggard, K.W. and Pidgeon, J.D. 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. Elsevier Sci. 10:231- 249.

Oneill, P.M., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. Crop Sci., 46:681-687.

Ort, D.R. 2001. When there is too much light. Plant Physiol. 125: 29-32

Pagter, M., Bragato, C. and Brix, H. 2005. Tolerance and physiological reseptionses of phramites australis to water deficit. Aquatic Bot. 81:285-299.

Paseban-Islam, B., Shakiba, M.R., Neyshabouri, M.R., Moghaddam, M. and Ahmadi, M.R. 2000. Evaluation of physiological indices as screening technique for drought resistance in oilseed rape. Proc. Pak. Acad. Sci. 37(2): 143-152.

Pastori, G.M. and Trippi, V.S. 1993. Cross resistance between water and oxide tive stress in Wheat leaves. Agri Sci., 20:289- 294.

Patakas, A., 2000. Changes in the solutes contributing to osmotic potential during leaf ontogeny in grapevine leaves. Am. J. Enol. Viticult. 51(3), 223-226.

Penuelas, J., Isla, R. Filella, I. and Araus, J.L. 1997. Visible and nearinfrared reflectance assessment of salinity effects on barley. Crop Sci. , 37:198- 202.

Pessarkli, M. 1999. Hand book of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc. 697 Pages.

Pierre, M. AND Savoure, A. 1990 Effects of water-stress and SO2 pollution on spruce endoproteases. Plant Physiol. Biochem. 28:95-104.

Pierre, M. and Savoure, A. 1990. Effects of water-stress and SO2 pollution on spruce endoproteases. Plant Physiol. Biochem. 28: 95-104.

Prochazka, S., Machaackova, I., kreekule, J. and Sebanek, J. 1998. Plant physiology. Academia. Praha. PP:484.

Puritch, G.S. and Barker, A.V. 1967. Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. Plant Physiol. 42: 1229-1238.

Purmousavi, S.M., Gluee, J., Daneshian, Basirani, N. and Jonubi, A. 2009. Effect of dung on quantitative and qualitative yield of soybean L.17 line under drought stress. Iranian. J. Agron-Plants Sci. 1: 133-145. (In Persian).

Rao, M.S.S. and Mendham, N.J. 1991. Soil-plant-water relations of oilseed rape (*Brassica napus* and *B.campestris*). Agric. Sci. Cam. J. 117: 197-205.

Rascio, A., Platani, C., Scalfati, G., Tonti, A. and Fonzo, N.D. 1994. The accumulation of solutes and water binding strength in durum wheat. Physiological Plant, 90:715–721.

Reddy, A. R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161: 1189-1202.

Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J. and Mohammad Abadi, A. A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Res. 3(1): 57-68 (In Persian).

Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Haloday, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotype differing in drought resistance. Crop Sci. 30:105-111.

Rodriguez, D.J., Romero-Garcia, J., Rodríguez-Garcia, R. and Sánchez, J.A.L. 2002. Characterization of proteins from sunflower leaves and seeds: Relationship of biomass and seed yield. Trends Crop New. 1: 143-149.

Roy-Macaulay, H., Zuily-Fodil, Y., Kidric, M., Pham, Thi, AT., Vieira da Silva, J. 1992. Effect of drought stress on proteolitic activities in Phaseolus and Vigna leaves from sensitive and resistant plants. Physiol. Plant**,** 85:90-96.

Sairam, R.K. and Srivastava, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum astivum* L. vaiation in hydrogen peroxide assumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. J. Agron. and Crop Sci., 186:63-70.

Sairam, R.K., Deshmukh, P.S. and Saxna, D.C. 1998. Role of antioxidant systemes in Wheat genotype tolerance to water stress. Biologia Plantrum, 41(3):387-394.

Salehi surmaghi MH. 2008. Nigella Sativa. In Herbal Medicine and Herbal Therapy, volum 2, Donyay Taghziah press. Tehran Iran. . pp: 216 - 9.

