بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شاهرود
دانشکده کشاورزی
گروه زراعت
پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی پاسخ گیاه بزرک به محلول‌پاشی با کلسیم تحت شرایط کم آبیاری

زهرا کیایی نژاد

استاد راهنما:

دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

اساتید مشاور:

دکتر مهدیه پارسائیان **دکتر ناصر فرخی**

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۹۳

پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: مهندسی کشاورزی
گروه : زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زهراکیایی‌نژاد
تحت عنوان: بررسی پاسخ گیاه بزرک به محلول‌پاشی با کلسیم تحت شرایط کم آبیاری

در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی: مهدی برادران فیروزآبادی		نام و نام خانوادگی: ناصر فرخی	
نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: مهدیه پارسائیان	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی: منوچهر قلی‌پور		نام و نام خانوادگی: کامبیز جهان‌بین	
نام و نام خانوادگی: مصطفی حیدری			

تقدیم به مهربان فرشتگانی که:

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

تقدیم به خانواده عزیزم

سپاسگزاری

حمد و ستایش خداوندی راست که برایش آغازی نیست، پروردگاری که بقایش را پایانی نباشد و آخرین سرانجامی که پایان دهنده‌ای برای سرانجامش نیست و شکر و سپاس بنام آن کرامت بی‌انتها و عزت نفس بی‌منتهی که اندیشه رهسپردن در مسیر ارتقاء علم و ایمان و معرفت را به انسان ارزانی داشت و به لطف و بنده نوازی، خلق را از بادیه گمراهی به سرحد هدایت رسانید.

نخست سزاوار است نهایت سپاس قلبی خود را تقدیم حضور استاد راهنمای گرامیم **جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی** گردانم که زحمات بی‌شائبه‌ای متحمل گشته و در تمامی این مدت با بردباری مرا راهنمای فرمودند و بی‌شک انجام مراحل مختلف این پایان نامه بدون حمایت و پشتیبانی ایشان امکان‌پذیر نبود. از اساتید مشاور محترمم **جناب آقای دکتر ناصر فرخی و سرکار خانم دکتر مهدیه پارسائیان** به دلیل مشاوره‌های بی‌منت و راهنمایی‌های ارزشمندشان ممنون و سپاسگزارم.

از **مادر** عزیز و بزرگوارم و همچنین جناب آقای مهندس **محمدرضا احمدیان**، که در طول مدت تحصیلم صبورانه و مهربانانه یاری‌ام نمودند و سختی راه را بر من هموار ساختند بی‌نهایت قدردانی می‌نمایم. از همدلی و مساعدت دوستان عزیز مخصوصا خانم‌ها **مهندس صفیه عرب، مهندس افسانه ابولی، مهندس مریم قائدی، مهندس مریم سیفی و مهندس صدیقه قریشی امیری** تشکر کرده و برای تمامی این عزیزان سلامتی و توفیق در مسیر زندگی را از خداوند بلند مرتبه مسئلت دارم.

زهرا کیائی نژاد

شهریور ۹۳

تعهد نامه

اینجانب زهرا کیایی‌نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی پاسخ گیاه بزرک به محلول‌پاشی با کلسیم تحت شرایط کم آبیاری** تحت راهنمائی دکتر مهدی برادران فیروزآبادی متعهد می شوم.

تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

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

تاریخ ۱۳۹۳/۶/۲۵

امضای دانشجو زهرا کیایی نژاد

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 صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.**

بررسی پاسخ گیاه بزرک به محلول‌پاشی با کلسیم تحت شرایط کم آبیاری

چکیده

به منظور بررسی پاسخ گیاه بزرک به محلول‌پاشی کلرید کلسیم تحت شرایط تنش کم‌آبیاری، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت اسپلیت‌پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح ۸ روز (عدم تنش)، ۱۲ روز (تنش ملایم) و ۱۶ روز (تنش شدید) به عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی کلرید کلسیم در پنج سطح (صفر، ۶ و ۱۲ میلی‌مولار در زمان گلدهی، ۶ و ۱۲ میلی-مولار در زمان پر شدن دانه) به عنوان فاکتور فرعی بودند. اولین و دومین محلول‌پاشی با کلرید کلسیم به ترتیب در ۳۴ (در زمان شروع گلدهی) و ۵۵ (در زمان شروع پر شدن دانه) روز پس از کاشت انجام شد. نتایج نشان داد، تنش کم آبیاری موجب کاهش محتوای آب نسبی و افزایش درصد پروتئین و میزان کلسیم برگ گردید. همچنین محلول‌پاشی کلرید کلسیم با غلظت ۱۲ میلی‌مولار در هنگام گلدهی سبب افزایش میزان کلسیم برگ، کلروفیل a و تعداد شاخه فرعی و با غلظت ۶ میلی‌مولار هنگام گلدهی موجب افزایش تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته شد. به لحاظ تاثیر گذاری بر ماده خشک کل، وزن خشک برگ و وزن خشک کپسول، محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار در شرایط تنش ملایم موجب بهبود این صفات نسبت به شرایط تنش شدید گردید. همچنین محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم در شرایط تنش ملایم موجب بهبود صفاتی از قبیل نسبت پوسته به دانه، تعداد دانه در کپسول و نسبت کلروفیل a/b گردید. در شرایط تنش شدید محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار هنگام پر شدن دانه موجب افزایش وزن خشک ساقه، تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن شد. همچنین صفات فیزیولوژیکی مانند پایداری غشاء پلاسمایی، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوتید و میزان پتاسیم برگ نیز در ترکیب همین تیماری افزایش داشته است. در نهایت در محدوده پژوهش انجام شده ترکیب تیماری عدم تنش و محلول‌پاشی ۱۲ میلی‌مولار کلسیم کلراید هنگام پر شدن دانه را می‌توان به عنوان بهترین ترکیب تیماری معرفی کرد.

کلمات کلیدی: بزرک، تنش کم آبی، کلسیم، محلول‌پاشی

لیست مقالات استخراج شده:

۱- اثر محلول‌پاشی کلسیم بر تجمع ماده خشک و اجزای عملکرد در گیاه بزرک (*Linum angustifolium*) تحت شرایط تنش کم‌آبیاری. سیزدهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۴-۶ شهریور.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه **۱**

فصل دوم: بررسی منابع **۵**

۲-۱- بزرک ۶

۲-۱-۱- تاریخچه ۶

۲-۱-۲- اهمیت و مصارف ۷

۲-۱-۳- گیاهشناسی ۸

۲-۱-۴- مراحل نمو ۱۰

۲-۱-۵- سازگاری ۱۱

۲-۱-۶- نیاز آبی ۱۲

۲-۲- اهمیت آب در گیاه ۱۳

۲- ۳- تنش خشکی ۱۴

۲-۳-۱ - تعریف تنش خشکی ۱۴

۲-۳-۲- تاثیر تنش خشکی بر پارامترهای رشدی و فیزیولوژیک گیاه ۱۶

۲-۳-۲-۱-تاثیر تنش خشکی بر فعالیت درون سلولی ۱۶

۲-۳-۲-۲-تاثیر تنش خشکی بر ارتفاع بوته ۱۸

۲-۳-۲-۳- تاثیر تنش خشکی بر کلروفیل و فتوسنتز ۱۹

۲-۳-۲-۴- تاثیر تنش خشکی بر محتوای آب نسبی برگ ۲۰

۲-۳-۲-۵- تاثیر تنش خشکی بر پایداری غشای پلاسمایی ۲۰

۲-۳-۲-۶- تاثیر تنش خشکی بر میزان پروتئین ۲۱

۲-۳-۳-۷- تاثیر تنش خشکی بر عملکرد ۲۳

۲-۴- نقش عناصر در تنش خشکی ۲۲

۲-۴-۱- کلسیم ۲۳

۲-۴-۱- ۱- نقش کلسیم در گیاه ۲۳
۲-۴-۱-۲- نقش کلسیم در تنش ۲۵
فصل سوم: مواد و روش‌ها ۲۷
۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش ۲۸
۳-۲- مشخصات طرح آزمایشی ۲۸
۳-۳- عملیات اجرایی ۳۱
۳-۳-۱- آماده‌سازی زمین ۳۱
۳-۳-۲- کاشت ۳۱
۳-۳-۳- داشت ۳۱
۳-۳-۴- اعمال تیمار ها ۳۱
۳-۳-۵- برداشت ۳۲
۳-۴- نمونه برداری جهت صفات مرفولوژیکی ۳۲
۳-۵- صفات زراعی و مرفولوژیک ۳۲
۳-۵-۱- وزن خشک ساقه، برگ و کپسول ۳۲
۳-۶- صفات فیزیولوژیک ۳۳
۳-۶-۱- مقدار نسبی آب برگ ۳۳
۳-۶-۲- پایداری غشای پلاسمایی ۳۳
۳-۶-۳- کلروفیل ۳۴
۳-۷- عملکرد و اجزای عملکرد ۳۵
۳-۸- صفات کیفی ۳۵
۳-۸-۱- درصد و عملکرد روغن ۳۵
۳-۸-۲- درصد پروتئین ۳۶
۳-۹- اندازه‌گیری کلسیم و پتاسیم برگ ۳۷
۳-۱۰- تجزیه و تحلیل داده‌ها ۳۸
فصل چهارم: بحث و نتایج ۳۹

۴-۱- ماده خشک ۴۰
۴-۱-۱- وزن خشک برگ ۴۰
۴-۱-۲- وزن خشک ساقه ۴۰
۴-۱-۳- وزن خشک کپسول ۴۱
۴-۱-۴- وزن خشک اندام هوایی ۴۲
۴-۲- صفات زراعی و مرفولوژیک ۴۳
۴-۲-۱- ارتفاع بوته ۴۳
۴-۲-۲- تعداد شاخه فرعی در بوته ۴۳
۴-۲-۳-تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته ۴۴
۴-۲-۶- نسبت پوسته به دانه ۴۵
۴-۳- عملکرد و اجزای عملکرد ۴۶
۴-۳-۱- تعداد کپسول در بوته ۴۶
۴-۳-۲- تعداد دانه در کپسول ۴۷
۴-۳-۳- وزن هزار دانه ۴۸
۴-۳-۴- عملکرد دانه ۴۹
۴-۴- صفات فیزیولوژیک ۵۰
۴-۴-۱- محتوای نسبی آب برگ ۵۰
۴-۴-۲- پایداری غشاء پلاسمایی ۵۲
۴-۴-۳- کلروفیل و کارتنوئید ۵۳
۴-۵- صفات کیفی ۵۹
۴-۵-۱- درصد پروتئین دانه ۵۹
۴-۵-۲- درصد روغن دانه ۵۹
۴-۵-۳- عملکرد روغن ۶۰
۴-۵-۴- میزان کلسیم برگ ۶۱
۴-۵-۵- میزان پتاسیم برگ ۶۲

۴- ۶- نتیجه‌گیری کلی ۶۳
۴- ۷- پیشنهادات ۶۴
منابع ۶۵
پیوست ۷۷

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده ۳۰

شکل ۴- ۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۴۰

شکل ۴- ۲- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۴۱

شکل ۴- ۳- مقایسه میانگین وزن خشک کپسول تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۴۲

شکل ۴- ۴- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۴۳

شکل ۴- ۵- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم ۴۴

شکل ۴- ۶- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی فرعی تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم ۴۵

شکل ۴-۷- مقایسه میانگین نسبت پوسته به دانه تحت تاثیر ترکیبات تیماری حلصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۴۶

شکل ۴- ۸- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۴۷

شکل ۴- ۹- مقایسه میانگین تعداد دانه در کپسول تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۴۸

شکل ۴- ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۵۰

شکل ۴- ۱۱- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ تحت تاثیر سطوح تنش کم آبیاری ۵۱

شکل ۴- ۱۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم ۵۲

شکل ۴- ۱۳- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۵۳

شکل ۴- ۱۴- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم ۵۴

شکل ۴- ۱۵- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۵۵

شکل ۴- ۱۶- مقایسه میانگین نسبت کلروفیل a/b تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۵۶

شکل ۴- ۱۷- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۵۷

شکل ۴- ۱۸- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۵۸

شکل ۴- ۱۹- مقایسه میانگین درصد پروتئین تحت تاثیر سطوح تنش کم آبیاری ۵۹

شکل ۴- ۲۰- مقایسه میانگین عملکرد روغن تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۶۰

شکل ۴- ۲۱- مقایسه میانگین میزان کلسیم برگ تحت تاثیر سطوح تنش کم آبیاری ۶۱

شکل ۴- ۲۲- مقایسه میانگین میزان کلسیم تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم ۶۲

شکل ۴- ۲۳- مقایسه میانگین میزان پتاسیم برگ، تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم ۶۳

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۳-۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۲۹

جدول ۳-۲- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش ۳۰

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک برگ، ساقه، کپسول و وزن خشک کل، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۷۸

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ، ساقه، کپسول و وزن خشک کل، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۷۸

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد شاخه فرعی فرعی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۷۹

جدول پیوست ۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد شاخه فرعی فرعی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۷۹

جدول پیوست ۵- میانگین مربعات نسبت پوسته به دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۰

جدول پیوست ۶- مقایسه میانگین نسبت پوسته به دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۰

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۱

جدول پیوست ۸- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۱

جدول پیوست ۹- میانگین مربعات محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشاء پلاسمایی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۲

جدول پیوست ۱۰- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۲

جدول پیوست ۱۱- میانگین مربعات کلروفیل و کاروتنوئید برگ، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۳

جدول پیوست ۱۲- مقایسه میانگین کلروفیل و کاروتنوئید برگ، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۳

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات درصد پروتئین، درصد روغن و عملکرد روغن، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۴

جدول پیوست ۱۴- مقایسه میانگین درصد پروتئین، درصد روغن و عملکرد روغن، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۴

جدول پیوست ۱۵- میانگین مربعات میزان کلسیم و پتاسیم برگ، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۵

جدول پیوست ۱۶- مقایسه میانگین میزان پتاسیم، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم ۸۵

فصل اول

مقدمه

رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق دنیا توسط تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده متعدد محدود می‌گردد. به همین علت، اختلاف معنی‌داری بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه محصولات زراعی دیده می‌شود. چنانچه تنش‌های محیطی حادث نمی‌شدند، عملکردهای واقعی باید برابر عملکردهای پتانسیل گیاه می‌بود؛ در حالی که در بسیاری از گیاهان زراعی متوسط عملکرد گیاهان کمتر از ۲۰ —۱۰ درصد پتانسیل واقعی عملکرد آنان است (قربانی قوژدی و لادن مقدم، ۱۳۸۴).

تنش خشکی از مهمترین و گسترده‌ترین تنش‌های محیطی است که بر رشد و تولید گیاهان زراعی تاثیر منفی می‌گذارد. در کل اراضی قابل کشت دنیا حدود ۲۶ درصد با تنش خشکی مواجه هستند. در معمولی‌ترین حالت، تنش خشکی از دیدگاه مترولوژی بصورت یک دوره‌ی زمانی بدون باران کافی توصیف می‌شود که در آن سلول‌ها از حالت آماس خارج شده باشند. دامنه تنش آبی از کاهش جزئی پتانسیل آب در اواسط روز تا پژمردگی دائم متغیر است. به عبارت ساده‌تر زمانی خشکی روی می‌دهد که سرعت تعرق بیش از میزان جذب آب باشد. گیاهان زراعی در طی مواجه شدن طولانی مدت با تنش خشکی ممکن است به‌طور کامل از بین رفته و یا مقدار محصول تولیدی آن‌ها به‌شدت کاهش یابد (حیدری، ۱۳۸۶).

حدود یک سوم اراضی جهان با کمبود بارندگی مواجهند و نیمی از این اراضی دارای بارندگی سالیانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشند. به طور کلی مناطق خشک و نیمه خشک جهان وسعتی در حدود ۴۴/۷ میلیون کیلومتر مربع را شامل می‌شوند که حدود ۳۹ درصد از این مساحت جزء مناطق خشک محسوب می‌شود و قسمت عمده آن برای زراعت مساعد نیست (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). در کشور ما نیز به جز سواحل دریای خزر و قسمت‌های کوچکی از شمال غربی کشور بقیه مناطق جزء نقاط خشک و نیمه خشک محسوب می‌گردند و این در حالی است که مناطق خشک کشورمان نسبت به مناطق نیمه خشک آن، از وسعت بیشتری برخوردار است.

بررسی اثرات تنش خشکی بر گیاهان از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است و با توجه به اینکه گیاهان غیر متحرک هستند، نمی‌توانند از تنش آبی مانند روشی که ارگانیسم‌های متحرک دارند، فرار کنند، سعی به سازگار شدن با شرایط نامساعد محیطی دارند (مجد و همکاران، ۱۳۸۸).

دانه‌های روغنی به عنوان یکی از مهمترین منابع غذایی مردم مطرح هستند. لذا توسعه کشت دانه‌های روغنی و گسترش تحقیقات در این زمینه لازم به نظر می‌رسد. دانه‌های روغنی و فرآورده‌های آن‌ها به دلیل خواص غذایی و مواد سرشار انرژی موجود در آن‌ها بسیار سودمندند. روغن‌های گیاهی دارای مزایای ویژه‌ای هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به قابلیت تجدید و تجزیه بیولوژیکی آن‌ها (سازگاری با محیط) اشاره نمود. این روغن‌ها همچنین خواص بیماری‌زایی و آلرژی‌زایی کمتری دارند (احمدی، ۱۳۷۸). از طرفی افزایش جمعیت، بهبود سطح تغذیه و جایگزین شدن روغن‌های نباتی به ویژه مایع به جای روغن‌های حیوانی جامد همراه با افزایش مصرف پروتئین‌های گیاهی، تکاپو برای دستیابی به منابع جدید انرژی را افزایش داده است (اهدایی، ۱۳۶۵). دانه‌های روغنی همچنین دارای مقدار قابل توجهی پروتئین، هیدرات کربن، ویتامین و مواد معدنی می‌باشند. کنجاله آن‌ها نقش مهمی در رفع سوء تغذیه و تامین کالری مورد نیاز توده‌های انسانی و دام‌ها دارد. ترکیب و کیفیت دانه‌های روغنی و فرآورده‌های آن‌ها به عوامل مختلف مانند ژنوتیپ، فصل، مکان کاشت، بلوغ دانه، نوع عملیات کشاورزی و غیره بستگی دارد. شناخت و بهینه‌سازی این عوامل می‌تواند کمک شایانی به رفع نیازهای داخلی روغن‌های گیاهی نماید و واردات آن‌ها را کاهش دهد. بدیهی است این امر مستلزم برنامه‌ریزی همه جانبه در زمینه حمایت از توسعه کشت دانه‌های روغنی است (احمدی، ۱۳۷۸).

بزرک یکی از گیاهان زراعی مفید است که در زمینه تولید روغن‌های گیاهی، الیاف و تامین علوفه کاربرد دارد (ایران‌نژاد، ۱۳۸۶). علاوه بر روغن، اخیرا به کاربرد داروئی و نیز غذایی آن نیز توجه زیادی شده است. از مکان‌های کشت بزرک در ایران اطلاعی در دسترس نیست و چنانچه کشت بزرک به صورت

زراعت فرعی و در مساحت‌های کوچک مرسوم باشد، از توده‌های محلی برای این منظور استفاده می‌شود. مطالعات وسیعی برای بررسی سازگاری واریته‌های بزرک در ایران بعمل نیامده است (خواجه‌پور، ۱۳۸۶). بنابراین با در نظر گرفتن اهمیت تولید روغن‌های گیاهی به ویژه روغن گیاه بزرک انجام هر گونه تحقیق در زمینه تنش خشکی و همچنین افزایش سطح زیر کشت این گیاه لازم و ضروری می‌باشد.

گیاهان در هنگام تنش خشکی با تغییراتی که در برخی از خصوصیات خود ایجاد می‌کنند، به تنش پاسخ می‌دهند. تجمع مواد محلول، مانند ترکیبات آلی، قندهای محلول و عناصر معدنی راهی برای حفظ آماس سلول است (سانچز و همکاران، ۲۰۰۳). از جمله عناصر متعددی که دارای نقش کلیدی و محافظتی در شرایط تنش هستند می‌توان به پتاسیم، روی، منگنز، مس و کلسیم اشاره کرد. با توجه به نقش مهم تغذیه‌ای عنصر کلسیم برای گیاه و همچنین وجود آن در ساختارهای حیاتی گیاه، این گونه استنباط می‌شود که کلسیم بتواند پس از ورود به گیاه در شرایط تنش رشد گیاه را بهبود بخشد و پر شدن دانه را حمایت کند. همچنین در شرایط تنش به عنوان یک ماده محافظت کننده عمل کند و از طریق تنظیم اسمزی و کاهش هزینه تولید متابولیت‌ها، اثرات تنش را تخفیف دهد.

اهداف این تحقیق شامل موارد زیر است:

۱- بررسی تاثیر کلسیم بر خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک بزرک در شرایط تنش کم آبی و عدم تنش.

۲- مقایسه تاثیر محلول‌پاشی کلسیم در غلظت‌های مختلف بر پارامترهای کمی و کیفی بزرک در شرایط تنش کم آبی و عدم تنش.

۳- بررسی کلی تاثیر تنش کم آبی بر رشد و عملکرد بزرک.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- بزرک

۲-۱-۱- تاریخچه

کتان روغنی یا بزرک، گیاهی قدیمی است که به طور وحشی در آسیای غربی می‌روید. کشت آن ۶۰۰۰-۴۰۰۰ قبل از میلاد مسیح متداول بوده است و تصور می‌شود که مصری‌ها ابتدا بزرک را برای تهیه روغن کشت می‌نمودند. نمونه‌های وحشی آن در غرب ایران و سواحل مدیترانه شناسایی شده‌اند. کشت این گیاه در قفقاز و خاور دور متداول بوده است و از ساقه‌های آن استفاده می‌شد. از سال ۱۸۰۵ کشت بزرک جهت استخراج روغن در اروپا رواج پیدا کرد. اولین بزرک که در ناحیه مدیترانه کشت گردید، *Linum angustifolium* چند ساله بود که از جزایر قناری و منطقه و مدیترانه تا غرب ایران (به‌جز مصر) گسترش یافته بود. واریته‌های آن شامل گیاهان یکساله، دوساله، یک ساقه، چند ساقه، کتان برگ ریز با یک متر طول، کتان برگ بزرگ و غیره بوده است. در حال حاضر کتان زراعی یا بزرک *(Linum Usitatissimum)* جایگزین شده است (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

کشت بزرک از قدیم‌الایام در ایران انجام شده است و همچنان به‌عنوان زراعت فرعی مورد کشت می‌باشد. از سطح زیر کشت بزرک در ایران طی سال‌های اخیر اطلاعی در دسترس نیست. سطح زیر کشت بزرک را در سال ۱۳۵۵ حدود ۱۴۰۰۰ هکتار با عملکرد دانه حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار تخمین زده‌اند. پتانسیل عملکرد دانه بزرک به بیش از ۳ تن در هکتار می‌رسد. اگرچه عملکردهای دانه بیش از ۱/۵ تن در هکتار مطلوب است. ولی به‌طور میانگین از هر هکتار مزرعه تولید بزرک حدود ۸۰۰ کیلوگرم دانه در هکتار انتظار می‌رود (خواجه‌پور، ۱۳۸۶).

۲-۱-۲- اهمیت و مصارف

استفاده از بزرک به‌عنوان گیاه روغنی در آسیا، کشورهای آمریکایی و اروپایی رواج زیادی داشته است. اگرچه در اروپا مساحت زیر کشت آن متغیر بوده است ولی در سال ۱۹۹۰ میلادی مساحت زیر کشت جهانی بزرک بیش از ۴۴۶۷۰۰۰ هکتار بوده است که سهم اروپا از آن فقط ۲۵۲۰۰۰ هکتار می‌باشد. کشورهای مهم تولید کننده بزرک، کانادا، آرژانتین، هندوستان و چین می‌باشد (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

دانه ارقام صنعتی بزرک دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین پر کیفیت و ۳۰ تا ۴۵ درصد روغن خشک شونده با ضریب یدی ۱۷۵ تا ۱۹۰ می‌باشد. روغن حاصل از ارقام صنعتی بزرک تقریبا حاوی ۱۰ درصد اسیدهای چرب اشباع (بیشتر از همه اسید استئاریک)، ۲۰ درصد اسید اولئیک، ۲۰ درصد اسید لینولئیک و ۴۵ تا ۶۰ درصد لینولنیک می‌باشد. وجود مقدار زیادی اسیدهای چرب غیر اشباع چند باندی در روغن بزرک صنعتی آن را برای صنایع رنگ‌سازی، ورنیس، مرکب چاپ، پارچه ضد آب، صابون و کف‌پوش مناسب ساخته است. روغن ارقام صنعتی بزرک در اثر مجاوت با هوا با سرعت زیادی اکسیده می‌شود و مناسب طبّاخی نیست. کنجاله بزرک ۳۵ تا ۳۷ درصد پروتئین دارد و می‌تواند به‌عنوان مکمل پروتئین در غذای نشخوارکنندگان مورد استفاده قرار گیرد.

دانه ارقام صنعتی بزرک از گیاهان داروئی بسیار قدیمی به‌شمار می‌رود. دانه بزرک از لحاظ پروتئین، فیبر، لیگنین، ویتامین‌ها، عناصر غذایی و اسیدهای چرب ضروری برای انسان بسیار غنی می‌باشد. دانه تازه بزرک را می‌توان کاملا خرد کرد و در غذاهای مختلف وارد ساخت. می‌توان دانه بزرک را مورد تغذیه جوجه قرار داد و از بعضی اثرات مفید داروئی آن از طریق گوشت جوجه بهره برد. ظاهرا دانه

بزرک در کاهش احتمال ابتلا به سرطان موثر است. روغن موجود در دانه ارقام صنعتی به دلیل داشتن اسید آلفا لینولنیک نقش مهمی در کاهش کلسترول نوع بد (LDL) و تری‌گلیسرید خون دارد.

بقایای بزرک نیز می‌تواند مورد تغذیه دام قرار گیرد. از الیاف بزرک برای تولید کاغذهای ظریف و محکم و تهیه الیاف لفاف جهت ساختن مبل و تشک استفاده می‌شود. مهمترین کاربرد الیاف بزرک، تولید کاغذ سیگار است. از الیاف کتان برای تولید پارچه‌های ظریف و پردوام، به‌خصوص ملافه استفاده می‌شود (خواجه‌پور، ۱۳۸۶).

۲-۱-۳- گیاه‌شناسی

بزرک با نام علمی *Linum usitatisimum* گیاهی است یک ساله از تیره *Linaceae*، دیپلوئید با ۱۸ جفت کرموزوم (۲n =۳۶) که به صورت بوته ای ایستاده رشد می‌کند. طول دوره رشد در کشت بهاره ۹۰ تا ۱۵۰ روز و در کشت پاییزه تا ۲۵۰ روز می‌رسد (خواچه‌پور، ۱۳۸۶).

بزرک دارای سیستم ریشه‌ای قوی نیست. ریشه راست و مستقیم در مراحل اولیه رشد با سرعت به عمق خاک نفوذ می‌کند. رشد عمقی آن یک متر و رشد جانبی آن ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. سیستم ریشه اهمیت زیادی در رابطه با مقاومت گیاه نسبت به خشکی دارد. بزرک‌های دانه درشت سیستم ریشه‌ای قوی با رشد عمقی بیشتری را نسبت به ارقام دانه ریز دارا هستند. البته همیشه سیستم ریشه‌ای قوی موجب افزایش مقاومت به خشکی گیاه نمی‌شود. کشت زود هنگام و روز کوتاهی، رشد ریشه را تقویت و مقاومت به خشکی را افزایش می‌دهد.

گیاه بزرک اغلب تک ساقه است که در بخش بالائی سطح خاک کم و بیش انشعاب ایجاد می‌گردد. طول ساقه بزرک بین ۲۰ تا ۱۶۰ سانتی‌متر است. رنگ ساقه سبز روشن تا سبز تیره تغییر می‌کند. برگ-های این گیاه کوچک، باریک و نوک تیز و بدون دمبرگ است و برگ در محل اتصال به ساقه کمی باریک

می‌شود. روی برگ‌ها توسط موم پوشیده شده است. طول برگ‌ها ۲ تا ۳ سانتی‌متر است. برگ‌ها روی ساقه به‌طور متناوب قرار گرفته‌اند و دارای سه رگبرگ می‌باشند که رگبرگ میانی برجسته است. تعدادی از برگ‌ها در میان خوشه گل‌ها واقع هستند.

آرایش گل در بزرک به صورت خوشه‌ای باز است. گل آذین از یک محور اصلی تشکیل شده است که منتهی به یک گل می‌شود و از روی این محور اصلی محورهای فرعی به وجود می‌آید و در انتهای هر انشعاب فرعی گل‌ها مستقر هستند. طول گل‌ها حدود یک سانتی‌متر است. هر گل دارای پنج کاسبرگ شامل دو کاسبرگ صاف بدون کرک خارجی و سه کاسبرگ بزرگ داخلی با لبه‌های نازک برنده، پنج گلبرگ جدا از هم به رنگ‌های صورتی، آبی، ارغوانی و سفید، پنج پرچم دارای پنج میله است، که طول هر کدام ۴ میلی‌متر، متصل و به شکل حلقه‌ایی با رنگ‌های سفید مایل به آبی تا ارغوانی، نوک تمایل به صورتی تا آبی روشن با اتصال قاعده و به شکل نعلبکی که تخمدان را احاطه کرده، می‌باشد. تخمدان پنج خانه‌ای و مادگی دارای پنج خامه پنج‌تایی و درازای آن‌ها پنج میلی‌متر، و رنگ آن مایل به ارغوانی است. گل‌ها هنگام طلوع آفتاب باز و گرده آزاد می‌شود و گلبرگ‌ها قبل از ظهر همان روز می‌ریزند. بزرک گیاهی خودگشن است. البته بسته به رقم، فصل و حشرات، تا ۲ درصد دگرگشنی مشاهده می‌شود.

تخمدان بزرک دارای پنج خانه و در هر خانه دو بذر موجود است. لذا کپسول این گیاه نیز پنج خانه‌ای و در صورت بارور شدن کلیه تخمک‌ها، در هر کپسول ده عدد بذر و یا ۵ تا ۹ بذر موجود است. کپسول‌ها به‌صورت شکوفا و ناشکوفا می‌باشند. تعداد کپسول به فاصله بین گیاهان، انشعابات و طول زمان گل‌دهی بستگی دارد (ایران‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۱-۴- مراحل نمو

نمو بزرک را می‌توان به مراحل رویشی، گل‌دهی و رسیدگی تقسیم نمود. طول این مراحل به رقم و شرایط محیطی بستگی زیادی دارد. دمای بالا، تنش رطوبتی و بیماری سبب کوتاهی دوره رشد می‌شود. در صورت فراوانی رطوبت و حاصلخیزی خاک، ساقه‌ها سبز باقی می‌مانند و گیاه به رشد خود طی دوران رسیدگی دانه ادامه می‌دهد و مشکلاتی را در برداشت به‌وجود می‌آورد. در شرایطی که طول دوره رشد گیاه ۹۰ تا ۱۲۵ روز است، طول دوره رویشی از ۴۵ تا ۶۰ روز، گل‌دهی از ۱۵ تا ۲۵ روز و رسیدگی از ۳۰ تا ۴۰ روز متغیر است. رسیدگی هر کپسول معمولا ۲۰ تا ۲۵ روز پس از باز شدن گل مربوطه اتفاق می-افتد. مراحل نمو بزرک را ممکن است با توجه به مسائل تصمیم‌گیری‌های زراعی به مراحل زیر تقسیم نمود.

۱- سبز شدن با خروج و باز شدن لپه‌ها مشخص می‌گردد. سبز شدن را می‌توان هنگامی محسوب نمود که لپه‌ها در ۵۰ درصد از نقاط کاشت سر از خاک بیرون آورده و از یکدیگر فاصله گرفته باشند.

۲- شروع رشد طولی ساقه را می‌توان هنگامی محسوب نمود که اولین برگ با آرایش متناوب روی ساقه پدیدار گردد. رشد طولی ساقه تا پیدایش جوانه گل در راس ساقه اصلی ادامه می‌یابد.

۳- گل‌دهی با پیدایش جوانه گل در راس ساقه اصلی آغاز می‌گردد. پس از آن انشعابات گل‌آذین شروع به رشد می‌کنند و اولین گل باز می‌شود. مرحله گل‌دهی کامل را می‌توان با تشکیل اولین کپسول مترادف دانست.

۴- دوران کپسول‌دهی با تشکیل اولین کپسول آغاز می‌گردد و تا قهوه‌ای شدن ۷۵ درصد کپسول‌ها (زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه) ادامه می‌یابد. در اوایل دوران کپسول‌دهی، باز شدن گل‌های

دیررس ادامه می‌یابد. طی دوران رسیدگی، برگ‌ها به‌تدریج و از پایین به بالا زرد می‌شوند. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه، برگ‌های فوقانی گیاه و ساقه‌ها سبز می‌باشند.

۵- مرحله رسیدگی کامل بزرک با قهوه‌ای شدن ۹۰ درصد کپسول‌ها مشخص می‌گردد. در بعضی شرایط ممکن است ساقه‌ها همچنان سبز باشند (خواچه‌پور، ۱۳۸۶).

۲-۱-۵- سازگاری

بزرک در ۶۳ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۵ درجه عرض جنوبی می‌روید (امیدبیگی، ۱۳۷۶). گیاهی روز بلند است، اما بسیاری از ارقام آن نسبت به طول روز بی‌تفاوت می‌باشند. بزرک در گروه گیاهان سرمادوست قرار می‌گیرد. بهترین رشد بزرک در مزرعه در دمای شبانه‌روزی حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید. با این حال، بزرک می‌تواند (در صورت مساعد بودن رطوبت خاک) دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل کند. هرچند که وقوع دماهای بالا سبب کاهش طول دوره رشد، میزان رشد و عملکردهای دانه و روغن می‌گردد، ضریب یدی و در نتیجه خاصیت خشک‌شوندگی روغن را کاهش می‌دهد و از کیفیت آن می‌کاهد. زیادی دمای سطح خاک و نیز سرما سبب مرگ پوسته ساقه گیاهان جوان می‌شود. گیاهان مسن نیز، به‌خصوص در تراکم‌های پائین، ممکن است در اثر گرمای خاک دچار سوختگی ساقه شوند. مقاومت بزرک به خشکی هوا زیاد است و می‌تواند رطوبت نسبی حدود ۲۰ درصد را به‌خوبی تحمل کند. خاک لومی ریز با زهکش مناسب برای کشت بزرک مطلوب است. بزرک به اسیدیته خاک حساسیت زیادی ندارد ولی به شوری خاک و شوری آب آبیاری حساس است. شوری خاک کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر برای تولید بزرک مطلوب است (خواچه‌پور، ۱۳۸۶).

۲-۱-۶- نیاز آبی

مقاومت بزرک به خشکی و آب ایستادگی از گندم کمتر است. به همین جهت دقت در آبیاری بزرک ضرورت دارد. عمق نفوذ ریشه بزرک در مرحله گلدهی به حداکثر میزان خود و در خاک‌های نفوذپذیر به حدود ۱ متر می‌رسد. این گیاه غالبا حدود ۷۰ درصد رطوبت مورد نیاز خود را تا عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک جذب می‌نماید. بزرک از آغاز مرحله نمو زایشی تا زمان رسیدگی حدود یک سوم کپسول‌ها به تنش رطوبتی حساس‌تر از سایر مراحل نمو است. آبیاری بزرک در کشاورزی سنتی به صورت کرتی و در شرایط مکانیزه به صورت نواری یا بارانی انجام می‌شود.

آبیاری‌های کاشت تا استقرار (باز شدن اولین جفت برگ‌ها) را می‌توان بر اساس وضعیت رطوبتی لایه سطحی خاک، تاریخ کاشت و شرایط محیطی بین ۷ تا ۱۴ روز یک‌بار انجام داد. پس از آن و تا پیدایش جوانه‌های گل در ۵۰ درصد از بوته‌های مزرعه ممکن است بر اساس مصرف حدود ۶۰ درصد از رطوبت قابل استفاده گیاه از خاک و یا رسیدن پتانسیل آب به حدود ۱/۰- اتمسفر (اندازه‌گیری شده در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک) آبیاری نمود. از مرحله پیدایش جوانه‌های گل تا رسیدگی حدود یک سوم کپسول‌ها، لازم است آبیاری بر اساس مصرف حدود ۵۰ درصد از رطوبت قابل استفاده گیاه از خاک و یا رسیدن پتانسیل آب به حدود ۰/۵- اتمسفر به‌عمل آید. از آنجایی که رسیدگی حدود ۷۰ درصد از کپسول‌ها را مترادف با رسیدگی فیزیولوژیک محصول محسوب می‌دارند پیشگیری از تداوم رشد محصول مورد نظر است، بسته به وضعیت اقلیمی، جوی و خاکی و یکنواختی رسیدگی محصول، آخرین آبیاری می‌تواند هنگامی انجام شود که یک سوم تا حداکثر نیمی از کپسول‌ها قهوه‌ای شده باشند.

عمق خیس کردن خاک را در آبیاری پی‌آب و اولیه حدود ۴۰ سانتی‌متر در نظر می‌گیرند و سپس به‌تدریج آن را افزایش می‌دهند. به طوری که عمق خیس کردن خاک در مرحله گلدهی در خاک‌های با

نفوذپذیری محدود به حدود ۶۰ سانتی‌متر و در خاک‌های نفوذپذیر به حدود ۷۵ سانتی‌متر برسد (خواچه-پور، ۱۳۸۶).

۲-۲- اهمیت آب در گیاه

نقش آب در گیاه را از نظر وظایف مهمی که بر عهده دارد می‌توان در چهار موضوع خلاصه نمود که عبارتند از:

۱- نقش ساختمانی آب: اهمیت آب از لحاظ مقدار، کمتر از اهمیت کیفی آن نیست. حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد وزن تازه بیشتر قسمت‌های گیاهان علوفه‌ای و بیش از ۵۰ درصد وزن تازه گیاهان خشبی (چوبی) از آب تشکیل شده است. چنانچه مقدار آب سلول از حد معینی کمتر شود موجب تغییرات ساختمانی و مرگ سلول می‌شود. کاهش مقدار آب در سلول همواره با کاهش قابل توجه فعالیت‌های فیزیولوژیکی آن‌ها همراه است.

۲- نقش حلال بودن آب: گازها، مواد معدنی و سایر مواد به‌خوبی در آب حل می‌شوند و به داخل سلول راه می‌یابند و به این وسیله از سلولی به سلول دیگر و از اندامی به اندام دیگر انتقال پیدا می‌کنند. نفوذپذیری نسبتا زیاد دیواره‌های سلولی و غشاهای پلاسمایی به آب موجب می‌شود جریان پیوسته‌ای از مایع در سراسر گیاه برقرار شود و انتقال انواع مواد حل شده در داخل گیاه صورت پذیرد.

۳- نقش شیمیایی آب: آب در بسیاری از فرآیندهای مهم مانند فتوسنتز و کنش‌های شیمیایی مانند هیدرولیز شدن نشاسته به قند (در هنگام جوانه زنی بذرها) شرکت دارد و وارد فعل و انفعالات شیمیایی می‌شود. بنابراین آب به عنوان یک ماده شیمیایی بسیار حائز اهمیت است.

۴- نقش آب در آماس سلول‌های گیاهی: یکی دیگر از وظایف آب ایجاد آماس سلولی است که برای بزرگ شدن و رشد سلول و حفظ شکل ظاهری گیاهان علفی ضروری می‌باشد. آماس سلولی در باز و بسته شدن روزنه‌ها، حرکت برگ‌ها، باز و بسته شدن گل‌ها و ساختمان اندام‌های تخصص یافته نقش اساسی را ایفا می‌کند. کمبود آب به نحوی که نتواند آماس سلولی را تامین نماید، موجب کاهش سریع رشد گیاه می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۷).

۲- ۳- تنش خشکی

۲-۳-۱ - تعریف تنش خشکی

گیاهان طی چرخه زندگی خود به صورت طبیعی و یا با دخالت انسان، در معرض تنش قرار می‌گیرند. برای مثال گیاهان مناطق معتدله با دماهای پایین، گیاهان مناطق کوهستانی با بادهای سرد و خشک همراه با تشعشع ماورای بنفش و گیاهان مناطق کویری و خشک با کمبود آب مواجه می‌شوند. در خاک‌های شور گیاهان همراه با تنش خشکی، اثر سمی برخی املاح را تجربه می‌کنند.

از نظر بیولوژی واژه روشنی را برای تنش نمی‌توان بیان کرد، اما به طور کلی تنش نشانگر اثرات نامطلوب بر موجود زنده است. همچنین از نظر بیولوژی تنش را شرایطی می‌توان توصیف کرد که در اثر ورود تقاضای بیشتر به گیاه، سبب ناپایداری فعالیت‌های آن می‌شود و بعد از برطرف شدن این شرایط گیاه به حالت اولیه برمی‌گردد. اگر تنش بیش از محدوده تحمل گیاه باشد، موجب آسیب واقعی و حتی از بین رفتن گیاه می‌شود (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹).

خشکی معمولاً به عنوان شایع‌ترین تنش غیرزنده که گیاهان زراعی آن را تجربه می‌کنند، شناخته می‌شود. در مناطقی که میزان بارندگی سالانه کاهش می‌یابد و پراکنش آن الگوی مشخصی ندارد، خشکی

مهمترین تنش محیطی است که تولید گیاهان را به شدت کاهش می‌دهد. کمبود آب در این مناطق، دمای بالای هوا و بادهای گرم عواملی هستند که در مجموع موجب کاهش شدید عملکرد گیاهان می‌شوند (دی‌اسلاکس و همکاران، ۲۰۰۰).

خشکی در اثر وجود یک یا چند عامل آب و هوایی به‌وجود می‌آید که موجب کمبود آب در داخل گیاه می‌شود. شرایط محیطی خاک یا آب و هوا یا هر دو که مانع دستیابی گیاه به آب کافی جهت انجام اعمال حیاتی می‌شود و تکرار آن موجب از دست رفتن آب بافت گیاه می‌شود، خشکی نامیده می‌شود (لویت، ۱۹۸۰). بلوم (۱۹۹۶) اظهار داشت که خشکی یک تنش چند بعدی است که گیاهان را در سطوح مختلف سازمانی تحت تاثیر قرار می‌دهد.

واژه خشکی بیانگر یک رویداد اقلیمی و محیطی و نشانگر دوره بدون بارندگی است که طی آن مقدار رطوبت خاک تا حدی کاهش می‌یابد (اسکوئی و همکاران، ۱۳۸۹). کرامر (۱۹۸۳) نیز بیان می‌دارد که خشکی عبارت است از فقدان یا کمبود نزولات در محیط گیاه که بر اثر آن گیاه آسیب می‌بیند. میزان خسارت وارده تابع نوع گیاه، ظرفیت نگه‌داری آب در خاک و شرایط جوی موثر بر تبخیر و تعرق می‌باشد.

خشکی هنگامی ایجاد می شود که مجموعه ای از عوامل فیزیکی و محیطی، فراهمی آب در محیط ریشه یا ساختار گیاه را کاهش دهند و در نتیجه میزان محصول را کاهش می‌دهند. این کاهش ممکن است حاصل تاخیر یا عدم استقرار بوته‌ها، ضعیف ماندن یا از بین رفتن بوته‌های استقرار یافته، مستعد شدن گیاه نسبت به حمله بیماری‌ها و آفات و تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان باشد (امام و نیک نژاد، ۱۳۸۳).

تنش خشکی رشد گیاه زراعی (گاربریلا و فویر، ۲۰۰۲ و امام، ۱۳۷۴)، فتوسنتز برگ (امام و نیک نژاد، ۱۳۸۳ و لگ و همکاران، ۱۹۷۹)، تنفس و پیری برگ (امام و ثقه الاسلامی، ۱۳۸۴) را نیز تحت تاثیر قرار

می‌دهد. هرچند تنش خشکی بر رشد و نمو گیاهان زراعی در هر مرحله‌ای از زندگی گیاه تاثیر گذار است، لیکن مقدار و شدت خسارت، ظرفیت جبران خسارت و اثر آن بر محصول نهایی وابسته به مرحله نموی است که گیاه تحت تنش قرار گرفته است (امام، ۱۳۷۴). مقاومت به خشکی واژه‌ای عمومی است که در برگیرنده دامنه‌ای از مکانیزم‌های مختلف می‌باشد که گیاهان زراعی توسط آن‌ها در مناطق خشک قادر به تحمل شرایط خشکی می‌شوند (کوچکی و خواجه‌حسینی، ۱۳۸۷).

۲-۳-۲- تاثیر تنش خشکی بر پارامترهای رشدی و فیزیولوژیک گیاه

تنش رطوبت بر کلیه جنبه‌های رشد و نمو گیاه، به میزان مساوی اثر نمی‌گذارد. بعضی از فرآیندها، نسبت به کاهش رطوبت خیلی حساس هستند، در حالی که سایر فرآیندها کمتر تحت تاثیر تنش آب قرار می‌گیرند. عملکرد نهایی گیاه حاصل نتایج اثرات تنش بر رشد، فتوسنتز، تنفس، فرآیندهای متابولیکی، زایشی و غیره می‌باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸).

وقتی گیاهان در شرایط کمبود آب قرار می‌گیرند تغییرات ساختاری و فیزیولوژیکی متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. بعضی دوره زندگی خود را قبل از کاهش رطوبت خاک تکمیل می‌کنند و بدین سان از خشکی فرار می‌کنند و برخی دیگر از راه ایجاد سیستم ریشه‌ای انبوه و عمیق، کاهش رشد شاخه‌ها، کاهش سطح برگ‌ها، کاهش تعداد روزنه‌ها و افزایش تراکم کرک‌ها در اپیدرم برگ با تنش خشکی مقابله می‌کنند (داون و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۳-۲-۱-تاثیر تنش خشکی بر فعالیت درون سلولی

کاهش تورژسانس به عنوان اولین اثر تنش خشکی سرعت رشد سلول و اندازه نهایی آن را متأثر می‌سازد. یکی از مکانیزم‌های کارآمدی که گیاه به هنگام مواجه شدن با تنش خشکی، برای حفظ تورژسانس و آماس سلولی به خدمت می‌گیرد، تنظیم اسمزی است. طی این پدیده فیزیولوژیکی پتانسیل

اسمزی بافت‌های تحت تنش، در اثر انباشت یک سری مواد اسمزی در سلول‌ها کاهش می‌یابد و بنابراین فشار تورژسانس سلول‌ها در حد مطلوب حفظ می‌شود. این مواد اسمزی شامل برخی از عناصر (پتاسیم، سدیم و کلسیم)، برخی از متابولیت‌ها نظیر قندها، اسیدهای آمینه (پرولین) و اسیدهای آلی می‌باشند (ترک نژاد و حیدری شریف آباد، ۱۳۷۹).