Sanchez, F.J., De Andres, E.F., Tenorio, J.L. and Ayerbe, L. 2003. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. Field Crop Res. 86: 81-90.

Sanchez-Rodrıguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L. and Ruiz, J.M. 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Sci. 178:30–40.

Sandhu, P. 1984. Effect of sowing dates, phosphorus, levels and herbicides on the response of rhizobium inoculation in Lentil. Lens Newsletter 11:35-42

Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Uragami, A. and Tokuda, S. 2004. Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. Horti. Sci.101: 349-357.

Schonfeld, M.A, Johnson, R.C, Carver, B.F. and Mornhinweg, D.W. 1988. Water relations winter wheat as drought resistance indicators. Crop Sci. 28: 526-531.

Schubert, S.R, Serray, E.P, Balzer M. and Mengel, K. 1995. Effect of drought stress on growth, sugar concentrations and amino acid accumulation in N2 fixing alfalfa (*Medicago sativa*). J. Plant. Physiol. 146: 541-546.

Schulze, E.E. 1986. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and inthe soil. Ann. Rev. Plant Physiol. 37: 247-279.

Seyyed, S.H. 1994. The effect of drought stress in physiological and agricultural aspects of wheat, MSC project of agriculture, Tehran university.

Shah S. and Sen Ray, K. 2003. Study on antioxidant and antimicrobial properties of black cumin (*Nigella sativa* L.), J. of Food Science and Technol. - Mysore, 40 (1): 70-73.

Shaheen, A., Fatma, M.R., Hoda, A., Habib, M. and Abdel baky, H. 2010. Nitrogen soil dressing and foliar spraying by suger and aminoasids as affected the growth, yield and its qulity of onion plant. J. of Ame. Sci. 6(8): 420 – 427.

Shir Mard Kermanshahi, M. 2003. Effects of reduced irrigation stress on some morphological and physiological traits on Sofflowr cultivars. M.Sc. thesis, Islamik Azad Uneversiy. Karaj Branch. (In Farsi).

Siddique, M.R.B. hamid, A and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin., 41:35-39.

Sinaki, J.M., Heravan, E.M., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, G. and Zarei, G. 2007. The Effects of Water Deficit During Growth Stages of Canola (*Brassica napus* L.). J. of Agric. and Environ. Sci., 2(4): 417-422.

Smirnoff, N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytol. 125: 27-58.

Sprent J. I. 1992. Effects on the fine structure of detached soybean nodules. New Phytol. 71: 443-450.

Svensson, J., Ismail, AM., Palva, ET. and Close, TJ. 2002. Dehydrins. In: K. B. Storey and J. M. storey (Eds.), Sensing Signaling and Cell Adaptation, Elsevier Science BV pp.155-171.

Takahash, Y. 1992. Evaluation of N fixation and N absorption activity by relative ureide method in field grown soybean plants with deep placement of coated urea. Soil Sci. Plant Nut. 38: 699-708.

Teulat, B., Monneveux, P., Wery, J., Borries, C., Souyris, I., Charrier, A. and This, D. 1997. Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. New Phytol. 137: 99–107.

Thomas Robertson, M.J., Fukai, S. and Peoples, M.B. 2004. The effect of timing and severity of water deficit on growth development, yield accumulation and nitrogen fixation of mung bean. Field Crops Res. 86(1): 67-80.

Tod G.W. and Basler, E. 1965. Fate of various protoplasmic constituents in droughted wheat plants. Phyton. 22 :79-85.

Vierstra, R.D. 1993. Protein degradation in plants. Annual Rev. of Plant Physi. and Plant Molecular Biology 44: 385-410.

Tsugane, K. Kobayashi, K. Niwa, Y. Ohba, Y. Wada, K. and Kobayashi, H. 1999. Arecessive Arabidopsis mutant that grows photo-autotrophically under salt stress shows enhanced active oxygen detoxification. Plant Cell. 11: 1195–1206.

Valentovic, P., Luxova, M. Kolarovic, L. and Gasparikova, O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize. cultivars. Plant Soil Environ. 52: 186-191.