نشت یونی از جمله دیگر صفاتی است که تحت تأثیر تنش خشکی افزایش می‌یابد و افزایش آن به معنای افزایش میزان تراوش یونی در غشاء می‌باشد که این امر به نوبه خود می‌تواند نشان دهنده کاهش پایداری غشاء و در واقع خرابی آن باشد (باجی و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۳-۲-۲-تاثیر تنش خشکی بر ارتفاع بوته

ارتفاع بوته به شدت به محیط رشد وابسته است (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). در شرایط تنش ارتفاع بوته کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل کاهش فشار آماس سلول‌های در حال رشد و اثر بر طول سلول‌ها باشد (احمدی و بیکر، ۲۰۰۱). خان و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند در ذرت با افزایش تنش خشکی، ارتفاع گیاه و قطر ساقه کاهش یافت. نتایج حاصل از اجرای آزمایش رزمی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که با افزایش فواصل آبیاری طول دوره رشد و ارتفاع بوته کاهش یافت. همچنین مطالعه جنوبی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که تعداد گره ساقه و ارتفاع گیاه تحت تاثیر تنش کم آبی کاهش می‌یابد.

۲-۳-۲-۳- تاثیر تنش خشکی بر کلروفیل و فتوسنتز

به دنبال خشکی، میزان فتوسنتز کم می‌شود ولی سرعت کاهش آن به اندازه کاهش رشد برگ نیست. کاهش تنفس برگ نیز نسبت به فتوسنتز، کم می‌باشد و احتمال دارد در مراحل اولیه خشکی افزایش یابد. در مراحل اولیه خشکی، کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها بوده و قابل برگشت می‌باشد. در این حالت محتوای نسبی آب برگ بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد. اما وقتی که محتوای

نسبی آب برگ بین ۳۵ الی ۷۰ درصد باشد، ممانعت نوری ایجاد می‌شود. زیرا احیای دی‌اکسیدکربن، چرخه کلوین و تنفس نوری به فتولیز آب به وسیله نور و انتقال الکترون بستگی دارد. از علل دیگر کاهش پتانسیل فتوسنتز، کاهش حجم استروما می‌باشد که احتمال دارد در شرایط تنش ملایم، به وسیله تنظیم اسمزی در کلروپلاست باقی بماند.

از دیگر علل اساسی کاهش فتوسنتز در شرایط تنش کم آبی، عوامل محدودکننده روزنه‌ای است که سبب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای بین سلولی، در اثر کاهش هدایت روزنه‌ای یا عوامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به دلیل تاثیر مستقیم کمبود آب روی فرآیندهای بیوشیمیایی هستند. عوامل محدودکننده غیر روزنه‌ای شامل عوامل زیست شیمیایی فتوسنتز نظیر کلروفیل، مقدار فعالیت آنزیم رابیسکو، انتقال الکترون فتوسنتزی، فتوفسفوریلاسیون و مقدار متابولیت‌ها می‌باشد. در شرایط تنش خشکی، کاهش فعالیت آنزیم رابیسکو محدودیت بیشتری نسبت به کاهش ATP و ریبولوزبی‌فسفات در پدیده فتوسنتز دارد (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹).

کاهش محتوای کلروفیل در برگ‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی توسط کاستریلو و تریجلو (۱۹۹۴) گزارش شده است. همچنین مانیوانان و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی دریافتند، تنش کم آبی در آفتابگردان سبب کاهش محتوی کلروفیل a و b شد. شاه‌حسینی (۱۳۸۹) نیز در پژوهشی اعلام کرد که افزایش شدت تنش کم آبی موجب کاهش در میزان کلروفیل چغندرقند گردید.

۲-۳-۲-۴- تاثیر تنش خشکی بر محتوای آب نسبی برگ

میزان محتوای نسبی آب در برگ‌ها به هدایت روزنه‌ای، وضعیت و تعداد روزنه‌ها و تعرق برگ‌ها بستگی دارد. به عبارت دیگر محتوای نسبی آب، وضعیت روزنه‌ها و تعرق برگ‌ها را منعکس می‌کند. در اثر

خشکی پتانسیل اسمزی برگ‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه محتوای آب کم می‌شود (جلیلی مرندی، ۱۳۸۹).

محتوی آب نسبی برگ، پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای، نسبت تعرق، دمای برگ و کانوپی بر روابط آبی گیاهی موثرند (انجوم و همکاران، ۲۰۱۱). یکی از مهمترین اثرات تنش خشکی بر گیاه کاهش محتوی آب نسبی برگ است (وزان و همکاران، ۲۰۰۲). محتوی آب نسبی برگ برای تعیین وضعیت آبی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد و منعکس کننده فعالیت‌های متابولیکی در بافت گیاه است (انجوم و همکاران، ۲۰۱۱). در صورتی که مقدار آب نسبی برگ برابر ۷۰ تا ۱۰۰ درصد باشد، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز روی می‌دهد که این حالت قابل برگشت است. زمانی که برابر ۳۵ تا ۷۰ درصد باشد، موجب بازدارندگی نوری، کاهش کربوکسیلاسیون، چرخه کالوین و تنفس نوری می‌شود. در محتوی آب نسبی کمتر از ۳۰ درصد به غشای کلروپلاست صدمه وارد می شود که این خسارت غیر قابل برگشت است (کافی و مهدوی‌دامغانی، ۱۳۷۹).

محتوی نسبی آب برگ می‌تواند توانمندی گیاه را در تحمل به تنش خشکی نشان دهد (وزان و همکاران، ۲۰۰۲). کاستریلو و تروجیلو (۱۹۹۴) همبستگی مثبتی را بین مقدار آب نسبی برگ و غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت رابیسکو مشاهده کردند. در پژوهشی روی سیب زمینی مشخص شد که ارقام دارای مقدار آب نسبی برگ بیشتر، مقاومت بیشتری به تنش خشکی داشتند (اکانیاک و دسونگ، ۱۹۹۲). شاه‌حسینی (۱۳۸۹) نیز در پژوهشی اعلام کرد که افزایش شدت تنش کم آبی موجب کاهش در میزان آب نسبی برگ چغندرقند گردید. همچنین لوباتو و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر تنش خشکی در مرحله رویشی گیاه لوبیا چشم بلبلی، کاهش ۲۵ درصدی را در مقدار آب نسبی برگ نسبت به شاهد مشاهده کردند.

۲-۳-۲-۵- تاثیر تنش خشکی بر پایداری غشای پلاسمایی

عوامل و شرایط محیطی مانند گرما، خشکی و انجماد موجب تغییر در غشای سیتوپلاسمی می‌شوند و با توجه به نقش غشای سیتوپلاسمی در کنترل تبادلات آب و املاح به منظور حفظ آماس (تورم) سلول، رشد گیاه نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد (اینگرام و بارتت، ۱۹۹۶). تنش خشکی با افزایش پراکسیداسیون لیپیدها، موجب کاهش پایداری غشاء سلول می‌شود (سایرام و ساکسنا، ۲۰۰۰). در اثر تنش‌های شدید، در برخی از بخش‌های فسفولیپیدی غشاهای سلولی، حالت هگزاگونال (کروی) ایجاد می‌گردد و ساختار غشاء به یک ساختار منفذ دار تبدیل می‌شود (میر جلیلی، ۱۳۸۴). در این حالت افزایش نفوذپذیری غشاء و کاهش شاخص پایداری آن، منجر به نشت الکترولیت‌ها به بیرون از سلول می‌شود (سایرام و همکاران، ۲۰۰۲).

میزان خسارت به غشای پلاسمایی را می توان با اندازه‌گیری میزان نشت یونی تعیین نمود (شیرمرد، ۲۰۰۳). در شرایط تنش خشکی، رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید می شوند که سبب پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (چن و همکاران، ۲۰۰۰)، تخریب پروتئین ها (جیانگ و ژانگ، ۲۰۰۱) و اسیدهای نوکلئیک (هاگار و همکاران، ۱۹۹۶) می‌گردند. در این شرایط فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی نظیر سوپراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد (میرجلیلی، ۱۳۸۴).

کاهش در پایداری غشای پلاسمایی در اثر تنش خشکی در گیاهانی از جمله گندم، ذرت و لوبیا مشاهده شده است (پاک نژاد و همکاران، ۲۰۰۷؛ درویش بلوچی و همکاران، ۱۳۸۹ و ترکان و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۳-۲-۶- تاثیر تنش خشکی بر میزان پروتئین

پروتئین سازی رابطه نزدیکی با فعالیت اسیدهای‌نوکلئیک دارد و بنابراین خشکی اثر زیادی بر آن می‌گذارد. این اثرات نامطلوب، در گیاهان حساس به خشکی نسبت به گیاهان مقاوم، مشهودتر است. تجمع اسیدهای آمینه، خصوصا پرولین، به طور همزمان با تنش کم آبی در بسیاری از گیاهان روی می‌دهد. این تجمع احتمالا ناشی از کاهش پروتئین سازی است (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸).

تولید پروتئین‌های تنشی از جمله سازگاری‌های فیزیولوژیکی گیاه به کمبود آب است (وحید و همکاران، ۲۰۰۷). در شرایط تنش رطوبتی، تخریب پروتئین‌ها و تجمع برخی اسیدهای آمینه آزاد جهت تنظیم فشار اسمزی صورت می‌گیرد (یامادا و فاکاتوکو، ۱۹۸۶). کاهش غلظت پروتئین به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین در شرایط تنش است و این پدیده خود با کاهش میزان آنزیم روبیسکو و نقصان فتوسنتز همراه است (هنسون و هیتز، ۱۹۸۲). در آزمایشات انجام شده روی چغندرقند (شاه و لومیس، ۱۹۶۵) و سویا (نیاکان و قربانلی، ۱۳۸۶) کاهش در میزان پروتئین کل تحت تاثیر تنش خشکی مشاهده شد.

۲-۳-۳-۷- تاثیر تنش خشکی بر عملکرد

بسیاری از فرآیندهای تعیین‌کننده عملکرد تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. کمبود آب موجب کاهش در صفات مربوط به عملکرد می‌شود که دلیل آن را می‌توان اختلال در تبادلات گازی برگ دانست که نه تنها سبب محدودیت در اندازه منبع و مخزن می‌شود، بلکه در جذب و انتقال مواد و تسهیم ماده خشک ایجاد اختلال می‌کند (انجوم و همکاران، ۲۰۱۱). عملکرد گیاه تحت شرایط تنش خشکی شدیدا به فرآیندهای تسهیم ماده خشک و توزیع زمانی بیوماس وابسته است (کیج و همکاران، ۲۰۰۴).

هنگامی که واریته‌ای از بزرک در زمان ظهور گل در معرض تنش آب قرار گرفت، عملکرد دانه تا ۶۵ درصد گیاهان شاهد تنزل یافت، وزن صد دانه بندرت تحت تاثیر قرار گرفت. محتوی روغن دانه نیز اندکی کاهش یافت، ولی مقدار کل روغن در زمان برداشت، تقریبا ۴۰ درصد تنزل یافت (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸).

۲-۴- نقش عناصر در تنش خشکی

از اثرات تنش، به‌ویژه خشکی برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (رنگل، ۱۹۹۲). خاک‌های زراعی کشور ایران به دلایلی از قبیل آهکی بودن خاک‌ها، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، پایین بودن مواد آلی و مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته دچار کمبود شدید عناصر می‌باشد (رحیمی‌زاده وهمکاران، ۱۳۸۹). با تکمیل مصرف عناصر غذایی از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (ملکوتی، ۱۳۷۸). علاوه بر این، نتایج مطالعات بسیاری حاکی از آن است که مصرف عناصر غذایی می‌تواند مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی همچون خشکی و شوری را افزایش دهد (بای بوردی، ۲۰۰۴).

از ۱۶ عنصر غذایی مورد نیاز گیاهان، عناصر آهن، روی، منگنز، بر به مقدار ناچیزی مورد نیاز گیاهان هستند و بدین علت آن‌ها را عناصر کم مصرف و یا عناصر ریزمغذی می‌نامند. این عناصر غذایی پس از متعادل سازی مصرف کودهای نیتروژنه، فسفاته و پتاسیمی نقش خود را در افزایش تولید نشان می‌دهند. به عبارت دیگر اگر گیاهی از کمبود هر یک از عناصر غذایی اصلی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد رنج ببرد تا رفع آن عامل محدودکننده رشد، مصرف کودهای محتوی عناصر کم مصرف سبب افزایش تولید نخواهد گشت (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۸).

۲-۴-۱- کلسیم

کلسیم پنجمین عنصر از نظر فراوانی در پوسته زمین می‌باشد که متوسط غلظت آن حدود ۳/۶۴ درصد است و از نظر حجمی حدود ۱/۴۸ درصد پوسته زمین را اشغال می‌کند. منشا کلسیم خاک‌ها به‌جز کلسیمی که به صورت آهک یا مواد کودی به خاک افزوده می‌شود، از سنگ‌ها و کانی‌های تشکیل دهنده خاک است.

کلسیم در بافت‌های گیاه به صورت کلسیم آزاد، کلسیم جذب سطحی شده همانند کربوکسیلیک، فسفریلیک و گروه هیدروکسیل فنلیک دیده می‌شود. در کنار آن نیز نمک‌های کلسیمی وجود دارد که در واکوئل حضور دارند و یا به عنوان اسکلت دیواره سلولی می‌باشند. این قبیل نمک‌های کلسیمی شامل فسفات کلسیم، کربنات کلسیم و به‌خصوص اگزالات کلسیم و نمک‌های آلی مثل پکتات کلسیم می‌باشد. غلظت بالایی از کلسیم در تیغه میانی، سطح خارجی غشای پلاسمالما، شبکه آندوپلاسمی و واکوئل‌ها دیده می‌شود. بیشتر کلسیم محلول در آب در واکوئل‌ها قرار دارند که با آنیون‌های آلی مثل مالات یا آنیون‌های معدنی مثل نیترات و کلر همراه می‌باشد (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰).

۲-۴-۱- ۱- نقش کلسیم در گیاه

پیوندهای کلسیم به صورت پکتات در تیغه‌های میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت گیاهی ضروری است. تخریب پکتات‌ها به وسیله آنزیم پلی‌گالاکتونازها صورت می‌گیرد. زمانی که مقدار کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آن‌ها ممانعت می‌شود (مارچنر، ۱۹۹۵). در بافت‌هایی که کمبود کلسیم دارند، فعالیت پلی‌گالاکتونازها افزایش می‌یابد و علائم مشخص کمبود کلسیم مثل تجزیه دیواره سلولی و افتادن اندام‌های گیاهی مثل ریزش برگ‌ها دیده می‌شود (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰).

کلسیم با پیوند دادن فسفات‌ها و گروه‌های کربوکسیلات، فسفولیپیدها و پروتئین‌های سطح غشای سلولی، سبب پایداری آن می‌شود. کلسیم صدمات ناشی از تنش‌های سرمازدگی (انجماد و ذوب شدن) را کاهش می‌دهد. تخریب غشاهای سالم سبب افزایش سرعت تنفس می‌شود و تیمارهای کلسیم می‌توانند سرعت تنفس را کاهش دهند. بنابراین در برگ‌ها تخریب پروتئین و کلروفیل با افزودن سیتوکنین یا کلسیم کاهش می‌یابد (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰).

اگر کلسیم در محیط ریشه وجود نداشته باشد، توسعه سلول‌ها متوقف می‌شود. رشد لوله گرده به وجود کلسیم بستگی دارد و برای رشد آن به سمت مادگی نیز یک فرآیند شیمی‌تروپیسم وجود دارد که با غلظت کلسیم در خارج از سلول کنترل می‌شود (مارچنر، ۱۹۹۵). تشکیل کالوز (گیاه در پاسخ به صدمات مکانیکی یا آلودگی هوا، تولید کالوز می‌کند که محل زخم توسط همین ماده مسدود می‌شود.)، ترکیب وزیکول‌ها با غشای سیتوپلاسمی و تحریک فعالیت آلفاآمیلاز در جوانه زدن بذرهای غلات از اعمال دیگر کلسیم است. در سلول‌های برگی که واکوئل درشت‌تری دارند، مقدار بیشتری از کلسیم در واکوئل‌ها جمع می‌شود تا بار الکتریکی آنیون‌های آلی و معدنی را در آنجا خنثی و تعادل الکتریکی را ایجاد کند. تشکیل اکسالات‌کلسیم در واکوئل‌ها برای تنظیم اسمزی سلول مهم است. امروزه باز و بسته شدن روزنه‌ها را نیز به تغییر کلسیم مربوط می‌دانند؛ یعنی تغییر در مقدار کلسیم سیتوسل سبب انتقال پتاسیم به سلول‌های نگهبان می‌شود و در نتیجه روزنه‌ها باز می‌شوند. نقش کلسیم در افزایش مقاومت به شوری، مورد توجه است. کلسیم در کاهش جذب یون سدیم و کلر و تکامل غشا و نقش غشا در جذب انتخابی و انتقال نقش دارد. کلسیم یک عنصر ضروری برای انتقال یون پتاسیم است (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰).

کلسیم به طور غیر فعال و بیشتر از طریق مسیر آپوپلاستی به استوانه مرکزی می‌رسد. این عنصر در شیره آوند چوبی در جهت صعودی با جریان تعرقی انتقال می‌یابد. میزان انتقال نزولی کلسیم بسیار کم

است، زیرا این یون به ندرت در آوند آبکش انتقال می‌یابد. مقدار کلسیم در شیره آوند آبکش در مقایسه با شیره خام خیلی پایین است (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰).

۲-۴-۱-۲- نقش کلسیم در تنش

وجود مقدار کافی یون کلسیم در محیط کشت از طریق تأثیر بر جذب انتخابی پتاسیم در مقابل سدیم می‌تواند نسبت جذب پتاسیم به سدیم را افزایش دهد. از طرف دیگر، مناسب بودن وضعیت دیواره میانی سلول که کلسیم در ساختمان آن وجود دارد، موجب کاهش تراوش پتاسیم از سلول‌های ریشه به محیط خارج می‌شود و در نتیجه وضعیت مطلوب‌تری از نظر تغذیه پتاسیم در ریشه ایجاد می‌شود (ناوارو، ۲۰۰۰؛ تیموتی، ۱۹۹۵؛ کفوو، ۱۹۹۸؛ اپستین، ۱۹۶۱). در همین رابطه گزارش شده است که در شرایط شوری، کاربرد یون کلسیم با غلظت ۱۰ میلی‌مولار، موجب کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم و کلسیم در برنج می‌گردد. در نتیجه اثر سوء شوری بر رشد بوته‌های برنج کمتر می‌شود (سونگ و همکاران، ۱۹۹۶). یون‌های سدیم ممکن است برای مکان‌های اتصال کلسیم در غشاء رقابت نمایند، بنابراین میزان بالای Ca^{2+} می‌تواند غشا سلول را از اثرات نامطلوب شوری حفظ نماید (بوش، ۱۹۹۵). برای حفاظت غشا پلاسمایی در مقابل آسیب‌های ناشی از تنش‌های مختلف، حضور Ca^{2+} در محیط بیرونی، جایی که می‌تواند جذب یون‌ها تنظیم شود، ضروری است (نیور، ۱۹۹۵).

همچنین مطالعات نشان داده است که برای حفاظت غشاء سلول در برابر آسیب‌های ناشی از تنش‌های مختلف، حضور کلسیم در محیط بیرونی ضروری است (نتوندا، ۲۰۰۴). مطالعات بانولس و همکاران (۱۹۹۱) و هاوکینز و لوئیس (۱۹۹۳) نشان داد که کلسیم می‌تواند به‌عنوان نقش اصلاحی و تعدیل کننده اثرات شوری عمل نماید. نقش کلسیم محیط به عنوان فعال کننده سیستم انتقال پیام‌های سلولی و همچنین به عنوان تنظیم کننده اسمزی گیاه نیز مشاهده شده است. کلسیم در انتقال علامت-

های حاصل از تنش خشکی و شوری در گیاهان دخیل است و ممکن است در پاسخ به تنش خشکی و تغییرات پتانسیل نقش بازی کند (دیویس و همکاران، ۱۹۸۱؛ جوهانسون، ۱۹۹۶؛ تاکاهاشی و همکاران، ۱۹۹۷).

در پاسخ به تنش خشکی و شوری، پروتئین کیناز وابسته به کلسیم القا می‌شود و همین امر اهمیت غیرمستقیم کلسیم را نشان می‌دهد (ویمر و همکاران، ۱۹۹۲؛ ارائو و همکاران، ۱۹۹۴). مشاهده شده است که تنش شوری موجب افزایش کلسیم داخل سلولی در پروتوپلاست ریشه‌های ذرت شده است (لینچ و همکاران، ۱۹۸۹). در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی نیز پروتئین‌های وابسته به کلسیم مانند کالمودولین (CAM)، پروتئین کیناز (CDPK)، کلسینورین (CBL) القا می‌شوند (داس و همکاران، ۲۰۱۰). پروتئین کیناز یک پروتئین وابسته به کلسیم است که از سنسورهای مهم کلسیم در گیاهان شناخته شده است و نقش اساسی در توسعه و سازگاری گیاه به تنش‌های غیرزیستی دارد. در حال حاضر ژن این پروتئین تحت تنش اسمزی و دمای بالا روی انگور وحشی مطالعه شده است. این پروتئین به داشتن سطح مقاومت بالا و پتانسیل تطبیقی بالا در برابر شرایط نامطلوب زیست محیطی شناخته شده است (دوبرووینا، ۲۰۰۹). یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاهان به تغییرات نامطلوب محیطی باز کردن کانال‌های عمقی کلسیم و هجوم کلسیم از خارج سلول به درون آن است (ردی و همکاران، ۲۰۱۱). افزایش کلسیم سیتوسولی پروتئین‌های (وابسته به کلسیم) حسگر را فعال می‌کند و تغییرات محیطی درک می‌شود.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود- آزادشهر) اجرا شد. شهر بسطام در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۵ دقیقه طول شمالی واقع شده است و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است و میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر است. بارندگی‌ها عمدتاً در فصل پاییز و بهار رخ می‌دهد. حداقل و حداکثر دمای منطقه به ترتیب ۹/۶- و ۴۰ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شاهرود، در سال زراعی ۹۲-۹۱ مجموع بارندگی در این منطقه ۱۵۳/۹ میلی‌متر و میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه به ترتیب ۸/۹ و ۲۰/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه نیز در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری گردید که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

۳-۲- مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تعداد تیمارها در مجموع ۱۵ و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۴۵ کرت بود. تیمارهای آزمایش شامل ۳ سطح آبیاری هر ۸ روز یکبار (عدم تنش)، ۱۲ روز یکبار (تنش ملایم) و ۱۶ روز یکبار (تنش شدید) به عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی کلرید کلسیم در ۵ سطح (صفر، ۶ و ۱۲ میلی‌مولار در زمان گلدهی، ۶ و ۱۲ میلی‌مولار در زمان پر شدن دانه) به عنوان فاکتور فرعی بودند (جدول ۳-۲). نقشه کشت در شکل ۳-۱ ترسیم گردیده است.

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

درصد گل اشباع	۳۳/۲	درصد
هدایت الکتریکی ($Ec\times 10^3$)	۱/۲	دسی‌زیمنس بر متر
اسیدیته گل اشباع	۸/۰۵	-
درصد مواد خنثی شونده	۲۵/۵	درصد
کربن آلی	۰/۵۹	درصد
نیتروژن کل	۰/۱۰۵	درصد
فسفر قابل جذب	۴۴/۵	پی‌پی‌ام
پتاسیم قابل جذب	۲۲۱/۰	پی‌پی‌ام
رس	۳۴	درصد
لای	۵۰/۰	درصد
شن	۱۶/۰	درصد
درصد رطوبت	۲/۳	درصد
نسبت جذب سدیم (SAR)	۱/۸	-
مجموع کاتیون‌ها	۷۴/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Na^+	۱۰/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Mg^{2+}	۱۲/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Ca^{2+}	۵۲/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
مجموع آنیون‌ها	۷۳/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
SO_4^{2-}	۳۸/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
Cl^-	۳۰/۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر
HCO_3^-	۵/۲	میلی‌اکی‌والان در لیتر
CO_3^-	۰	میلی‌اکی‌والان در لیتر

تکرار ۱	a_1 c_1	a_1 c_2	a_1 c_3	a_1 c_4	a_1 c_5	a_2 c_5	a_2 c_4	a_2 c_3	a_2 c_2	a_2 c_1	a_3 c_2	a_3 c_3	a_3 c_1	a_3 c_4	a_3 c_5
تکرار ۲	a_3 c_5	a_3 c_1	a_3 c_4	a_3 c_3	a_3 c_2	a_1 c_5	a_1 c_2	a_1 c_1	a_1 c_3	a_1 c_4	a_2 c_5	a_2 c_4	a_2 c_2	a_2 c_1	a_2 c_3
تکرار ۳	a_2 c_2	a_2 c_3	a_2 c_1	a_2 c_5	a_2 c_4	a_3 c_3	a_3 c_2	a_3 c_1	a_3 c_5	a_3 c_4	a_1 c_4	a_1 c_3	a_1 c_2	a_1 c_5	a_1 c_1

تنش: a_1 (۸روز)، a_2 (۱۲ روز) و a_3 (۱۶ روز)

غلظت کلرید کلسیم (میلی‌مولار): c_1 (صفر)، c_2 (۶ میلی‌مولار در زمان گلدهی)، c_3 (۱۲ میلی‌مولار در زمان گلدهی)، c_4 (۶میلی‌مولار در زمان پر شدن دانه) و c_5 (۱۲ میلی‌مولار در زمان پر شدن دانه)

شکل ۳-۱- نقشه کاشت طرح آزمایشی مورد استفاده

جدول ۳-۲- ترکیبات تیماری مورد استفاده در آزمایش

عدم محلول‌پاشی در شرایط عدم تنش	a_1c_1
محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان گلدهی و شرایط عدم تنش	a_1c_2
محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان گلدهی و شرایط عدم تنش	a_1c_3
محلول‌پاشی با ۶ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان پر شدن دانه و شرایط عدم تنش	a_1c_4
محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان پر شدن دانه و شرایط عدم تنش	a_1c_5
عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش ملایم	a_2c_1
محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان گلدهی و شرایط تنش ملایم	a_2c_2
محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی کلسیم کلراید در زمان گلدهی و شرایط تنش ملایم	a_2c_3
محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان پر شدن دانه و شرایط تنش ملایم	a_2c_4
محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان پر شدن دانه و شرایط تنش ملایم	a_2c_5
عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش شدید	a_3c_1
محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان گلدهی و شرایط تنش شدید	a_3c_2
محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان گلدهی و شرایط تنش شدید	a_3c_3
محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان پر شدن دانه و شرایط تنش شدید	a_3c_4
محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم کلراید در زمان پر شدن دانه و شرایط تنش شدید	a_3c_5

۳-۳- عملیات اجرایی

۳-۳-۱- آماده‌سازی زمین

زمین در سال قبل به صورت آیش بود. ده روز قبل از کاشت در تاریخ ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۲ اقدام به آماده‌سازی زمین (بدون اعمال کودهای پایه) گردید. سپس ابعاد کرت‌ها تعیین شد. هر کرت شامل ۴ خط به طول ۴/۵ متر با فاصله بین خطوط ۵۵ سانتی‌متر بود. دو خط کناری به عنوان حاشیه و دو خط وسط جهت تعیین پارامترهای آزمایش در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از تداخل تیمار آبیاری بین بلوک‌های تنش در هر تکرار ۲ خط نکاشت قرار داده شد.

۳-۳-۲- کاشت

عملیات کاشت با تراکم ۵۰۰ بوته در متر مربع، در تاریخ ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۲ با دست و در عمق ۲ سانتی‌متری انجام شد. بذر بزرک مورد استفاده، که از نوع توده محلی دشتستان بود، با قارچ‌کش تیمار شده بود.

۳-۳-۳- داشت

آبیاری به صورت جوی و پشته انجام شد. از هنگام کاشت تا استقرار کامل بوته‌ها آبیاری به طور مرتب هر ۷ روز یکبار انجام شد. سه بار وجین کامل علف‌های هرز توسط دست انجام شد.

۳-۳-۴- اعمال تیمارها

پس از استقرار کامل بوته‌ها (مرحله شروغ رشد طولی ساقه) اقدام به اعمال تیمارهای تنش کم آبیاری گردید. برای اعمال تیمارهای عدم تنش، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب دور آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶روز در نظر گرفته شد. اولین و دومین محلول‌پاشی با کلرید کلسیم به ترتیب در ۳۴ (در زمان شروع

گلدهی) و ۵۵ (در زمان شروع پر شدن دانه) روز پس از کاشت انجام شد. محلول‌پاشی‌ها در ساعت ۶ صبح و در هوای صاف و ملایم اعمال شد. طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند. به منظور بهبود جذب برگی کلرید کلسیم، از تریتون X100 با غلظت ۰/۰۱ درصد به عنوان روکنشگر استفاده شد.

۳-۳-۵- برداشت

در تاریخ ۱۰ مرداد (۷۳ روز پس از کاشت) تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت توسط دست برداشت شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند و صفات مورد نظر(عملکرد و اجزای عملکرد)، بررسی و اندازه‌گیری گردیدند.

۳-۴- نمونه برداری جهت صفات مرفولوژیکی

پس از اعمال کلیه تیمارها، یکبار نمونه برداری به روش تخریبی در زمان ۶۲ روز پس از کاشت صورت گرفت، از هر کرت پس از حذف یک ردیف از گیاهانی که در رقابت شرکت نداشتند (به عنوان حاشیه)، ۵ بوته به عنوان معیار آن کرت برداشت گردید.

۳-۵- صفات زراعی و مرفولوژیک

۳-۵-۱- وزن خشک ساقه، برگ و کپسول

نمونه‌هایی که ۶۲ روز پس از کاشت برداشت شده به آزمایشگاه منتقل و به چند بخش ساقه، برگ و کپسول تفکیک شدند و به طور مجزا توسط دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ وزن شدند. مقادیر به دست آمده بر حسب گرم در متر مربع محاسبه گردیدند. وزن خشک کل نیز محاسبه گردید. این صفت از مجموع وزن خشک برگ، ساقه و کپسول هر نمونه بر حسب گرم در متر مربع به دست آمد.

۳-۶- صفات فیزیولوژیک

۳-۶-۱- مقدار نسبی آب برگ[1]

مقدار نسبی آب برگ در ۶۴ روز پس از کاشت (مرحله پر شدن دانه) قبل از انجام آبیاری اندازه-گیری شد. برای این منظور در هر کرت چند بوته به طور تصادفی انتخاب شدند و از قسمت یک سوم بالای گیاه، برگ‌های همسن قطع گردیدند. برگ‌های مربوط به هر کرت به طور مجزا در یک پوشش پلاستیکی داخل یخدان به آزمایشگاه انتقال یافتند. در آزمایشگاه با ترازوی با دقت ۰/۰۱ وزن گردیدند (وزن تر) و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (کرامر، ۱۹۸۳). پس از این مدت برگ‌ها از آب مقطر خارج شدند و بعد از این که آب روی آن‌ها با کاغذ صافی خشک شد مجدداً 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 آب نسبی با استفاده از رابطه ۳-۱ صورت گرفت.

رابطه (۳-۱) ۱۰۰* ((وزن خشک – وزن اشباع) / (وزن خشک – وزن تر)) = مقدار نسبی آب برگ

۳-۶-۲- پایداری غشای پلاسمایی

در ۶۴ روز پس از کاشت به طور تصادفی چند گیاه از هر کرت انتخاب شد و از قسمت یک سوم بالایی کانوپی برگ‌های همسن برداشت گردیدند و به طور مجزا درون پاکت‌های پلاستیکی قرار داده شدند و به وسیله یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند. از نمونه‌ها دیسک برگی تهیه شد و مقدار ۰/۱ گرم از آن درون فالکون تیوپ قرار گرفت و ۱۰ میلی لیتر آب مقطر روی آن‌ها ریخته شد. فالکون تیوپ‌ها به مدت ۱۵ دقیقه درون اتوکلاو در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده شدند. به طور مشابه یکسری دیگر نمونه در

[1] - RWC: Relative Water Content

فالکون تیوپ قرار گرفتند و به مدت نیم ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند تا دمای آن به ۲۵ درجه سانتی‌گراد برسد. بعد با استفاده از EC متر، EC مربوط به هر فالکون تیوپ اندازه‌گیری شد و در نهایت با استفاده از رابطه ۳-۲ شاخص پایداری غشاء محاسبه گردید.

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

در این رابطه c_1 و c_2 به ترتیب مقدار EC در دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می باشد.

۳-۶-۳- کلروفیل

به منظور اندازه‌گیری کلروفیل برگ، در ۶۴ روز پس از کاشت به طور تصادفی از چند گیاه در هر کرت، از برگ‌های همسن نمونه برداری انجام شد. اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از روش بدون لهیدگی صورت گرفت. برای این منظور نمونه‌های برگی (۰/۵ گرم) در ۵ میلی‌لیتر از دی متیل سولفوکسید، در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴ ساعت قرار داده شدند. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، کلروفیل اندازه‌گیری گردید. میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۵، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت گردید. سپس با استفاده از روابط موجود میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید محاسبه گردید (پروچازکا و همکاران، ۱۹۹۸).

رابطه (۳-۳) $\text{Chl a} = (12.19\ A665) - (3.45\ A645)$

رابطه (۳-۴) $\text{Chl b} = (21.99\ A645 - 5.32\ A665)$

رابطه (۳-۵) $\text{Chl t} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$

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

۳-۷- عملکرد و اجزای عملکرد

مهم‌ترین عامل در تولید گیاهان زراعی میزان عملکرد دانه است. عملکرد توسط تعداد ۱۰ بوته برداشت شده از هر کرت تعیین گردید. به این صورت که کپسول‌های هر بوته جدا شد و سپس دانه‌های موجود در هر کپسول جداسازی شد و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد و در نهایت وزن هزار دانه بر حسب گرم و عملکرد دانه بر حسب کیلو گرم در هکتار محاسبه گردید.

۳-۸- صفات کیفی

۳-۸-۱- درصد و عملکرد روغن

روغن موجود در بذر بزرک با استفاده از دستگاه سوکسله تعیین گردید. برای این منظور نمونه‌ها از قبل به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس پودر شدند. مقدار ۳ گرم از هر نمونه در کاغذ صافی پیچیده و داخل اکسترکتور دستگاه قرار داده شد. بالن‌ها به مدت ۲ تا ۳ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون خشک شدند. سپس به دسیکاتور منتقل و پس از هم دما شدن با محیط توزین شدند و روی صفحه گرم کننده[1] دستگاه قرار گرفتند. داخل بالن‌ها با مقدار مشخصی پترولیوم اتر به عنوان حلال آلی پر شد. اکسترکتور روی دهانه بالن قرار گرفت و سپس مبرد روی اکسترکتور قرار داده شد. دستگاه با کلید اصلی روشن و دما برای همه نمونه‌ها روی ۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. فرآیند استخراج ۸ ساعت به طول انجامید. پس از این مدت، دستگاه خاموش و حلال جمع شده در داخل اکسترکتور از طریق شیر مخصوص تخلیه خارج گردید. بالن‌ها به زیر هود منتقل شدند تا باقی مانده اتر از بین برود. آن‌ها را به داخل آون منتقل کرده و به مدت ۱ ساعت با دمای ۷۰ و سپس به مدت ۱/۵ ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. بالن‌ها به دیسکاتور

[1] - Hot plate

منتقل و بعد از سرد شدن توزین گردیدند. برای محاسبه درصد روغن موجود در نمونه‌ها از رابطه ۳-۷ استفاده گردید.

رابطه (۳- ۷) ۱۰۰ * (وزن ثانویه بالن- وزن اولیه بالن) = درصد روغن موجود در نمونه

برای محاسبه عملکرد روغن دانه از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه استفاده گردید.

۳-۸-۲- درصد پروتئین دانه

درصد پروتئین با استفاده از دستگاه کجلدال مدل گرهارت[1] ساخت آلمان اندازه‌گیری گردید. به این صورت که ۰/۵ گرم نمونه آسیاب شده به همراه ۸ گرم کاتالیزور و ۲۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد در تیوپ دستگاه ریخته شد و تیوپ در دستگاه هضم کجلدال قرار گرفت. ابتدا درجه دستگاه هضم روی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. بعد از آن به تدریج دما به ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد و از زمانی که دمای ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد ثابت شد حدود یک ساعت و نیم عمل هضم ادامه یافت. با مشاهده رنگ محلول سبز شفاف مرحله هضم به اتمام رسیده پس از سرد شدن محلول‌ها، محلول سفید رنگی به دست آمد. در مرحله بعد تیوپ‌های حاصل از مرحله هضم پروتئین، در دستگاه تقطیر قرار گرفتند. در ارلن جمع آوری کننده گازها، ۶۰ میلی لیتر اسید بوریک ۲ درصد به همراه معرف متیل رد، بروموکروزول سبز (۳ تا ۵ قطره) و سود سوز آور ۴۰ درصد وجود داشت.

در نهایت طی مرحله تیتراسیون، ارلن حاوی گازهای جمع‌آوری شده با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال تیتر شد. سپس با استفاده از رابطه ۳-۸ درصد نیتروژن موجود در نمونه محاسبه گردید. درصد پروتئین با استفاده از ضریب ۶/۲۵ و مطابق رابطه ۳-۹ محاسبه گردید.

رابطه (۳- ۸) وزن نمونه / $\{(V_s - V_b)$ * نرمالیته اسید مصرفی * ۱/۴۰۰۸ }= درصد نیتروژن

[1] - Gerhardt

V_s مقدار اسید مصرفی برای تیتراسیون نمونه (اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال)

V_b مقدار اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال مصرفی برای تیتراسیون نمونه شاهد

رابطه (۳-۹) ۰/۰۵ * درصد نیتروژن = درصد پروتئین

۳-۹- اندازه‌گیری کلسیم و پتاسیم برگ

برای هضم خشک، ابتدا ۲ گرم نمونه خشک شده (در مرحله پر شدن دانه) را با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و در کروزه سیلیسی یا چینی ریخته و در کوره الکتریکی با حرارت معمولی قرار گرفت. دمای کوره به تدریج و در عرض ۲ ساعت به ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. ۴ الی ۱۲ ساعت در این دما نگه داشته شد. سپس کوره خاموش و کروزه‌ها از کوره خارج گردید. بعد از خنک شدن خاکستر با کمی آب خیس گردیده، در همان حال و به آرامی مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک (۳۷ درصد) ۲ مول اضافه شد. بعد از تمام شدن فعل و انفعالات، کروزه‌ها روی حمام آبی و یا اجاق برقی قرار گرفتند و تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند تا اولین بخارات سفید خارج شود. محتویات کروزه از کاغذ صافی ریز به داخل بالن ژوژه ۱۰۰ میلی لیتری صاف شد. کروزه و کاغذ صافی چندین بار با آب مقطر نیم گرم شسته شدند و به حجم رسانده شدند.

برای اندازه‌گیری پتاسیم ابتدا ۱/۹۰ گرم کلرید پتاسیم درون بالن ژوژه به حجم یک لیتر رسانده شد. سپس از این محلول در ۶ عدد بالن ژوژه به میزان صفر، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌لیتر ریخته شد و سپس به هر کدام ۴/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه گردید و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای قرائت میزان پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر شعله‌ای استفاده گردید.

برای اندازه‌گیری کلسیم از روش اتیلن دی آمین تترا استیک اسید استفاده شد. برای تهیه محلول شاهد، ۱۰ میلی‌لیتر کلریدکلسیم ۰/۰۱ نرمال با ۲ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم مخلوط گردید و روی آن به عنوان معرف چند قطره محلول موروکسید اضافه شد. این محلول به رنگ صورتی بود. محلول حاصل به‌وسیله EDTA که در داخل بورت ریخته شد، تیتر گردید. موقعی که رنگ محلول از صورتی به بنفش تغییر کرد، مقدار EDTA مصرفی یادداشت شد.

۳-۱۰- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت پذیرفت.

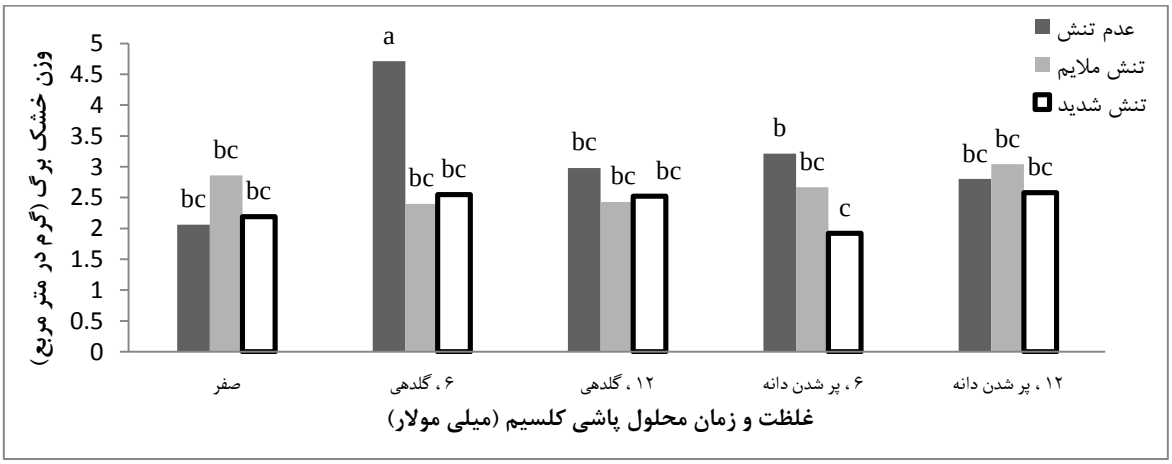
فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- ماده خشک

۴-۱-۱- وزن خشک برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول پیوست ۱ نشان می‌دهد که اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم و نیز اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی بر وزن خشک برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱). در شکل ۴- ۱ مشاهده می‌گردد که بیشترین وزن خشک برگ (۴/۷۱ گرم در مترمربع) مربوط به ترکیب تیماری عدم تنش و غلظت ۶ میلی‌مولار کلرید کلسیم در زمان گلدهی بود که اختلاف قابل توجهی از لحاظ آماری با سایر ترکیبات تیماری داشت. در شرایط تنش ملایم و تنش شدید هیچ یک از غلظت‌های کلرید کلسیم تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ نداشتند. به عبارت دیگر بین سایر ترکیبات تیماری مورد مطالعه اختلاف قابل توجهی مشاهده نگردید.

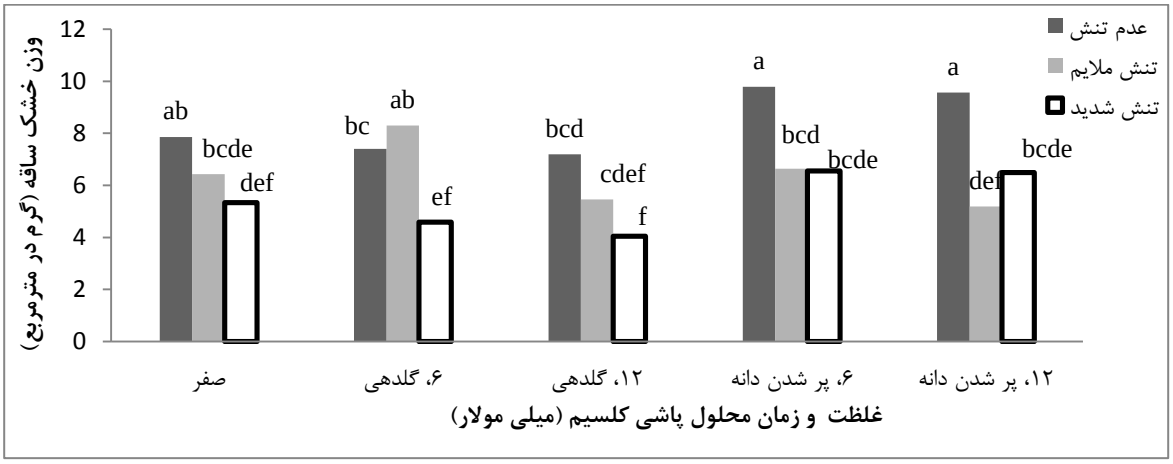


شکل ۴- ۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۱-۲- وزن خشک ساقه

در نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که تیمارها و اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر وزن خشک ساقه داشتند (جدول پیوست ۱). در گیاهانی که در معرض تنش

شدید قرار داشتند محلول‌پاشی کلرید کلسیم در زمان پر شدن دانه با هر دو غلظت مقادیر بالاتری از تجمع ماده خشک در ساقه (۶/۵۵ گرم در مترمربع) به دست آمد که نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین شرایط ۲۲/۶ درصد بیشتر بود (شکل ۴-۲). بیشترین وزن خشک ساقه مربوط به ترکیب تیماری عدم تنش و غلظت ۶ میلی‌مولار کلرید کلسیم در زمان پر شدن دانه (۹/۷۹ گرم در مترمربع) بود که البته اختلاف قابل توجهی با محلول‌پاشی ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم در همین شرایط (۹/۵۷ گرم در مترمربع) نداشت. همچنین در شرایط تنش ملایم محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام گلدهی نیز مقادیر بالایی از وزن خشک ساقه (۸/۳۰ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داد البته سه مقدار یاد شده با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۴- ۲).