Vasquez –Tello, A. , Zuili-Fudil, Y. , Phamthi, A.T. , Vieira, D.A. and Silva, J.B. 1990. Electrolyte and pi leakages and soluble sugar content as physiological tests 536 for screening resistance to water stress in Phaseolus and Vigna species. Journal of Exp. Bot. 41 (228): 188-194.

Vierstra, R.D. 1993. Protein degradation in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Mol. Biol. 44: 385-410.

Yang, J. and Zang, J. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. New Phytol. 169, 223-236.

Yassen, B.T. and Mamari, A.L. 1995. Further evaluation of the resistance of black barley to water stress. Agron. J. 174: 19-24.

Yordanov, I. , Velikova, V. and Tsonev, T. 2003. Plant response to drought and stress tolerance. Bulg. J. Plant Physiol. (Special Issue). 187-206.

Zang, J. , Nguyen, H.T. and Blum, A. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. Exp. Bot. 50: 291-302.

Zareh Chahouki, M.A. 2000. Drought stress in plants. NSC seminar of range management, Tehran university.

پیوست

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات ارتفاع بوته، وزن خشک کل، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته و عملکرد گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز.

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	وزن خشک	تعداد شاخه فرعی	تعداد کپسول در بوته	عملکرد
تکرار	۲	۲/۳۴	۴/۳۱	۱/۱۳	۰/۲۲	۲۵۶/۸۹
تنش (D)	۱	۳۳/۲۹ *	۱۱۴۱/۳۵**	۱۶/۹۷	۲۱/۰۷*	۴۷۲۶/۴۳**
خطای اول	۲	۱/۳۵	۳/۸۱	۰/۴۴	۰/۲۵	۳۷/۵۶
محلول پاشی ساکارز (S)	۲	۱۳۶/۳۶**	۳۴۸/۸۷**	۴۱/۱۰**	۷/۷۶**	۱۸۲۹/۱۷**
محلول‌پاشی گلوکز (G)	۲	۲۲/۰۱**	۱۵/۴۸**	۰/۲۲**	۰/۲۶**	۳۸/۲۹**
D × S	۲	۰/۷۶	۳/۶۸**	۱/۹۹**	۰/۱۵*	۱۱/۱۷
D × G	۲	۲/۰۶	۰/۱۶	۰/۱۵ *	۰/۰۳	۰/۵۴
S × G	۴	۵/۹۳*	۰/۳۴	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۷۹
D × S ×G	۴	۱/۷۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۱	۱/۰۴
خطا	۳۲	۱/۸۷	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۳/۶۶
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۷۵	۱/۷۹	۳/۸۳	۴/۱۹	۳/۷۳

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول پیوست ۲ - مقایسه میانگین ارتفاع بوته، وزن خشک کل، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته و عملکرد گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز

	تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد شاخه فرعی (در بوته)	تعداد کپسول (در بوته)
تنش کم‌آبیاری (روز)				
	۸	۲۴/۶۰ a	۵/۸۳ a	۵/۱۸ a
	۱۶	۲۳/۰۲ b	۴/۷۱ b	۳/۹۳ b
LSD 5%		۱/۳۶	۰/۷۷	۰/۵۸
غلظت ساکارز (گرم بر لیتر)				
	صفر	۲۰/۷۲ c	۳/۹ c	۳/۸۹ c
	۱۰	۲۴/۷۵ b	۵/۰۲ b	۴/۵۸ b
	۲۰	۲۵/۹۸ a	۶/۸۹ a	۵/۲۰ a
غلظت گلوکز (گرم بر لیتر)				
	صفر	۲۲/۷۳ c	۵/۱۶ b	۴/۴۴ b
	۱۰	۲۳/۷۸ b	۵/۲۶ ab	۴/۵۵ b
	۲۰	۲۴/۹۳ a	۵/۳۸ a	۴/۶۸ a
LSD 5%		۰/۹۳	۰/۱۴	۰/۱۳

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار است.