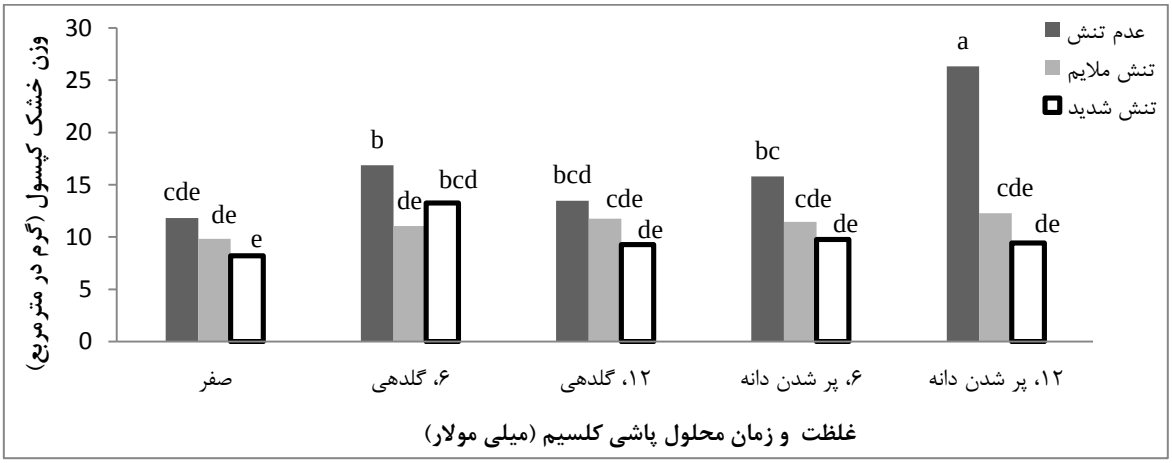


شکل ۴- ۲- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۱-۳- وزن خشک کپسول

تیمار تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، محلول‌پاشی کلرید کلسیم و اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک کپسول معنی‌دار شدند (جدول پیوست ۱). با توجه به شکل ۴-۳ بیشترین وزن خشک کپسول (۲۶/۳۲ گرم در مترمربع) از ترکیب تیماری عدم تنش و غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه حاصل شد. که نسبت به گیاهان شاهد ۱۲۲

درصد بیشتر بود. به طور کلی تنش ملایم و شدید نسبت به شرایط عدم تنش موجب کاهش قابل توجهی در وزن خشک کپسول شدند به طوری که بروز تنش وزن خشک کپسول را از حدود ۱۶/۸۶ گرم در مترمربع به حدود ۹/۹۹ گرم در مترمربع رساند (جدول پیوست ۲). همچنین محلول‌پاشی کلسیم کلراید با غلظت ۱۲ میلی‌مولار هنگام پر شدن دانه موجب افزایش ۶۰/۷ درصدی در وزن خشک کپسول نسبت به عدم محلول‌پاشی (۶/۹۶ گرم در مترمربع) شد (جدول پیوست ۲).

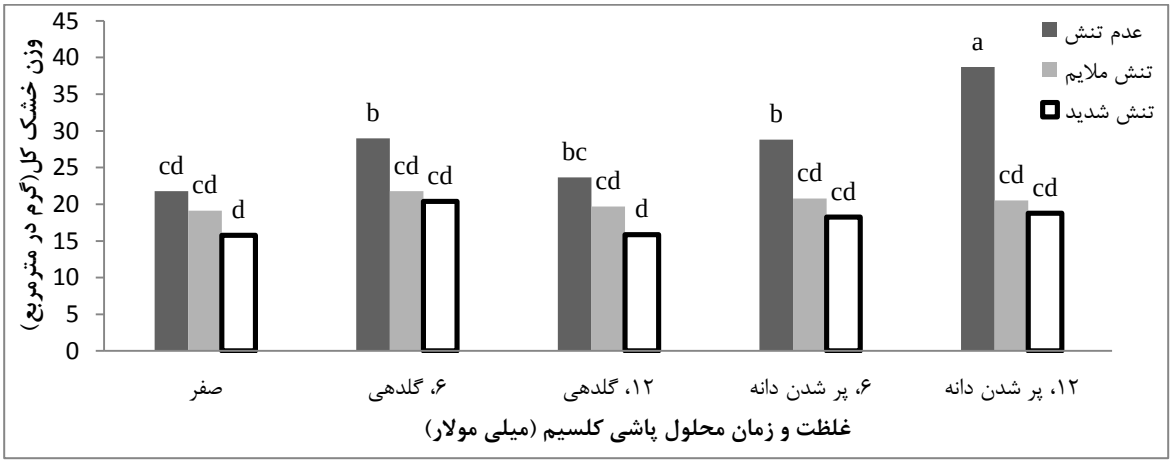


شکل ۴- ۳- مقایسه میانگین وزن خشک کپسول تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۱-۴- وزن خشک کل اندام هوایی

اثر تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم و اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن خشک کل معنی‌دار شدند (جدول پیوست ۱). با توجه به شکل ۴-۴، بیشترین وزن خشک کل معادل ۳۸/۷۰ گرم در مترمربع از ترکیب تیماری عدم تنش و غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه به‌دست آمد. که نسبت به سایر ترکیبات تیماری برتری قابل توجهی داشت و نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی در شرایط عدم تنش) معادل ۷۸ درصد بیشتر بود. در تمامی سطوح محلول‌پاشی کلرید کلسیم مشاهده می‌گردد که تنش شدید کاهش بیشتری در تجمع ماده خشک کل ایجاد نمود که البته اختلاف آن با تنش ملایم معنی‌دار نبود.

کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش خشکی عمدتا ناشی از کاهش تشعشع جذب شده توسط سایه‌انداز گیاه و یا کاهش بازده استفاده از تابش و یا ترکیبی از این دو می‌باشد. افزایش و یا کاهش این دو عامل تاثیر مستقیمی بر رشد و عملکرد نهایی دارد. کاهش بازده استفاده از تابش عمدتا با کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ همراه است و کاهش فتوسنتز برگ و همچنین کاهش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف اجزای گیاه سبب کاهش ماده خشک در بوته می‌گردد (تسفی و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۴- ۴- مقایسه میانگین وزن خشک کل تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۲- صفات زراعی و مرفولوژیک

۴-۲-۱- ارتفاع بوته

همان‌طور که در جدول پیوست ۳ مشاهده می‌شود، هیچ یک از منابع تغییر مورد بررسی در این آزمایش تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گیاه بزرگ نداشتند.

۴-۲-۲- تعداد شاخه فرعی در بوته

در بین منابع تغییر تنها محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد شاخه فرعی در گیاه تاثیر معنی‌دار داشت (جدول پیوست ۳). در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود که، بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم کلراید هنگام گلدهی با میانگینی معادل ۸/۱۸ حاصل

گردیده است که نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش ۴۴/۵ درصدی نشان داد. در سایر سطوح محلول‌پاشی از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری با شاهد مشاهده نشد. همچنین در جدول پیوست ۴ مشاهده می‌شود که تعداد شاخه فرعی در بوته در شرایط عدم تنش از حدود ۷/۲۰ به حدود ۵/۹۶ در شرایط تنش شدید تنزل پیدا کرده است که البته بین سه سطح آبیاری اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود ندارد.

میرشکاری و همکاران (۲۰۱۲) اعلام داشتند که بیشترین تعداد شاخه فرعی در گیاه بزرک تحت شرایط کنترل آبیاری به دست آمد، در حالی که تنش کم آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه موجب کم شدن تعداد شاخه فرعی شد. به نظر می‌رسد تحت شرایط افزایش فواصل آبیاری تعداد سلول‌های آغازین تشکیل شده جهت تولید انشعابات اولیه ساقه کاهش می‌یابد و در نتیجه به کاهش تعداد شاخه فرعی و فرعی فرعی در گیاه می‌انجامد (چنبدرکار، ۱۹۹۴).

شکل ۴- ۵- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم

۴-۲-۳-تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته

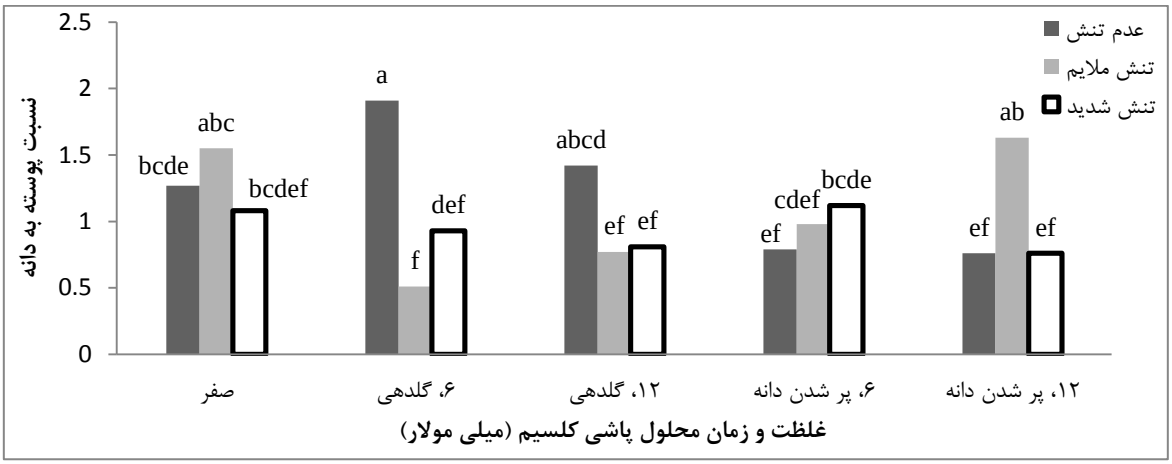
در بین منابع تغییر تنها محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد شاخه فرعی فرعی در گیاه تاثیر معنی‌دار داشت (جدول پیوست ۳). در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود که، تعداد زیادی شاخه فرعی فرعی در بوته‌هایی که با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام گلدهی محلول‌پاشی شده بودند با میانگینی معادل ۱۰/۸۴ ثبت گردید که نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش ۲۴/۵ درصدی نشان

داد،به عبارت دیگر همان تیماری که موجب افزایش تعداد شاخه فرعی در گیاه گردید، موجب افزایش شاخه فرعی فرعی شد. البته در اینجا اختلاف معنی‌داری با غلظت ۶ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام گلدهی (۱۰/۲۲) وجود ندارد. شرایط تنش شدید موجب افت ۲۷/۷ درصدی تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته نسبت به شرایط عدم تنش شد که البته در اینجا نیز همانند صفت تعداد شاخه فرعی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین سطوح تنش وجود نداشت (جدول پیوست ۴).

شکل ۴- ۶- مقایسه میانگین تعداد شاخه فرعی فرعی تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم

۴-۲-۴- نسبت پوسته به دانه

از بین کلیه منابع تغییر تنها اثر متقابل تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر نسبت وزن پوسته به دانه معنی دار بود (جدول پیوست ۵). مطابق با شکل ۴-۷ بیشرین میزان این صفت در ترکیب تیماری عدم تنش و محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار هنگام گلدهی می‌باشد، البته اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با تعدادی از ترکیبات تیماری ندارد. در تنش شدید اختلاف معنی‌داری بین سطوح و زمان‌های محلول‌پاشی با کلسیم به دست نیامد ولی در تنش ملایم مقدار این صفت در اثر محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلسیم هنگام پر شدن دانه به اندازه‌ای افزایش یافت که معادل مقدار این صفت در سطح صفر محلول‌پاشی گردید.



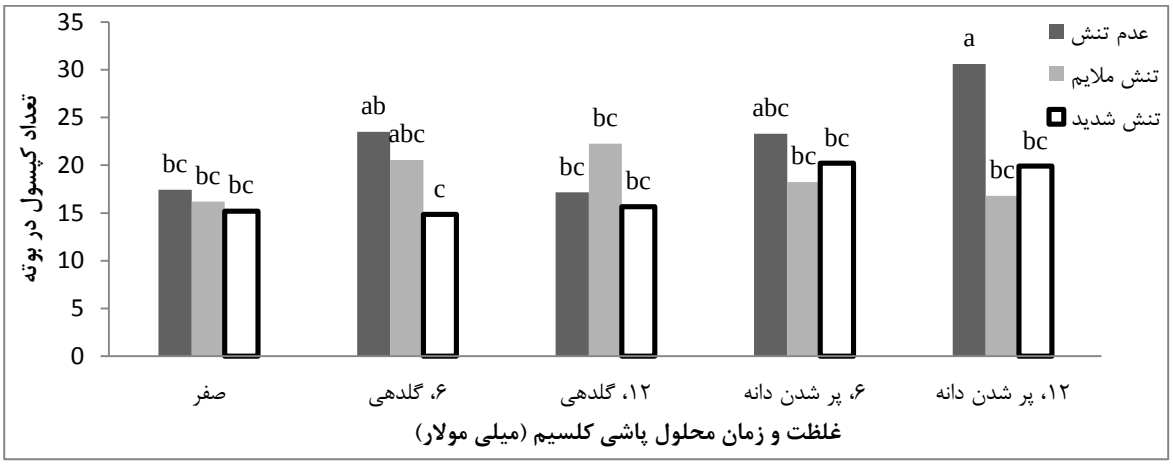
شکل ۴- ۷- مقایسه میانگین نسبت پوسته به دانه تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۳- عملکرد و اجزای عملکرد

۴-۳-۱- تعداد کپسول در بوته

باتوجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس از بین منابع تغییر محلول‌پاشی کلرید کلسیم و اثر متقابل آن با تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد کپسول در بوته تاثیر معنی‌داری داشتند (جدول پیوست ۷). در شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود که ترکیب تیماری عدم تنش و محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم در زمان پر شدن دانه با میانگینی معادل ۳۰/۶۰ در به‌دست آوردن بیشترین تعداد کپسول در بوته نسبت به سایر ترکیبات تیماری پیشی گرفته است، البته با تعدادی از ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری ندارد. به‌طور کلی بالا بودن تعداد کپسول در بوته گیاهانی که با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم را هنگام پر شدن دانه دریافت کرده بودند (جدول پیوست ۸) می‌تواند ناشی از تعداد شاخه فرعی و فرعی فرعی بیشتر در این تیمار باشد.

میرشکاری و همکاران (۲۰۱۲) اعلام داشتند که بیشترین تعداد کپسول در گیاه بزرک تحت شرایط کنترل آبیاری به‌دست آمد، در حالی که تنش کم آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه موجب کم شدن تعداد کپسول در بوته گردید.



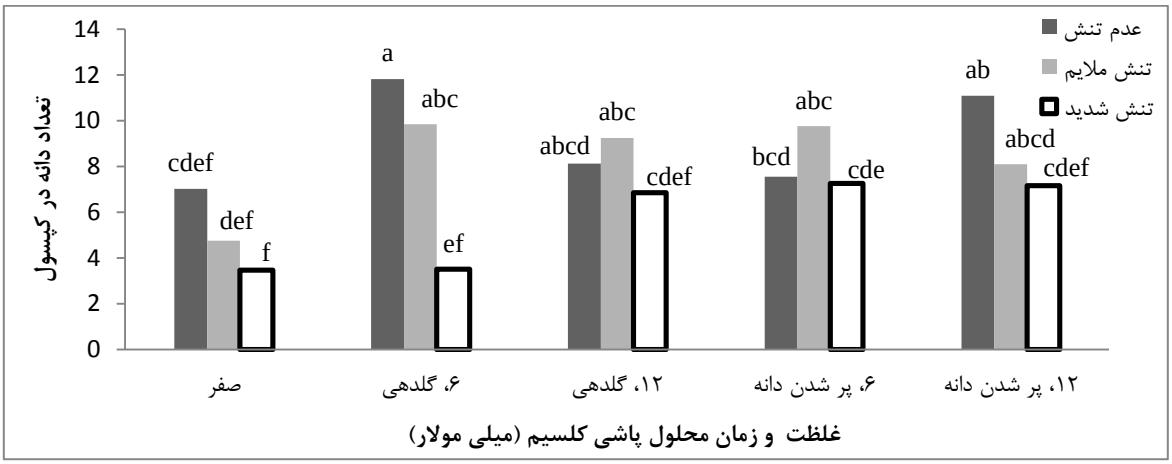
شکل ۴- ۸- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۳-۲- تعداد دانه در کپسول

اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم و اثر متقابل آن با تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد، و تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر صفت تعداد دانه در کپسول معنی‌دار بود (جدول پیوست ۷). در دو ترکیب تیماری محلول‌پاشی با ۶ میلی‌مولار در زمان گلدهی و ۱۲ میلی‌مولار در زمان پر شدن دانه در شرایط عدم تنش مقادیر بالاتری نسبت به سایر ترکیبات تیماری ثبت گردید. البته اثر محلول‌پاشی در تمام سطوح در شرایط تنش ملایم به لحاظ تاثیرگذاری بر این صفت آنقدر مفید بود که تفاوت معنی‌داری با دو سطح یاد شده نداشتند (شکل ۴-۹). در شرایط عدم محلول‌پاشی کلرید کلسیم مشاهده می‌شود که تعداد دانه در کپسول در اثر تنش و شدیدتر شدن آن کاهش (البته غیر معنی‌دار) نشان داد به‌طوری که در نهایت مقادیر پایینی از این صفت (۳/۴۷) در گیاهانی به‌دست آمد که در معرض تنش شدید بودند و محلول‌پاشی نشدند.

این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط میرشکاری و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه بزرک، گکسوی و همکاران (۲۰۰۴) و چیمنتی و همکاران (۲۰۰۲) در مورد اثر تنش خشکی بر تعداد دانه در طبق

آفتابگردان مطابقت دارد. همچنین احمدی (۱۳۹۱) اظهار داشت محلول‌پاشی روی و کلسیم بیشترین تاثیر را در تعداد دانه در کپسول کنجد دارد.



شکل ۴- ۹- مقایسه میانگین تعداد دانه در کپسول تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۳-۳- وزن هزار دانه

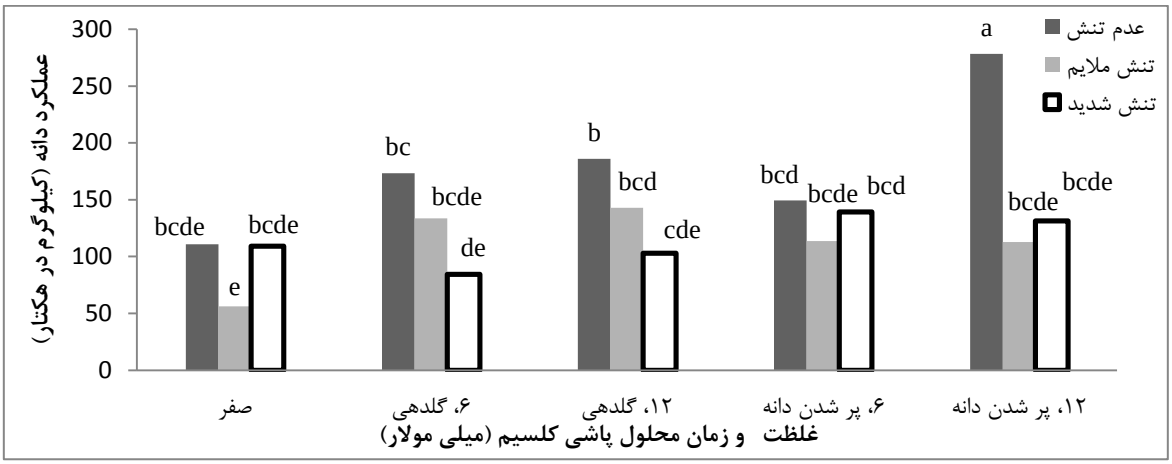
همان‌طور که در جدول پیوست ۷ مشاهده می‌شود هیچ یک از منابع تغییر تاثیری بر صفت وزن هزار دانه نداشتند. با این حال محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه تاثیر جزئی (۵/۸ درصد) بر این صفت داشت که اختلاف چندانی از نظر آماری با سایر سطوح محلول‌پاشی نداشت (جدول پیوست ۸).

احمدی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که کاربرد نیترات کلسیم موجب افزایش وزن هزار دانه در کلزا گردید.

۴-۳-۴- عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی کلرید کلسیم و اثر متقابل آن با تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشت (جدول پیوست ۷). کاربرد ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه و شرایط عدم تنش موجب اختلاف چشمگیری در عملکرد دانه (۲۷۸/۳ کیلوگرم در هکتار) در این ترکیب تیماری شده است که حدود ۱۵۰ درصد بیشتر از عدم محلول‌پاشی در شرایط عدم تنش بود. چنین نتیجه‌ای قابل پیش‌بینی بود، چرا که ماده خشک کل گیاه و نیز اجزای عملکرد به‌ویژه تعداد کپسول در بوته نیز در این ترکیب تیماری از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار بود. به طور کلی جدول پیوست ۸ نشان می‌دهد که تنش کم آبی عملکرد دانه را کاهش داد. محلول‌پاشی کلسیم در زمان پر شدن دانه بهتر بود و غلظت ۱۲ میلی‌مولار تاثیر بیشتری در عملکرد دانه داشت. کمترین عملکرد نیز در شرایطی مشاهده شد که مقادیر پایینی برای تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول ثبت شد (شکل ۴-۱۰).

میرشکاری و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که شرایط تنش در زمان گلدهی و پر شدن دانه موجب کاهش در اجزای عملکرد و عملکرد دانه بزرگ شده است. همچنین گزارش شده است که محلول‌پاشی کلسیم اثر مثبتی بر اجزای عملکرد کنجد دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهش دیگری مشخص شد که مصرف کود کلسیم در شرایط تنش کم آبیاری موجب افزایش عملکرد ذرت دانه‌ای گردید (زارعی و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۴- ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۴- صفات فیزیولوژیک

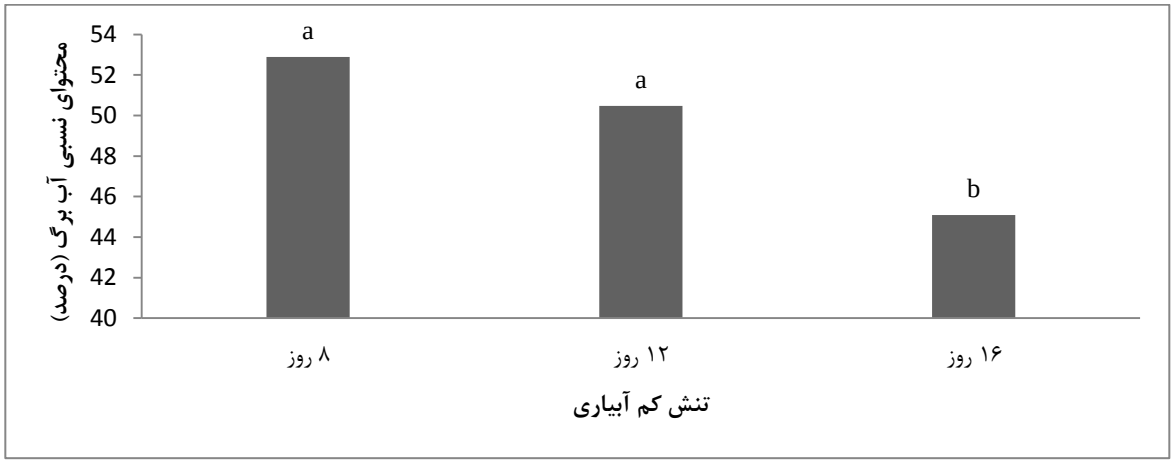
۴-۴-۱- محتوای نسبی آب برگ

تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت (جدول پیوست ۹). همان‌طور که در شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌شود دور آبیاری ۱۶ روز موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ شد. محتوای آب نسبی بالاتر گیاه، به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است.

محتوای آب نسبی بالاتر ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و با توانایی ریشه در جذب آب حاصل شود (بلوم و همکاران، ۱۹۸۱). 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 برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانسته‌اند. کاستریلو و تروجیلو (۱۹۹۴) نیز همبستگی مثبتی بین محتوای نسبی آب برگ و غلظت کلروفیل، پروتئین و فعالیت رابیسکو مشاهده کردند. با توجه به نقش پروتئین و کلروفیل در حفظ فتوسنتز و مقاومت به

خشکی، می‌توان از محتوای نسبی آب برگ به عنوان یک شاخص در جهت مقاومت به خشکی استفاده کرد.

معصومی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی نشان دادند که، اعمال تنش در هر مرحله از نمو گیاه کوشیا موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود. عباس‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) نیز اظهار داشتند که حداکثر محتوای نسبی آب برگ در گیاه بادرنجبویه مربوط به شرایط عدم تنش می‌باشد.



شکل ۴- ۱۱- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ تحت تاثیر سطوح تنش کم آبیاری

محلول‌پاشی کلرید کلسیم با غلظت ۶ میلی‌مولار در زمان گلدهی و پر شدن دانه موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. در شرایط عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۲ میلی‌مولار در زمان پر شدن دانه مقادیر پایینی از محتوای نسبی آب برگ ثبت شد (شکل ۴-۱۲). صادقی لطف آبادی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که مصرف کلسیم و پتاسیم در شرایط تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ گردید.

شکل ۴- ۱۲- مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم

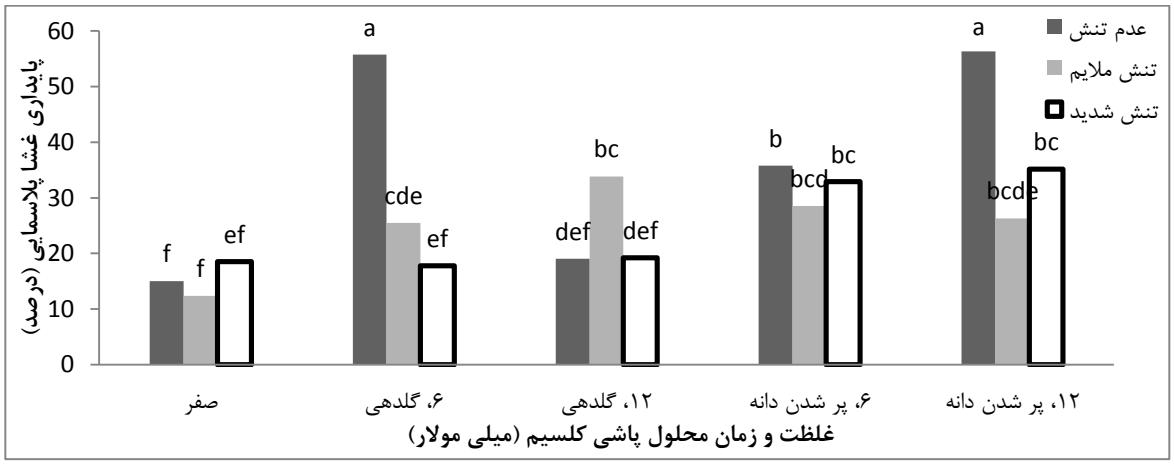
۴-۴-۲- پایداری غشاء پلاسمایی

با توجه به جدول پیوست ۹ اثر تمامی منابع تغییر بر صفت پایداری غشاء پلاسمایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. پایداری غشاء در شرایط عدم محلول‌پاشی با کلسیم پایین بود. در حالی که کاربرد برگی کلسیم در اغلب شرایط و غلظت‌ها سبب بهبود این صفت گردید (شکل ۴- ۱۳). به طور خاص در شکل ۴-۱۳ مشاهده می‌شود که کاربرد کلرید کلسیم در هر دو غلظت هنگام پر شدن دانه، توانست پایداری غشاء پلاسمایی را در گیاهانی که در تنش شدید رشد کرده بودند (البته غیر معنی‌دار)، بهبود بخشد. در شرایط عدم تنش نیز تقریبا چنین وضعیتی مشاهده شد. به طوری که در مجموع بیشترین پایداری غشاء در عدم تنش و محلول‌پاشی با کلسیم ۶ میلی‌مولار در زمان گلدهی و ۱۲ میلی-مولار در زمان پر شدن دانه به دست آمد که به طور چشمگیری بیشتر از سایر ترکیبات تیماری بود.

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 به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود. میزان هدایت الکتریکی در محیط آبی خسارت تنش خشکی و یا تنش گرمایی را به غشاء سلولی نشان می‌دهد و میزان پایداری غشاء سلولی به‌خوبی با تحمل سایر فرآیندهای گیاهی به تنش از جمله فتوسنتز مرتبط است و به عنوان شاخصی از تحمل به تنش ارئه شده است

(سانچز رودریگوز و همکاران، ۲۰۱۰). در این رابطه معصومی و همکاران (۱۳۸۸) اظهار داشتند، تنش خشکی موجب کاهش پایداری غشاء پلاسمایی در گیاه کوشیا شده است.

کلسیم با پیوند دادن فسفات‌ها و گروه‌های کربوکسیلات، فسفولیپیدها و پروتئین‌های سطح غشای سلولی، سبب پایداری آن می‌شود (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰). پیوندهای کلسیم به صورت پکتات در تیغه میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت گیاهی ضروری است. تخریب پکتات‌ها به وسیله آنزیم پلی گالاکتونازها صورت می‌گیرد. زمانی که مقدار کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آنها ممانعت می‌شود (مارچنر، ۱۹۹۵). در بافت‌هایی که کمبود کلسیم دارند، فعالیت آنزیم پلی گالاکتونازها افزایش می‌یابد و علائم مشخص کمبود کلسیم مثل تجزیه دیواره سلولی و افتادن اندام‌های گیاهی مثل ریزش برگ‌ها دیده می‌شود (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰). برای حفاظت غشاء پلاسمایی در مقابل آسیب‌های ناشی از تنش‌های مختلف، حضور یون کلسیم در محیط بیرونی، جایی که می‌تواند جذب یون‌ها تنظیم شود، ضروری است (نیو، ۱۹۹۵).



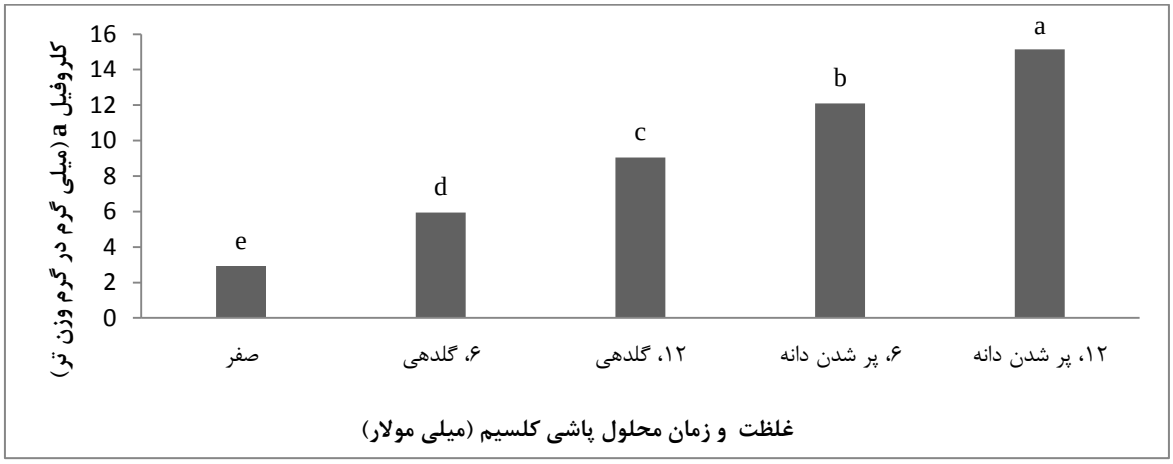
شکل ۴- ۱۳- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۴-۳- کلروفیل و کاروتنوئید

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس دیده می‌شود (جدول پیوست ۱۱) در بین منابع تغییر تنها محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کلروفیل a معنی‌دار گردید. بین هر یک از

سطوح کلسیم اختلاف معنی‌داری به لحاظ تاثیرگذاری بر مقدار کلروفیل a مشاهده گردید. به طوری که بیشترین میزان در این صفت مربوط به غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه بود که نسبت به کمترین مقدار مشاهده شده در شرایط عدم کاربرد کلسیم، ۴۱۷ درصد بیشتر بود (شکل ۴-۱۴).

بر اساس نظر اسکاتز و فانگمیر (۲۰۰۱)، کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند. افزایش مقدار کلروفیل با مصرف کلسیم در گیاه لوبیا با نتایج اشرف (۱۹۹۴) و گارگ و همکاران (۱۹۹۸) مطابقت دارد.

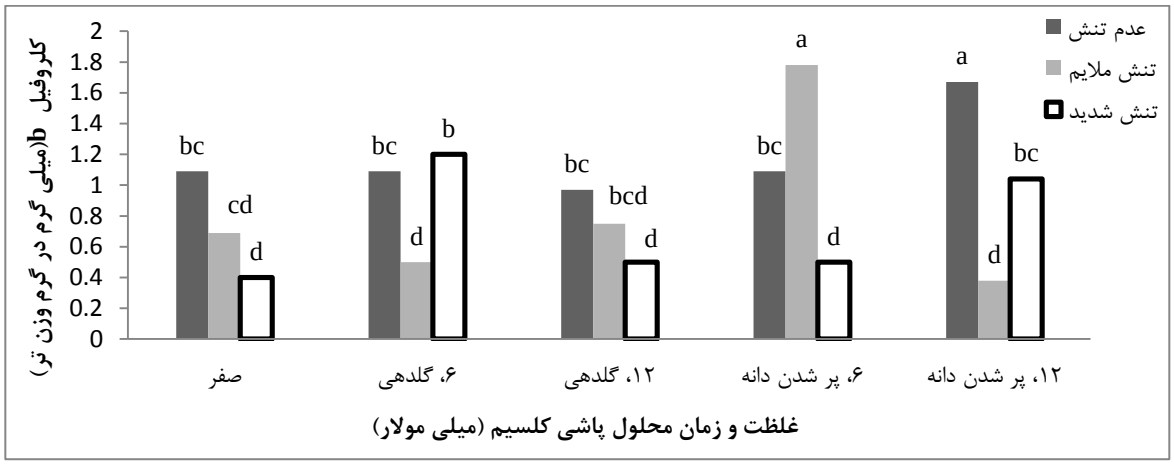


شکل ۴- ۱۴- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم

همچنین با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر کلیه منابع تغییر بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۱).

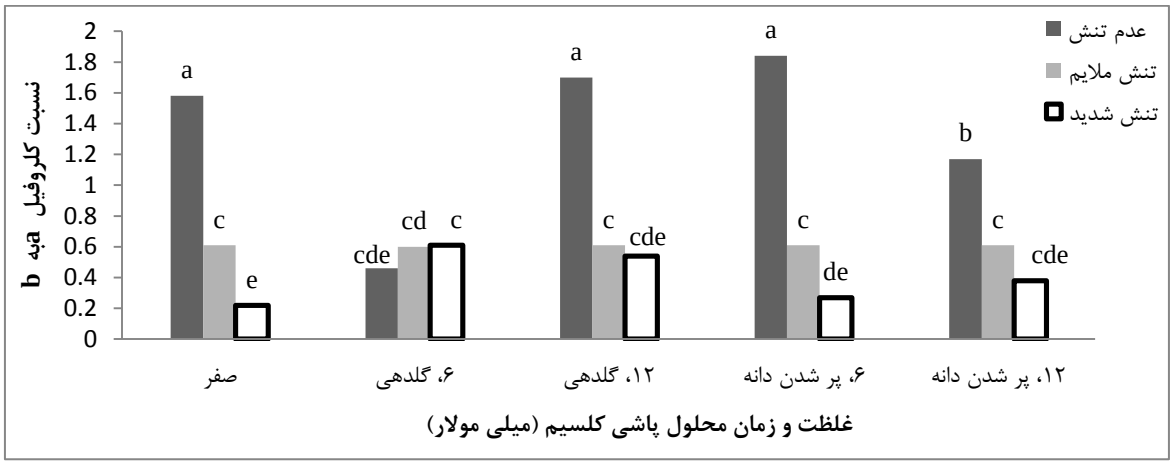
در شکل ۴-۱۵ اثر ترکیبات تیماری حاصل از تنش و سطوح محلول‌پاشی کلسیم بر میزان کلروفیل b مقایسه شده است. نوسان زیادی در نتیجه وجود دارد منتهی کاملا مشهود است که بیشترین مقدار کلروفیل b مربوط به محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار در زمان پر شدن دانه در شرایط تنش ملایم و محلول‌پاشی با ۱۲ میلی‌مولار در زمان پر شدن دانه در شرایط عدم تنش بود. در شرایط تنش

شدید محلول‌پاشی کلسیم با غلظت ۶ میلی‌مولار هنگام گلدهی و ۱۲ میلی‌مولار هنگام پر شدن دانه مفیدتر بود.



شکل ۴- ۱۵- مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

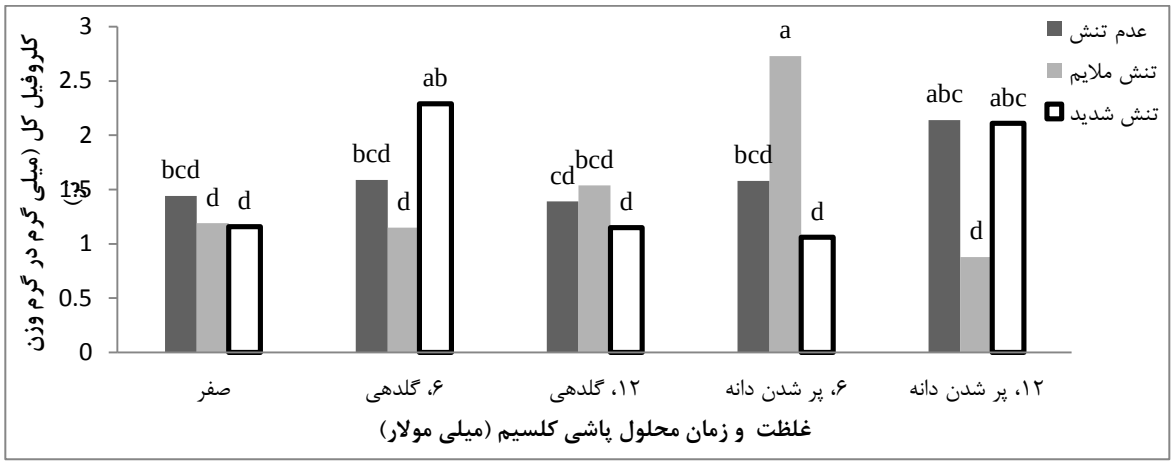
بر طبق جدول پیوست ۱۱، اثر کلیه منابع تغییر بر نسبت کلروفیل a/b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. شکل ۴- ۱۶ بیانگر این موضوع می‌باشد که، محلول‌پاشی کلرید کلسیم در تمامی سطوح اثر مثبتی بر نسبت کلروفیل a/b در گیاهانی که در شرایط عدم تنش و تنش ملایم رشد یافتند، نداشت. در حالی که در شرایط تنش شدید موجب بهبود هر چند جزئی و غیر معنی‌دار در این صفت گردید. به طور کلی این نسبت در شرایط عدم تنش به طور قابل توجهی بیشتر از دو سطح تنش بود، که نشان دهنده ضعیف شدن مرکز واکنش فتوسیستم‌ها در شرایط تنش می‌باشد.



شکل ۴- ۱۶- مقایسه میانگین نسبت کلروفیل a/b تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل آن با تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کلروفیل کل معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۱۱). در شکل ۴-۱۷ افزایش ۱۲۹/۴ درصدی کلروفیل کل در شرایط تنش ملایم و محلول‌پاشی با غلظت ۶ میلی‌مولار هنگام پر شدن دانه نسبت شرایط عدم تنش و عدم محلول‌پاشی مشهود است. که البته این مقدار با سه ترکیب تیماری دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. سایر ترکیبات تیماری نیز از نظر تاثیرگذاری بر کلروفیل کل با هم اختلافی نداشتند.

معصومی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی روی گیاه کوشیا، به این نتیجه رسیدند که تنش خشکی موجب کاهش کلروفیل می‌شود. جهانی و همکاران (۱۳۹۰) در یک بررسی روی گیاه جو به این نتیجه رسیدند که کاربرد یون کلسیم در شرایط تنش شوری موجب افزایش میزان عدد کلروفیل متر گردید. لطف آبادی و همکاران (۱۳۸۸) نیز گزارش کردند مصرف کلسیم و پتاسیم تحت تنش شوری موجب افزایش کلروفیل در گیاه سورگم گردید.



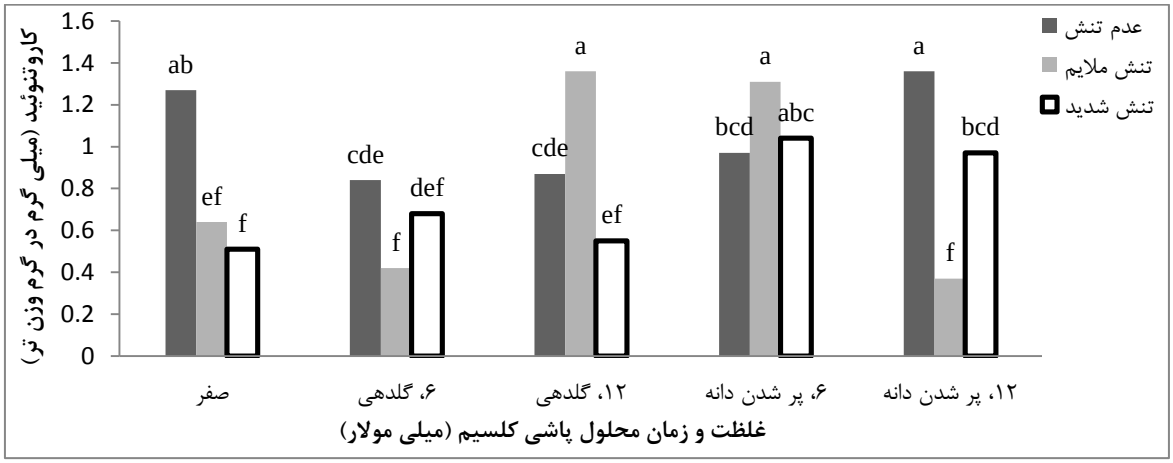
شکل ۴- ۱۷- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار کلیه منابع تغییر در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کاروتنوئید بود (جدول پیوست ۱۶). در گیاهانی که کلسیم دریافت نکرده بودند و هر ۸ روز یکبار آبیاری شدند، کاروتنوئید برگ بالا بود ولی بروز تنش کم آبی در این شرایط میزان این صفت را به شدت کاهش داد. محلول‌پاشی با ۶ میلی‌مولار هنگام پر شدن دانه و ۱۲ میلی‌مولار هنگام گلدهی تحت شرایط تنش ملایم و ۱۲ میلی‌مولار هنگام پر شدن دانه در شرایط عدم تنش موجب بهبود میزان کاروتنوئید شد، که با عدم محلول‌پاشی در شرایط عدم تنش اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش شدید محلول-پاشی با هر دو غلظت کلسیم در زمان پر شدن دانه کاروتنوئید برگ را افزایش داد که نشان دهنده بهبود سیستم دفاعی گیاه است (شکل ۴-۱۸).

کاهش محتوای کاروتنوئیدها در شرایط تنش می‌تواند به دلیل اکسید شدن آنها توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آنها باشد. در شرایط تنش کمبود آب روزنه‌ها در گیاه بسته می‌شوند و غلظت دی‌اکسیدکربن در بافت مزوفیل کاهش می‌یابد و موجب اختلال در واکنش‌های تاریکی فتوسنتز می‌شود. در این شرایط حامل‌های انرژی مصرف نشده و منجر به تشکیل رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل می‌گردد و تنش اکسیداتیو ایجاد می‌شود. یکی از مهمترین صدمات

اکسیداتیو که در این شرایط ایجاد می‌شود، تخریب مولکول کلروفیل است. به دنبال این تخریب گیاه رنگی به نظر می‌رسد که دلیل آن افزایش و قابل رؤیت شدن رنگیزه‌های محافظ مانند کاروتنوئیدها می‌باشد. کاروتنوئیدها در این شرایط قادرند انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه را گرفته و اکسیژن یک تایی را به سه تایی تبدیل کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولید شده نقش آنتی اکسیدانی خود را ایفا کنند (قربانلی و همکاران، ۱۳۹۰).

قربانلی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی که روی گیاه بزرک در شرایط تنش خشکی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که میزان کاروتنوئید در برگ گیاه بزرک کاهش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد. بررسی روی زیتون نیز نشان داد که مقدار کاروتنوئید با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد (بن احمد و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین نتایج مشابهی روی گیاهان آفتابگردان و سورگوم به‌دست آمده است که حکایت از کاهش این رنگیزه در اثر تنش کم آبی دارد (مانیوانان و همکاران، ۲۰۰۷؛ سوریان و کالرمپل، ۲۰۰۹).

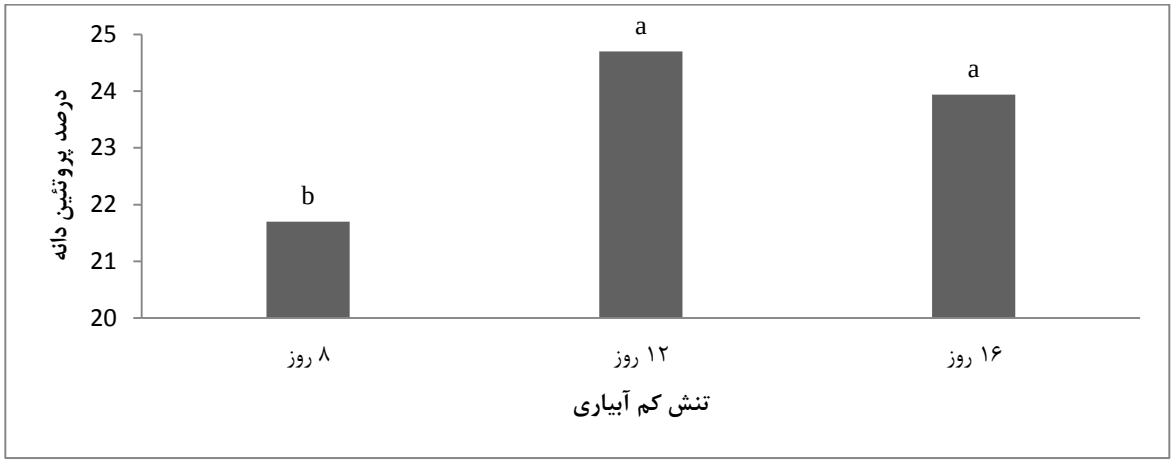


شکل ۴- ۱۸- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلراید کلسیم

۴-۵- صفات کیفی

۴-۵-۱- درصد پروتئین دانه

از میان کلیه منابع تغییر تنها اثر تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین مشاهده می‌شود که، بروز تنش در گیاه بزرک موجب افزایش پروتئین دانه گردید. درصد پروتئین در دانه گیاهانی که در معرض تنش ملایم بودند بیشتر بود ولی اختلاف معنی‌داری با تنش شدید نداشت. کمترین درصد پروتئین دانه با میانگین ۲۱/۷ درصد مربوط به دور آبیاری ۸ روز بود (شکل ۴-۱۹).