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات محتوای نسبی آب برگ و شاخص پایداری غشاء در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز

منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار آب نسبی برگ	شاخص پایداری غشاء
تکرار	۲	۰/۰۷	۰/۰۵
تنش (D)	۱	۲۵۲۹/۳۰**	۱۹۵۸/۶۷**
خطای اول	۲	۳/۸۶	۲/۹۸
محلول پاشی ساکارز (S)	۲	۴۷/۰۵**	۳۶/۴۵**
محلول‌پاشی گلوکز (G)	۲	۱/۵۳**	۱/۱۸**
D × S	۲	۰/۱۶	۰/۱۲
D × G	۲	۰/۰۳	۰/۰۲
S × G	۴	۰/۱۹	۰/۱۴
D × S ×G	۴	۰/۰۴	۰/۰۳
خطا	۳۲	۰/۱۱	۰/۰۹
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۴۸	۰/۴۹

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول پیوست ۴- میانگین مربعات کلرفیل a، b و کل، کاروتنوئید و نسبت کلروفیل a به b در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز

منابع تغییر	درجه آزادی	کلرفیل a	کلرفیل b	a+b	کاروتنوئید	کلرفیلa/b
تکرار	۲	۲۷/۹۵۰	۱/۷۷۷	۴۳/۸۲۰	۱۰/۳۱۳	۰/۱۸۲۲
تنش (D)	۱	۳۵۸/۰۵۲*	۳/۲۴۶	۴۲۹/۵۴۲*	۹۸/۴۹۶*	۴/۶۴۰۵*
خطای اول	۲	۱۱/۱۵۴	۱/۲۷۲	۳۹/۹۶۱	۴/۷۴۸	۰/۰۵۲۵
محلول پاشی ساکارز (S)	۲	۱/۹۱۶**	۰/۲۷۹**	۳/۶۱۹**	۰/۸۶۷**	۰/۰۰۴۰**
محلول‌پاشی گلوکز (G)	۲	۰/۰۶۳**	۰/۰۱۲	۰/۱۱۳	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۶
D × S	۲	۰/۲۱۴**	۰/۰۲۹	۰/۳۲۳**	۰/۰۷۵*	۰/۰۰۱۸*
D × G	۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷
S × G	۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۵
D × S ×G	۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷
خطا	۳۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۴۰	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۷۱۱	۱/۵۰۹	۱/۹۷۳	۱/۹۵۳	۱/۱۵۴۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدولپیوست ۵ - مقایسه میانگین کلرفیل a، b، و کل، کاروتنوئید و نسبت کلروفیل a به b در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز

تیمار	کلرفیل a	کلرفیل b	کاروتنوئید	کلرفیل a+b	کلرفیل a/b
	میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ				
تنش کم‌آبیاری (روز)					
۸	۱۶/۷۷ a	۷/۵۱	۱۱/۹۰ a	۲۴/۲۸	۲/۲۳ a
۱۶	۱۱/۶۲ b	۷/۰۲	۹/۲۰ b	۱۸/۶۴	۱/۶۵ b
LSD 5%	۳/۹	۱/۳۲	۴/۲	۵/۲۳	۰/۲۷
غلظت ساکارز (گرم بر لیتر)					
صفر	۱۳/۸۵ b	۷/۱۶ c	۱۰/۳۳ b	۲۱/۰۱ c	۱/۹۲ b
۱۰	۱۴/۲۱ a	۷/۲۷ b	۱۰/۵۵ a	۲۱/۴۵ b	۱/۹۵ a
۲۰	۱۴/۵۱ a	۷/۴۰ a	۱۰/۷۷ a	۲۱/۹۱ a	۱/۹۵ a
غلظت گلوکز (گرم بر لیتر)					
صفر	۱۴/۱۲ b	۷/۲۴	۱۰/۵۱	۲۱/۳۷	۱/۹۳
۱۰	۱۴/۲۰ a	۷/۲۷	۱۰/۵۷	۲۱/۴۹	۱/۹۴
۲۰	۱۴/۲۴ a	۷/۲۹	۱۰/۵۸	۲۱/۵۲	۱/۹۵
LSD 5%	۰/۰۷	۰/۰۸	۲/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۱

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار است.