شکل ۴- ۱۹- مقایسه میانگین درصد پروتئین تحت تاثیر سطوح تنش کم آبیاری

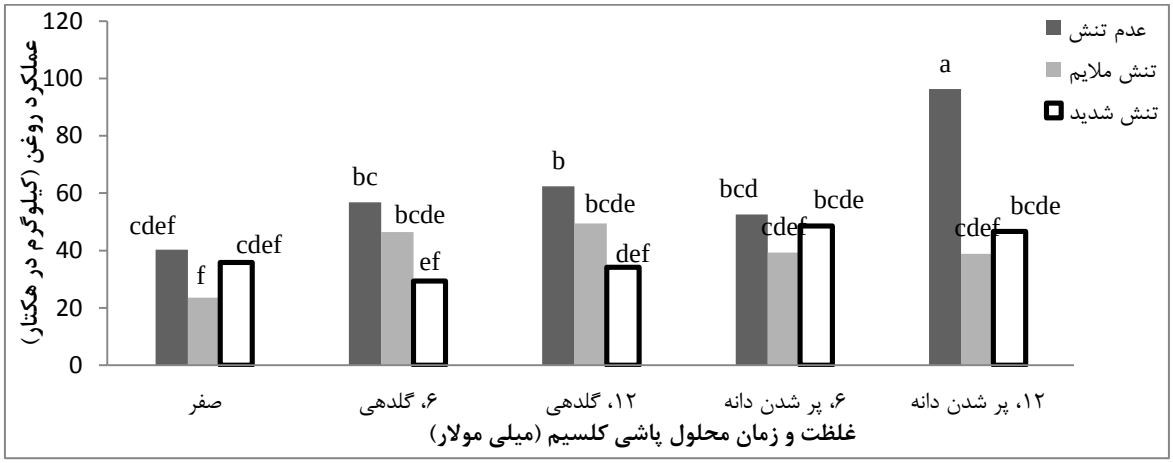
۴-۵-۲- درصد روغن دانه

اثر هیچ یک از منابع تغییر بر درصد روغن معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۱۳). این نتیجه با نتایج رحیمی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) و گکسوی و همکاران (۲۰۰۴) مبنی بر معنی‌دار نشدن درصد روغن در شرایط تنش خشکی در گیاه آفتابگردان مطابقت دارد.

۴-۵-۳- عملکرد روغن

محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثر متقابل آن با تنش کم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۳). محلول‌پاشی هنگام پر شدن دانه با غلظت ۱۲ میلی‌مولار موجب افزایش ۸۲/۲ درصدی عملکرد روغن گردید. همچنین بیشترین عملکرد روغن با میانگین معادل ۶۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار، در شرایط عدم تنش حاصل شد (جدول پیوست ۱۴). به طور کلی همه سطوح محلول‌پاشی با کلسیم در هر سه سطح آبیاری موجب افزایش عملکرد روغن گردید. محلول‌پاشی با هر دو غلظت کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه در شرایط تنش شدید، و محلول‌پاشی با هر دو غلظت کلسیم کلراید هنگام گلدهی در شرایط تنش ملایم افزایش نسبی عملکرد روغن را نسبت به عدم محلول‌پاشی در این شرایط به‌دنبال داشت (شکل ۴-۲۲).

میرشکاری و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که بیشترین درصد و عملکرد روغن بزرگ در شرایط کنترل آبیاری به دست آمد. در پژوهش رحیمی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) عملکرد روغن آفتابگردان تحت تاثیر تنش آبیاری کاهش پیدا کرد. احمدی (۱۳۹۱) بیان کرد، محلول‌پاشی عناصر روی و کلسیم بیشترین تاثیر را در افزایش درصد و عملکرد روغن کنجد داشتند.



شکل ۴- ۲۰- مقایسه میانگین عملکرد روغن تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴-۵-۴- میزان کلسیم برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که، تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان کلسیم برگ اثر معنی‌دار داشته است (جدول پیوست ۱۵). بیشترین میزان کلسیم در برگ تحت شرایط تنش شدید (۱/۵۵ میلی‌اکی‌والان) بود که نسبت به فواصل ۸ و ۱۲ روز آبیاری به ترتیب ۴۲ و ۳۳ درصد بیشتر بود (شکل ۴-۲۱). کلسیم اهمیت زیادی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان دارد و موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های مختلف می‌شود (پرویز و سات‌یاواتی، ۲۰۰۸). کلسیم در شرایط تنش رشد گیاه را بهبود بخشیده و به عنوان یک ماده محافظت کننده از طریق تنظیم اسمزی اثرات تنش را تخفیف می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۴-۲۲ دیده می‌شود، محلول‌پاشی با غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه بیشترین میزان کلسیم را در برگ ذخیره کرده است. سایر سطوح محلول‌پاشی اختلاف قابل توجهی در میزان کلسیم برگ ایجاد ننمود. کلسیم عنصری کم تحرک در گیاه است بنابراین کاربرد برگی آن توانسته است دسترسی گیاه را به این ماده مغذی افزایش دهد. انتقال این عنصر در آوند آبکش بدلیل کم تحرکی به ندرت صورت می‌گیرد و بعد از مرحله پر شدن دانه در دیواره‌های سلولی و واکوئل‌ها رسوب می‌یابد و موجب افزایش مقدار آن در ماده خشک برگ می‌شود.

شکل ۴- ۲۱- مقایسه میانگین میزان کلسیم برگ تحت تاثیر سطوح تنش کم آبیاری

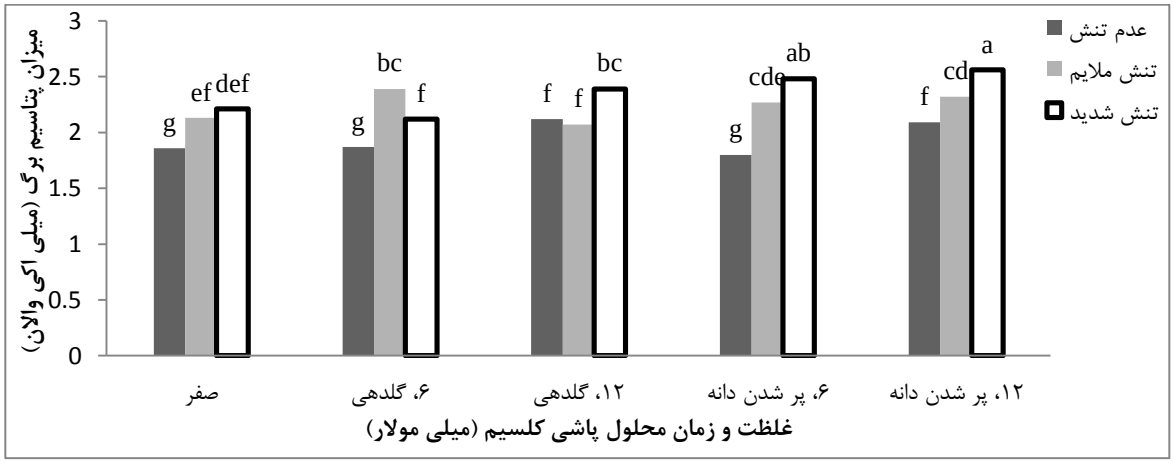
شکل ۴- ۲۲- مقایسه میانگین میزان کلسیم تحت تاثیر سطوح مختلف غلظت کلرید کلسیم

۴-۵-۵- میزان پتاسیم برگ

اثر تمامی منابع تغییر بر میزان پتاسیم برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۵). بیشترین میزان پتاسیم برگ نیز مانند کلسیم در شرایط تنش شدید (معادل ۲/۳۵ میلی‌اکی‌والان) بود که نسبت به شرایط عدم تنش افزایش ۹۷/۴ درصدی داشته است (جدول پیوست ۱۶ و شکل ۴-۲۳). پتاسیم فراوان‌ترین کاتیون موجود در سیتوپلاسم است و نمک‌های پتاسیمی به ایجاد پتانسیل اسمزی مناسب در درون سلول‌ها و بافت‌های گیاهان کمکی عمده می‌کند. گیاه به‌وسیله تجمع پتاسیم در کلروپلاست و سیتوپلاسم فشار اسمزی را افزاش می‌دهد و با این سازوکار در برابر خشکی مقاومت می‌کند (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۸). وجود مقدار کافی یون کلسیم در محیط رشد از طریق تاثیر بر جذب انتخابی پتاسیم سبب افزایش آن در گیاه شده است.

بین یون پتاسیم و کلسیم اثر همیاری وجود دارد. ورود کلسیم به داخل سیتوپلاسم سلولی کمتر است و بیشتر در خارج سیتوپلاسم وظیفه خود را انجام می‌دهد. از طرف دیگر، مناسب بودن وضعیت دیواره میانی سلول که کلسیم در ساختمان آن وجود دارد، موجب کاهش تراوش پتاسیم از سلول‌های ریشه به محیط خارج می‌شود و در نتیجه وضعیت مطلوب‌تری از نظر تغذیه پتاسیم در ریشه ایجاد می‌شود (ناوارو، ۲۰۰۰؛ تیموتی، ۱۹۹۵).

همان‌طور که در شکل ۴-۲۳ مشاهده می‌شود، به طور مشخص در گیاهانی که با فواصل ۱۶ روز آبیاری شدند (تنش شدید)، در اثر محلول‌پاشی با هر دو غلظت کلسیم هنگام پر شدن دانه مقدار پتاسیم بیشتری در برگ ثبت گردید. در جدول پیوست ۱۶ نیز دیده می‌شود که، بیشترین میزان پتاسیم تحت محلول‌پاشی کلرید کلسیم با غلظت ۱۲ میلی‌مولار هنگام پر شدن دانه (معادل ۲/۳۲ میلی‌اکی‌والان) حاصل شد که نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش ۱۲ درصدی داشته است. کلسیم و پتاسیم جزو عناصر پر مصرفی هستند که به دلیل کارکردهای خود اهمیت زیادی در واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی دارند. تنظیم اسمزی از طریق جذب و تجمع این یون‌ها و همچنین افزایش یون‌های دیگر و ترکیبات آلی در سلول منجر به حفظ پتانسیل اسمزی می‌گردد.



شکل ۴- ۲۳- مقایسه میانگین میزان پتاسیم برگ، تحت تاثیر ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف تنش کم آبیاری و غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم

۴- ۶- نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق به طور خلاصه شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- تنش کم آبیاری موجب کاهش صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک از جمله وزن خشک برگ، ساقه، کپسول و وزن خشک کل اندام هوایی، تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه، محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء پلاسمایی و عملکرد روغن گردید.

۲- تنش کم آبیاری سبب افزایش میزان کلسیم و پتاسیم برگ و نیز درصد پروتئین دانه شد.

۳- محلول‌پاشی با غلظت بالای کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه موجب افزایش برخی صفات از قبیل وزن خشک ساقه، کپسول، وزن خشک کل، تعداد کپسول در بوته و عملکرد دانه، پایداری غشاء پلاسمایی، میزان کلروفیل a، عملکرد روغن و میزان کلسیم و پتاسیم برگ گردید.

۴- بیشترین میزان عملکرد دانه و عملکرد روغن در ترکیب تیماری عدم تنش و غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه مشاهده شد.

۵- در نهایت نتایج نشان داد که محلول‌پاشی با بیشترین غلظت کلرید کلسیم هنگام پر شدن دانه در هر سه سطح آبیاری در اکثر صفات عملکرد بهتری داشت.

۴- ۷- پیشنهادات

۱- امروزه بزرک به عنوان یک گیاه زراعی فراموش شده محسوب می شود اما به دلیل خواص دارویی مهم آن، نیازمند به تحقیقات بیشتری در این زمینه می باشد.

۲- پیشنهاد می‌شود تاثیر محلول‌پاشی کلرید کلسیم بر سایر تنش‌های محیطی مورد بررسی قرار گیرد.

۳- دامنه وسیع‌تری از غلظت‌های کلسیم، در مراحل رشدی مختلف گیاهان زراعی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

۱) **اسکوئی، ب.، زارعیان، ع. و خندان، ع. ۱۳۸۹.** اثر تنش خشکی بر برخی از ارقام و لاین های گندم در مرحله رشد رویشی. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. تهران، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی ایران. ۲-۴ مرداد. صفحه: ۳۶۸۰ – ۳۶۷۷.

۲) **احمدی، م. ۱۳۷۸.** کیفیت و کاربرد دانه‌های روغنی (ترجمه). چاپ اول. انتشارات نشر آموزش کشاورزی، تهران. ۱۱۳ صفحه.

۳) **احمدی، ج. ۱۳۹۱.** تاثیر محلولپاشی ریزمغذی‌های آهن، روی و کلسیم بر عملکرد دانه و روغن ارقام کنجد. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شاهد.

۴) **احمدی، ج.، سیفی، م. م. و امینی دهقی، م. ۱۳۹۱.** تاثیر محلول‌پاشی ریزمغذی‌های آهن، روی و کلسیم بر عملکرد و روغن ارقام کنجد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۵ (۳): ۱۳۰- ۱۱۵.

۵) **امام، ی. ۱۳۷۴.** فیزیولوژی تولید گیاهان زراعی گرمسیری. انتشارات دانشگاه شیراز. ۳۰۵ صفحه.

۶) **امام، ی. و نیک نژاد، م. ۱۳۸۳.** مقدمه ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). چاپ سوم. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۱ صفحه.

۷) **امام، ی. و ثقه الاسلامی، م. ۱۳۸۴.** عملکرد گیاهان زراعی، فیزیولوژی و فرآیندها. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۹۳ صفحه.

۸) **امید بیگی، ر. ۱۳۷۶.** رهیافت‌های تولید و فرآوری گیاهان داروئی. جلد دوم. انتشارات طراحان نشر. تهران. ۴۳۸ صفحه.

۹) **اهدایی، ب. ۱۳۶۵.** اصلاح نباتات. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۶۸۹ صفحه.

۱۰) **ایران‌نژاد، ح. ۱۳۸۶.** زراعت گیاهان دارویی و روغنی شاهدانه،کتان روغنی و کرچک. انتشارات آییژ، تهران. ۱۲۸ صفحه.

۱۱) **ایران‌نژاد، ح.، پرهیزگار، ف. و اورکی، ح. ۱۳۸۹.** زراعت گیاه کتان روغنی داروئی و الیافی. انتشارات هرم. تهران. ۱۵۲ صفحه.

۱۲) **ترک نژاد، ا. و حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۷۹.** شاخص‌های مقاومت به خشکی در برخی از گونه‌های یونجه یکساله. مجله پژوهش و سازندگی. ۴۸: ۱۰-۱۴.

۱۳) **جلیلی مرندی، ر. ۱۳۸۹.** فیزیولوژی تنش‌های محیطی و مکانیسم‌های مقاومت در گیاهان باغی. جلد اول. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد ارومیه. آذربایجان غربی. ۱۲۸۵ صفحه.

۱۴) **جنوبی، پ.، دانشیان، ج. و باهنر، ب. ۱۳۸۹.** تاثیر تنش کم آبی بر برخی صفات رویشی و عملکرد گیاه سویا. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۲ تا ۴ مرداد پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی ایران. صفحات ۴۷۸۶ – ۴۷۸۴.

۱۵) **جهانی، ص.، لاهوتی، م. و عباسی، ف. ۱۳۹۰.** اثر برهمکنش $Na^{+} - Ca^{+2}$ بر تغییرات قندهای محلول و میزان عدد کلروفیل متر در گیاه جو (*Hordeum Vulgare* L. cv. Reyhan). اولین همایش ملی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار. دانشگاه پیام نور استان خوزستان.

۱۶) **حیدری، م. ۱۳۸۶.** واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی. چاپ اول، نشر ارس رایانه، تهران. ۹۶ صفحه.

۱۷) **خواجه‌پور، م.ح. ۱۳۸۶.** گیاهان صنعتی. چاپ سوم. انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. ۵۸۰ صفحه.

۱۸) **درویش بلوچی، م.، پاک نژاد، ف.، کاشانی، ع.، اردکانی، م. و درویش بلوچی، م. ۱۳۸۹.** بررسی تاثیر تنش خشکی و تغذیه برگی برخی از عناصر کم مصرف بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل، محتوی کلروفیل، RWC، پایداری غشاء و عملکرد دانه ذرت (SC704). مجله علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۱(۳): ۵۳۱ تا ۵۴۳.

۱۹) **رحیمی‌زاده، م.، کاشانی، ع.، زارع فیض آبادی، ا.، مدنی، ح. و سلطانی، ا. ۱۳۸۹.** تاثیر کودهای ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان تحت شرایط تنش خشکی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۳ (۱): ۷۲-۵۷.

۲۰) **رزمی، ن.، خانزاده، ح. و آقایی فرد، خ. ۱۳۸۹.** بررسی تاثیر رژیم های مختلف آبیاری بر صفات رویشی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام سویا در منطقه مغان. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. ۲ تا ۴ مرداد پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی ایران. صفحات ۳۸۶۳ – ۳۸۶۰.

۲۱) **زارعی، ع.، نصری، م. و نعمتی، ن. ۱۳۸۸.** اثر سطوح مختلف تنش کم آبیاری و عنصر کلسیم بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در ذرت دانه ای. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد ورامین- پیشوا.

۲۲) **سالاردینی، ع و مجتهدی، م.۱۳۶۷ .** اصول تغذیه گیاه (ترجمه). چاپ اول. مرکز نشر دانشگاهی تهران. ۳۱۵ صفحه.

۲۳) سرمدنیا، غ.ح. و کوچکی، ع. ۱۳۶۸. جنبه های فیزیولوژیکی زراعت دیم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۲۴ صفحه.

۲۴) شاه‌حسینی، ح.ر. ۱۳۸۹. تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد کمی و کیفی چغندرقند تحت شرایط کم آبیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شاهرود.

۲۵) صادقی لطف آبادی، س.، کافی، م. و خزاعی، ح. ر. ۱۳۸۸. بررسی اثرات تعدیل کنندگی کاربرد خاکی و محلولپاشی کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط تنش شوری. (نشریه آب و خاک) علوم و صنایع کشاورزی. ۲۴ (۲): ۳۹۳- ۳۸۵.

۲۶) قربانی قوژدی، ح. و لادن مقدم، ع.ر. ۱۳۸۴. مقدمه‌ای بر تنش‌های اکسایشی و کرنش‌های گیاهی. نشر دواوین، تهران. ۱۲۸ صفحه.

۲۷) قربانلی، م. و نیاکان، م. ۱۳۸۴. بررسی اثر تنش خشکی بر روی میزان قند های محلول، پروتئین، پرولین، ترکیبات فنلی و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز گیاه سویا رقم گرگان ۳. نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم. ۵: ۵۳۷ تا ۵۴۹.

۲۸) قربانلی م.، بخشی خانیکی، غ.ر. و ذاکری، ا. ۱۳۹۰. بررسی اثر تنش خشکی بر ترکیب های آنتی اکسیدان در گیاه دارویی کتان (*Linum usitatissimum* L.). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۷ (۴): ۶۵۸ – ۶۴۷.

۲۹) عباس‌زاده، ب.، شریفی عاشورآبادی، ا.، لباسچی، م. ح.، نادری حاجی باقر کندی، م. و مقدمی، ف. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی (RWC) بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۳ (۴): ۵۱۳- ۵۰۴.

۳۰) علیزاده، ا. ۱۳۸۷. رابطه آب و خاک و گیاه. (چاپ هشتم). انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). مشهد.۴۸۳ صفحه.

۳۱) کافی، م. و مهدوی دامغانی، م. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش های محیطی (ترجمه). انتشارات فردوسی مشهد. ۴۶۷ صفحه.

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

۳۳)**کوچکی ع.، حسینی م. و نصیری محلاتی م. ۱۳۷۶.** رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۶۰ صفحه.

۳۴) **کوچکی، ع. و خواجه حسینی، م. ۱۳۸۷.** زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۵۰ صفحه.

۳۵)**مجد، ا.، جنوبی، پ. و زینی‌پور، م. ۱۳۸۸.** بررسی اثرات تنش خشکی بر ساختار تشریحی گیاه آفتابگردان. فصلنامه زیست شناسی تکوینی. (۴): ۱۱- ۲۴.

۳۶) **معصومی، ع.، کافی، م.، نباتی، ج.، خزاعی، ح. ر.، داوری، ک. و زارع مهرجردی، م. ۱۳۸۸.** اثر تنش خشکی بر وضعیت آبی و نشت الکترولیت برگ، فتوسنتز و فلورسانس کلروفیل در مراحل مختلف رشدی دو توده کوشیا در شرایط شور. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۰ (۳): ۴۸۴- ۴۷۶.

۳۷)**ملکوتی،م. ج. و طهرانی، م.م. ۱۳۷۸.** نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی (عناصر خرد با تاثیر کلان). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ۳۰۰ صفحه.

۳۸)**ملکوتی، م.ج. و رضایی، ح. ۱۳۸۰.** نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی تهران، تهران . ۱۸۱ صفحه.

۳۹) **میرجلیلی، ع. ۱۳۸۴.** گیاهان در محیط های تنش زا. انتشارات نوربخش. ۲۴۰ صفحه.

40)Ahmadi, A. and Baker, D.A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. J. Agric. Sci. 136:257-269.

41)Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C. and Wang, L. 2011. A review: Morphological, physiological and biochemical responses of plant to drought stress. Afric. J. Agric. 6(9): 2026-2032.

42)Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 13:17-42.

43)Baji, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. Plant Growth Reg. PP. 1-10.

44)Banuls j., Legaz F. and Primo-Milo E. 1991. Salinity- calcium intractions on growth and ionic concentration of citrus plants. Plant Soil. 133: 39-46.

45)Baybordi, A. 2004. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress. J. Water and Soil Sci. 17: 140-150. (in Persian)

46)Ben Ahmed, C.H., Ben Rouina, B., Sensoy, S., Boukhris, M. and Ben Abdallah, F. 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. Environmental and Exp. Bot. 67(2): 345-352.

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

48)Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the inter pretation of adaptation. Plant growth regul. 20: 135-148.

49)Busch, D. S. 1995. Calcium regulation in plant cell and its role in signaling. Annu. Rev. Plant Physiol. 46: 95-102.

50)Castrillo, M. and Trujillo, I. 1994. Ribulos1-5 biphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein content in two cultivars of French bean plants under water stress and rewatering. Photosynthetic. 30:175-181.

51)Chanbdracar, B.L., Sechar, N., Tuteja, S.S. and Tripathi, R.S. 1994. Effect of irrigation and nitrogen of growth and yield of summer sesame (*Sesamum indicum*) Indean. J. Agron. 39 :701-702.

52)Chen, W.P., Li, P.H. and Chen, T.H.H. 2000. Glycinbetaine increases chilling tolerance and reduces chilling-induced lipid in *Zea mays* L. Plant Cell Environ. 23:609-611.

53)Chimenti, C.A., Pearson, J. and Hall, A.J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. Field Crop Res. 75: 235-246.

54)Das, R. and Pandey, G.K. 2010. Expressional analysis and role of calcium regulated kinases inabiotic stress signaling. Curr. Genomics.11: 2 –13.

55)Davies, W.J., Wilson, J.A., Sharp, R.E. and Osonubi, O. 1981. Control of stomatal behaviour in water stressed plants. In *Stomata/ Physiology* (Jarvis, P.G. and Mansfield, T.A., eds). Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 163-185.

56)De Sclaux, D., Huynh, T.T., Roumet, P. 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Sci. 40: 716-722.

57)Duan, B., Yang, Y., Lu, Y., Korpelainen, H., Berninger, F. and Li, C. 2007. Interaction between drought stress, ABA and genotypes in picea asperata. J. of Exp. Bot. 58: 3025-3036.

58)Dubrovina, A.S., Kiselev, K.V., Veselova, M.V., Isaeva, G.A., Fedoreyev, S.A. and Zhuravlev, Y.N. 2009. Enhanced resveratrol accumulation in rolB transgenic cultures of Vitis amuren-sis correlates with unusual changes in CDPK gene expression. J. Plant Physiol. 166:1194 –206.

59)Ekanayake, I.J. and Desong, J.P. 1992. Stomatal response of some cultivated and wild tuber- bearing potatoes in warm tropics as influenced by water deficits. Ann. Bot. 70 (1): 53- 60.

60)Epstein, E. 1961. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cell. Plant physiol. 30: 437-444.

61)Garberiela, M. and Foyer, C.H. 2002. Common components, network and pathway of cross tolerance to stress. The central role of redox and abscisic acid-mediated controls. Plant physiol. 129:460-468.