جدول پیوست ۶- مقایسه میانگین مربعات پروتئین و کربوهیدرات دانه در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد پروتئین دانه	کربوهیدرات دانه
تکرار	۲	۱۴/۲۹	۳/۱۰۴
تنش (D)	۱	۳۴/۴۲*	۲۴۸/۸۴۲*
خطای اول	۲	۱/۰۳	۰/۰۱۴
محاول پاشی ساکارز (S)	۲	۲۱/۲۸**	۶/۳۳۱**
محلول‌پاشی گلوکز (G)	۲	۰/۳۷**	۰/۱۴۹**
D × S	۲	۰/۴۶**	۰/۰۲۶
D × G	۲	۰/۰۲	۰/۰۰۱
S × G	۴	۰/۰۹*	۰/۰۰۶
D × S ×G	۴	۰/۴۲	۰/۰۰۳
خطا	۳۲	۰/۰۳	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۷۷	۱/۴۳۲

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول پیوست ۷ - مقایسه میانگین پروتئین و کربوهیدرات دانه در گیاه سیاه‌دانه تحت شرایط تنش کم‌آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف ساکارز و گلوکز

تیمار	پروتئین (درصد)	کربوهیدرات (میلی‌گرم بر گرم وزن تر دانه)
تنش کم‌آبیاری (روز)		
۸	۲۰/۰۹ b	۳۳/۰۶ a
۱۶	۲۱/۶۹ a	۲۸/۷۶ b
LSD 5%	۱/۱۹	۰/۹۴
غلظت ساکارز (گرم بر لیتر)		
صفر	۲۲/۰۳ a	۳۰/۳۲ c
۱۰	۲۰/۷۷ b	۳۰/۹۱ b
۲۰	۱۹/۸۶ c	۳۱/۵۱ a
غلظت گلوکز (گرم بر لیتر)		
صفر	۲۱/۰۱ b	۳۰/۸۲ c
۱۰	۲۰/۹۴ a	۳۰/۹۲ b
۲۰	۲۰/۷۳ a	۳۱/۰۰ a
LSD 5%	۱/۱۱	۰/۹

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار است.

Abstract

Osmotic adjustment is one of the important parts of drought tolerance mechanism in plants. In water deficient, protection with carbohydrates from the cell by osmotic adjustment and maintenance torsesans, and protected the stability of the plasma membrane and proteins. In order to examination of sucrose sucrose and glucose foliar application effects on some agronomic and physiological traits in *Nigella sativa* L experimental was conducted at the agricultural Faculty of the University of Shahrood in 2013. A spilit plot factorial experiment on the basis of completely randomized block design was carried out in three repetitions.main factor Treatments consisted of two levels of irrigation every 8 days once (no stress) and every 16 days (water deficient steress) as the. and sub-factors were three sucrose foliar application (0, 10 and 20 g/l) and and glucose foliar application time (0, 10 and 20 g/l). Stress treatment was done after the establishment of plants and foliar application carbohydrates 30 days after planting. The results showed that water deficit stress decreased Biomass, Plant height, pods per plant, yield, brancher number, relative water content, stability of the plasma membrane, chlorophyll, protein percentage and grain soluble carbohydrates. Both the Applied of sucrose had significantly effect on all the studied traits. But the concentration of glucose in foliar application characteristics of chlorophyll a to b chlorophyll protein were not significant difference. And the attributes brancher number and, pods per plant, relative water content stability of the plasma membrane in 20 grams per liter with controls showed significant difference and the attributes chlorophyll b and carotenoids were not affected by this treatment.

Key words: water deficit stress, sucrose, Glucose, *Nigella sativa* L.

University of Shahrood

Faculty of Agriculture

The response of *Nigella sativa* L. to sucrose and glucose foliar application subjected to water deficient stress

Hamid Aghabaki

Supervisors:

Dr. Mehdi Baradaran Firouzabadi

Advisor

Dr. Ahmad Gholami

Dr. Mostafa Haydari

September 2015