62)Garg B.K., Vyas S.P., Kathjo S. and Lahiri A.N. 1998. Influence of water deficit stress at various growth stages on some enzymes of nitrogen metabolism and yield in cluster bean genotypes. J. Plant Physiol. 3: 214-218.

63)Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M. and Da ustu, N. 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crop Res. 87: 167-178.

64)Hagar, H., Weda, N. and Shal, S.V. 1996. Role of reactive oxygen metabolism in DNA damage and cell death in chemical hypoxic LLC-PKI cells. Amer. J. Physiol. 271:209-215.

65)Hanson, A.D. and Hitz, W.D. 1982. Metabolic responses of mezophytes to plant water deficit. Ann. Rev. Plant Physiol., 33:163-203.

66)Hawkins H.J. and Lewis O.M. 1993. Combination effect of NaCl salinity, nitrogen from and calcium concentration on growth, ionic content and exchange properties of *Triticum aestivum* L. cv. Gamtus. New physiologists.124:161-170.

67)Ingram, J. and Bartelts, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Ann. Rev. of Plant Pyhsiol. and Molecule Biol. 47:377-403.

68)Kage, H., Kochler, M. and Stutzel, H. 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: mea surement and simulation. Europ. J. Agron. 20:379-394.

69)Khan, M.B., Hussain, N. and Iqbal, M. 2007. Effect of water stress on growth and yield components of maize variety YHS202. J. of Res. Sci. 12:15-18.

70)Kramer, P.S. 1983. Water relation of plants. Academic Press. PP. 342-415.

71)Kefu, Z. 1988. Alleviation NaCl induced injurious effects by calcium. Plant Physiol. 48: 1000-1002.

72)Jiang, M. and Zhang, J. 2001. Effect of abcisic acidon active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedling. Plant Cell Physiol. 42:1265-1273.

73)Johansson, I., Larsson, C., Ek, B. and Kjellbom, R. **1996**. The major integral proteins of spinach leaf plasma membranes are putative aquaporins and are phosphorylated in response to Ca 2+ and apoplastic water potential. Plant Cell. 8: 1181-1191.

74)Legg, B.J., Day, W.D., Lawlor, W. and Pakinson, K. J. 1979. The effects of drought on barley growth: Models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. J. of Agric. Sci. 92: 703-716.

75)Levitt, J. 1980. Response of plants to environmental stresses. II. Water radiation, salt and other stress. Acad. Press. New York. PP: 187-211.

76)Lobato, A.K.S., Oliveria Neto, C.F., Costa, R.C.l., Santosfilho, B.G., Cruz, F.J.R and Laughinghouse, H.D. 2008. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* L. under water stress during the vegetative phase. Asian J. Plant Sci., 7(1):44-49.

77)Lynch, J., Polito, M.S. and Liiuchli, A. 1989. Salinity stress increases cytoplasmic Ca activity in maize root protoplasts. Plant Physiol. 90: 1271-1274.

78)Manivannan, P., Jaleel, C.A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A. and Panneerselvam, R. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in Helianthus *annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Bio interfaces. 59(2): 141-149.

79)Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition. London: Academic. Press**.** PP: 889.

80)Mirshekari, M., Amiri, R., Iran nezhad, H. and Zandvakili, R., 2012. Effects of planting date and water deficit on quantitative and qualitative traits of flax seed. American – Eurasian J. Agric. and Environ. Sci. 12 (7): 901- 913. (in persion)

81)Munns, R. 1988. Why measure osmotic adjustement Aust. J. Plant Physiol. 15: 717-726.

82)Navarro, J.M. and Carvajal, M. 2000. Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plant grown under salineconditions. Plant Sci.157: 89-96.

83)Netonda G.W., Onyango J.C. and Beck E. 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Sci. 44: 806-811.

84)Niu, X., Bressan R.A., Hasegawa P.M. and Pardo J.M. 1995. Homeostatise in NaCl stress environment. Plant Physiol. 109:735-742.

85)Paknejad, F., Majidi heravan, E., Noormohammadi, Q., Siyadat, A. and Vazan, S. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. American J. Biochem. and Biotech., 5(4):162-169.

86)Parvaiz, A. and Satyawati, S. 2008. Salt stress and phyto-blochemical responses of plants. Plant Soil Environ. 54: 89-99.

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

88)Reddy, A.S., Ali, G.S., Celesnik, H. Day, I.S. 2011. Coping with stresses: roles of calcium- andcalcium/calmodulin-regulated gene expression. Plant Cell. 118: 23–32.

89)Rengel, Z. 1992. The role of calcium in salt toxity. Plant Cell Environment 15: 625-632.

90)Sairam, R.K. and Saxena, D.C. 2000. Oxidative stress and antioxidant in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. J. Agron. and Crop Sci. 184:55-61.

91)Sairam, R.K., Veerabhadra, R. and Srirastav, G.C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci. 163:1037-1046.

92)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.

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

94)Schutz, H. and Fangmier, E. 2001. Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated Co2 and water limitation. Environ. Pollut. 114: 187-194.

95)Shah, C.B. and Loomis, R.S. 1965. Ribonucleic acid and protein metabolism in sugar beet during drought. Plant Physiol. 18:240-254.

96)Shirmard kermanshahi, M. 2003. Effects of reduced irrigation stress on some morphological and physiological traits on safflower cultivars. M.Sc. thesis, Islamic Azad University. Karaj Branch. (in persion).

97)Song J., and Fujiwara H. 1996. Ameliorative effect of potassium on rice and tomato subjected to sodium salinization. Soil Science and Plant Nutrition. 42:493-502.

98)Suriyan, C.H. and Chalermpol, K. 2009. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water deficit stress. Agric. Sci. in China. 8: 51-58.

99)Takahashi, K., Isobe, M., Knight, M.R., Trewavas, A.J. and Muto, S. 1997. Hypoosmotic shock induces increases in cytosolic Ca 2+ in tobacco suspension-culture cells. Plant Physiol. 113: 587-594.

100)Tesfay, K., Walker, S., Tsubo, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. Europ. J. Agron. 25: 60-70.

101)Timothy, D. C., Epstein, E. and Dvorak, J. 1995. Differential solute regulation in leaf blades of various ages in salt sensitive wheat and a salt tolerant wheat (*lanphophyrum elongatum*). Plant Physiol. 108: 1714-1715.

102)Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidant in the leaves of drought-tolerant *Phaseoluse acutifolius* L. gray and drought-sensitive *Phaseoluse vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant Sci., 168:223-231.

103)Vazan, S., Ranji, Z., Tehrani, M., Ghalavand, A. and Saaneyi, M. 2002. Drought stress effects of on ABA accumulation and stomatal conductivity of sugarbeet. Iran. J. Agric. Sci. 3:176-180.

104)Urao, T., Katagiri, T., Mizoguchi, T., Yamaguchi-Shinozaki, K.,Hayashida, N. and Shinozaki, K. 1994. Two genes that encode Ca2+ -dependent protein kinases are induced by drought and high-salt stresses in *Arabidopsis thaliana.* Mol, Gen. Genet. 244: 331-340.

105)Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2007. Tolerance in plants: an overview. Environ. Exp. Bot. 61:199-223.

106)Wimmers, L.E., Ewing, N.N. and Bennett, A.B. 1992. Higher plants Ca2+ -ATPase: primary structure and regulation by salt. Proc. NatlAcad. Sci. USA. 89, 9205-9209.

107)Yamada, Y. and Fukutoku, Y. 1986. Effect of water stress on soybean, soybean intropical and sub tropical cropping system. The Asian vegetable research and development center, Shan bue, Taiwn, China, Chapte. 48:373-382.

پیوست

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات وزن خشک برگ، ساقه، کپسول و وزن خشک کل، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک کپسول	وزن خشک کل
تکرار	۲	۰/۴۶	۰/۳۴	۱۹/۳۲	۲۰/۰۷
تنش (D)	۲	۲/۱۴	۳۴/۰۷*	۲۰۰/۰۶*	۴۵۷/۰*
خطای اول	۴	۰/۷۶	۴/۶۸	۲۵/۱۵	۳۹/۳۸
محلول‌پاشی‌کلسیم (T)	۴	۰/۹۴*	۳/۳۵*	۴۷/۳۲**	۷۶/۳۹**
D × T	۸	۱/۲۴**	۳/۷۲*	۳۰/۸۴**	۳۴/۱۵**
خطای دوم	۲۴	۰/۳۱	۱/۴۱	۷/۲۸	۸/۸۸
ضریب تغییرات (درصد)		۲۰/۲۴	۱۷/۶۵	۲۱/۲۲	۱۳/۴۳

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ، ساقه، کپسول و وزن خشک کل، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک کپسول	وزن خشک کل
			(گرم در متر مربع)	
تنش کم آبیاری				
عدم تنش	۳/۱۵	۸/۳۶a	۱۶/۸۶ a	۲۸/۳۹ a
تنش ملایم	۲/۶۸	۶/۴۰ ab	۱۱/۲۸ b	۲۰/۳۷ b
تنش شدید	۲/۴۱	۵/۴۰ b	۹/۹۹ b	۱۷/۸۱ b
LSD 5%	۰/۸۸	۲/۱۹	۵/۰۸	۶/۳۶
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)				
صفر	۲/۳۷ b	۶/۵۴ ab	۹/۹۶ c	۱۸/۸۹ d
۶ گلدهی	۳/۲۲a	۶/۷۶ a	۱۳/۷۳ ab	۲۳/۷۲ ab
۱۲ گلدهی	۲/۶۴ b	۵/۵۷ b	۱۱/۵۱ bc	۱۹/۷۳ cd
۶ پر شدن دانه	۲/۶۰ b	۷/۶۶ a	۱۲/۳۴ bc	۲۲/۶۱ bc
۱۲ پر شدن دانه	۲/۹۰ ab	۷/۰۸ a	۱۶/۰۱ a	۲۶ a
LSD 5%	۰/۵۴	۱/۱۵	۲/۶۲	۲/۹۰

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد شاخه فرعی فرعی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه فرعی	تعداد شاخه فرعی‌فرعی
تکرار	۲	۱۰/۹۶	۴/۶۷	۲۱/۷۱
تنش (D)	۲	۳/۴۳	۵/۸۶	۳۵/۵۴
خطای اول	۴	۱۲/۷۸	۴/۱۳	۹/۶۵
محلول‌پاشی‌کلسیم (T)	۴	۱/۷۷	۸/۴۱**	۱۸/۳۸**
D × T	۸	۵/۴۷	۳/۸۷	۸/۴۶
خطای دوم	۲۴	۳/۴۹	۱/۹۱	۳/۶۲
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۳۳	۲۰/۹۴	۲۰/۹۸

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد شاخه فرعی فرعی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد شاخه فرعی در بوته	تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته
تنش کم آبیاری			
عدم تنش	۲۰/۴۴	۷/۲۰	۱۰/۷۸
تنش ملایم	۲۰/۱۷	۶/۶۶	۸/۶۳
تنش شدید	۱۹/۵۱	۵/۹۶	۷/۷۹
LSD 5%	۳/۶۲	۲/۰۶	۳/۱۵
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)			
صفر	۱۹/۳۱	۵/۶۶ b	۸/۷۰ bc
۶ گلدهی	۲۰/۱۱	۶/۷۷ b	۱۰/۲۲ ab
۱۲ گلدهی	۲۰/۵۳	۸/۱۸ a	۱۰/۸۴ a
۶ پر شدن دانه	۲۰/۱۷	۶/۲۹ b	۸/۱۶ c
۱۲ پر شدن دانه	۲۰/۰۹	۶/۱۲ b	۷/۴۱ c
LSD 5%	۱/۸۲	۱/۳۴	۱/۸۵

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

جدول پیوست ۵- میانگین مربعات نسبت پوسته به دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	نسبت پوسته به دانه
تکرار	۲	۰/۱۱
تنش (D)	۲	۰/۳۱
خطای اول	۴	۰/۱۱
محلول‌پاشی‌کلسیم (T)	۴	۰/۱۵
D × T	۸	۰/۶۵**
خطای دوم	۲۴	۰/۰۶۳
ضریب تغییرات (درصد)		۲۳/۰۳

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۶- مقایسه میانگین نسبت پوسته به دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	نسبت پوسته به دانه
تنش کم آبیاری	
عدم تنش	۱/۲۳
تنش ملایم	۱/۰۹
تنش شدید	۰/۹۴
LSD 5%	۰/۳۴
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)	
صفر	۱/۳۰
۶ گلدهی	۱/۱۲
۱۲ گلدهی	۱/۰۰۳
۶ پر شدن دانه	۰/۹۶
۱۲ پر شدن دانه	۱/۰۵
LSD 5%	۰/۲۴

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

جدول پیوست ۷- میانگین مربعات تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۵۵/۷۷	۱۳/۲۴	۰/۰۳	۴۴۶۱
تنش (D)	۲	۱۰۷/۶۷	۴۹/۷۷*	۰/۰۲	۲۱۸۲۱/۵*
خطای اول	۴	۳۳/۹۸	۱۰/۹۵	۰/۲۴	۳۷۷۵/۶
محلول‌پاشی کلسیم (T)	۴	۴۸/۲۷**	۲۰**	۰/۲۴	۷۲۷۷/۱۸**
D × T	۸	۴۱/۶۹**	۹/۷**	۰/۱۳	۴۲۵۴/۷۷**
خطای دوم	۲۴	۷/۷۹	۲/۷۴	۰/۲	۱۱۸۷/۲۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۳۴	۲۱/۴۷	۱۱/۹۱	۲۵/۴۱

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۸- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
تنش کم آبیاری				
عدم تنش	۲۲/۴۰	۹/۱۲a	۳/۷۲	۱۷۹/۶a
تنش ملایم	۱۸/۸۱	۸/۳۴ab	۳/۸۰	۱۱۳/۶۵b
تنش شدید	۱۷/۱۶	۵/۶۵b	۳/۷۴	۱۱۳/۴۲b
LSD 5%	۵/۹۰	۳/۳۵	۰/۵۰	۶۲/۲۹
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)				
صفر	۱۶/۲۸ c	۵/۰۸ b	۳/۶۷	۹۵/۰۰c
۶ گلدهی	۱۹/۶۳ b	۸/۳۹ a	۳/۵۵	۱۳۰/۵۳ b
۱۲ گلدهی	۱۸/۳۵ bc	۸/۰۸ a	۳/۷۲	۱۴۴/۰۶ ab
۶ پر شدن دانه	۲۰/۵۸ ab	۸/۱۹ a	۳/۸۳	۱۳۴/۰۵ b
۱۲ پر شدن دانه	۲۲/۴۳ a	۸/۷۸ a	۳/۹۸	۱۷۴/۱۶ a
LSD 5%	۲/۷۱	۱/۶۱	۰/۴۳	۳۳/۵۲

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

جدول پیوست ۹- میانگین مربعات محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشاء پلاسمایی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	پایداری غشاء پلاسمایی
تکرار	۲	۸۵/۹۵	۰/۰۶
تنش (D)	۲	۲۳۹/۳۸*	۶۴۷/۶۸**
خطای اول	۴	۱۷/۵۰	۱۳/۲۵
محلول‌پاشی‌کلسیم (T)	۴	۳۶۳/۹۸**	۷۷۷/۸۶**
D × T	۸	۱۷/۳۶	۳۹۰/۴۴**
خطای دوم	۲۴	۳۴/۰۹	۱۸/۲۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۸	۱۴/۸۴

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۱۰- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	پایداری غشاء پلاسمایی (درصد)
تنش کم آبیاری	
عدم تنش	۳۶/۳۹ a
تنش ملایم	۲۵/۳۱ b
تنش شدید	۲۴/۷۲ b
LSD 5%	۳/۶۹
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)	
صفر	۱۵/۲۹ d
۶ گلدهی	۳۳/۰۲ b
۱۲ گلدهی	۲۴/۰۳ c
۶ پر شدن دانه	۳۲/۴۱ b
۱۲ پر شدن دانه	۳۹/۲۸ a
LSD 5%	۴/۱۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

جدول پیوست ۱۱- میانگین مربعات کلروفیل و کاروتنوئید برگ، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	نسبت کلروفیل a/b	کاروتنوئید	کلروفیل کل
تکرار	۲	۰/۰۰۷	۰/۰۹۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۲۷
تنش (D)	۲	۰/۰۲۸	۰/۸۷۴**	۳/۷۲**	۰/۴۰**	۰/۰۶
خطای اول	۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۴۴	۰/۰۰۷	۰/۲۱
محلول‌پاشی کلسیم(T)	۴	۲۱۰/۴**	۰/۲۷۶**	۰/۲۲**	۰/۲۵**	۰/۴۸*
D × T	۸	۰/۰۰۶	۰/۶۴۴**	۰/۳۹**	۰/۳۸**	۱/۲۱**
خطای دوم	۲۴	۰/۰۰۶	۰/۰۴	۰/۰۲۲	۰/۰۲	۰/۱۵
ضریب تغییرات(درصد)		۰/۸۸	۲۱/۹۵	۱۸/۸۸	۱۷/۵۰	۲۴/۹۰

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۱۲- مقایسه میانگین کلروفیل و کاروتنوئید برگ، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	کلروفیل a	کلروفیل b	نسبت کلروفیل a/b	کاروتنوئید	کلروفیل کل
	میلی گرم بر گرم وزن تر				
تنش کم آبیاری					
عدم تنش	۹/۰۸	۱/۱۸ a	۱/۳۵ a	۱/۰۶ a	۱/۶۳
تنش ملایم	۹/۰۳	۰/۸۲ b	۰/۶۱ b	۰/۸۲ b	۱/۵۶
تنش شدید	۸/۹	۰/۷۳ b	۰/۴۱b	۰/۷۵ b	۱/۵۰
LSD 5%	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۴۷
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)					
صفر	۲/۹۳ e	۰/۷۳ c	۰/۸۱ ab	۰/۸۰ b	۱/۲۷ c
۶ گلدهی	۵/۹۵ d	۰/۹۳ ab	۰/۵۶ c	۰/۶۵ c	۱/۶۸ ab
۱۲ گلدهی	۹/۰۴ c	۰/۷۴ bc	۰/۹۵ a	۰/۹۳ b	۱/۳۶ bc
۶ پر شدن دانه	۱۲/۰۹ b	۱/۱۲ a	۰/۹۱ a	۱/۱۰ a	۱/۷۹ a
۱۲ پر شدن دانه	۱۵/۱۵ a	۱/۰۳ a	۰/۷۲ b	۰/۹۰ b	۱/۷۱ ab
LSD 5%	۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۳۷

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

جدول پیوست ۱۳- میانگین مربعات درصد پروتئین، درصد روغن و عملکرد روغن، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد پروتئین	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	۲	۱۴/۸۸	۰/۸۰۲	۵۹۷/۷۲
تنش (D)	۲	۳۶/۴۸*	۱/۶۹۴	۲۵۲۱/۵۲
خطای اول	۴	۳/۷۸	۲/۷۴	۴۶۲/۷۶
محلول‌پاشی‌کلسیم (T)	۴	۲۰/۹۰	۳/۳۳	۸۶۲/۶۳**
D × T	۸	۴۰/۸۱	۳/۸۰	۴۸۳/۰۵*
خطای دوم	۲۴	۲۳/۳۳	۳/۴۵	۱۶۷/۷
ضریب تغییرات (درصد)		۲۰/۵۹	۵/۳۸	۲۷/۷۲

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۱۴- مقایسه میانگین درصد پروتئین، درصد روغن و عملکرد روغن، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	پروتئین	روغن	عملکرد روغن
	درصد		(کیلوگرم در هکتار)
تنش کم آبیاری			
عدم تنش	۲۱/۷۰ b	۳۴/۴۲	۶۱/۶۷
تنش ملایم	۲۴/۷۰ a	۳۴/۸۶	۳۹/۵۲
تنش شدید	۲۳/۹۴ a	۳۴/۲۰	۳۸/۹۲
LSD 5%	۱/۹۷	۱/۶۸	۲۱/۸
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)			
صفر	۲۱/۸۵	۳۵/۰۶۶	۳۳/۲۴ c
۶ گلدهی	۲۲/۲۲	۳۳/۸۱	۴۴/۲۲ bc
۱۲ گلدهی	۲۴/۱۶	۳۳/۸۷	۴۸/۶۵ ab
۶ پر شدن دانه	۲۵/۶۲	۳۴/۹۷	۴۶/۸۱ b
۱۲ پر شدن دانه	۲۳/۴۰	۳۴/۷۶	۶۰/۵۷ a
LSD 5%	۴/۷	۱/۸۰	۱۲/۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

جدول پیوست ۱۵- میانگین مربعات میزان کلسیم و پتاسیم برگ، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	کلسیم	پتاسیم
تکرار	۲	۰/۰۶	۰/۰۰۳
تنش (D)	۲	۰/۹۳**	۰/۶۵**
خطای اول	۴	۰/۰۲۷	۰/۰۰۸
محلول‌پاشی کلسیم (T)	۴	۰/۳۳**	۰/۰۸**
D × T	۸	۰/۰۸۱	۰/۰۶**
خطای دوم	۲۴	۰/۰۴	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷/۳۴	۳/۱۶

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول پیوست ۱۶- مقایسه میانگین میزان پتاسیم، در گیاه بزرک تحت تاثیر تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی با کلرید کلسیم

تیمار	پتاسیم (میلی‌اکی‌والان)
تنش کم آبیاری	
عدم تنش	۱/۹۵ c
تنش ملایم	۲/۲۴ b
تنش شدید	۲/۳۵ a
LSD 5%	۰/۰۹۳
غلظت و زمان محلول‌پاشی کلسیم (میلی‌مولار)	
صفر	۲/۰۷ c
۶ گلدهی	۲/۱۳ bc
۱۲ گلدهی	۲/۱۹ b
۶ پر شدن دانه	۲/۱۸ b
۱۲ پر شدن دانه	۲/۳۲ a
LSD 5%	۰/۰۶

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می باشد.

The response of *Linum usitatissimum* L. to calcium chloride foliar application in water deficit condition

Abstract

Some agronamical and physiological response of *Linum usitatissimum* L. to calcium stress under water stress were evaluated in shahrood university frogm. A split plot experiment randomized in 3 replicates with irrigation in three levels [every 8 day (no stress), every 12 day (mild stress) and every 16 day (sever stress)] as main plot and calcium chloride spray in five levels [0, 6 and 12 mM at flowering stage (34 days after sowihg date) and 6 and 12 mM grain filling stage (at 55 days after sowing date)]. Result was indicative of water deficit stress caesed a reduction in relative water content and increase in protein percentage and leaf calcium content measure, 12 mM $cacl_2$ at flowering stage increased leaf Ca^{+2} cantent, chlorophyll a and brancher number and at 6 Mm increased secondary brancher. Additionally, 12 mM $cacl_2$ in mild water stress inproved total dry matter, leaf dry weight and capsul dry weight once compared to sever stress. The other trait such as seed coat to seed ratio, number of seeds per capsul and chlorophyll a/b ratio were increased at 12 mM $cacl_2$ in mild stress condition. In sever stress condition and in the present of 12 mM $cacl_2$ during seed filling stage, number of trait were improved including stem dry weight, number of capsules per plant, seed yield,oil yield, plasma memberane stability, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid and leaf potassium content. Here, the best treatment combination was no stress application of 12 mM $cacl_2$ during seed filling stage.

Keywords: calcium, Flax oil plant, foliar application, Water stress.

Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture
Department of Agronomy

M.Sc. Thesis

The response of Linum usitatissimum L. to calcium chloride foliar application in water deficit condition

Zahra Kiyaee Nezhad

Supervisor:
M. Baradaran Firoozabadi

Advisors:

N. Farrokhi

M. Parsaeyan

October 2014