

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

گروه زراعت

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته آگروتکنولوژی

عنوان

تأثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی منابع مختلف کلسیم بر رشد، عملکرد
و برخی خصوصیات کیفی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴

نگارنده

جواد پهلوان

استاد راهنما

دکتر مصطفی حیدری

اساتید مشاور

دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

مرداد ۱۴۰۰

شماره: ۹۵۴
تاریخ: ۱۴۰۰/۵/۳۱

ویرایش:

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم جواد پهلوان با شماره دانشجویی ۹۷۳۴۳۲۴ رشته آگرو تکتولوژی-فیزیولوژی گیاهان زراعی تحت عنوان تأثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی منابع مختلف کلسیم بر رشد، عملکرد و برخی خصوصیات کیفی ذرت رقم سینگل کراس که در تاریخ ۱۴۰۰/۰۵/۰۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸ X
ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹-۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول دکتر	دکتر مصطفی حیدری	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	---	---	---
۳- استاد مشاور دکتر مهدی	دکتر مهدی برادران	دانشیار	
۴- استاد داور اول	دکتر منوچهر قلی پور	دانشیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر حمید عباس دخت	دانشیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر احمد غلامی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیر و تشکر :

اکنون که به یاری پروردگار و یاری و راهنمایی اساتید بزرگ موفق به پایان این رساله شده‌ام وظیفه خود دانسته که نهایت سپاسگزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند را به عمل آورم:

در آغاز از استاد بزرگ و دانشمند جناب آقای دکتر مصطفی حیدری که راهنمایی این پایانامه را به عهده داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروز آبادی که استاد مشاور این پایانامه بوده‌اند نیز قدردانی می‌نمایم

تقدیم به

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و در پایان این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به همسرم که با حضورش و همراهی اش همیشه راه را به من نشان داده و مرا در این راه استوار و ثابت قدم نموده است

.

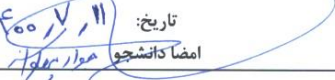
یک چند به کودکی بااستاد شدیم یک چند به استادی خود شاد شدیم

پایان سخن شنو که ما را چه رسید از خاک در آمدیم و بر باد شدیم

تعهد نامه

اینجانب **جواد پهلوان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته کشاورزی گرایش آگرو تکنولوژی-فیزیولوژی گیاهان زراعی صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **تأثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی منابع مختلف کلسیم بر رشد، عملکرد و برخی خصوصیات کیفی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴** تحت راهنمایی دکتر مصطفی حیدری متعهد می‌شوم:

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

تاریخ: ۱۴۰۵/۷/۱۱
امضا دانشجو: 

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش کم آبیاری و محلول پاشی منابع کلسیم بر رشد، عملکرد دانه و برخی خصوصیات کیفی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با دو فاکتور و ۳ تکرار آزمایشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۸ در دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کم آبیاری در سه سطح ۸ (شاهد)، ۱۲ و ۱۶ روز دور آبیاری به عنوان عامل اصلی و تیمار منابع کلسیم شامل: شاهد، کلرید کلسیم در دو غلظت ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب و سیلیکات کلسیم در دو غلظت ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب به عنوان تیمار فرعی لحاظ شدند. نتایج نشان داد اثر متقابل تیمار کم آبیاری و کلسیم تأثیر معنی داری بر صفاتی همانند عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه (وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته)، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل *a*، نشت الکترولیت ها، مقادیر پرولین و کربوهیدراتها داشت. با افزایش سطح کم آبیاری از ۸ به ۱۶ روز دور آبیاری از عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاسته شدند اما استفاده از کلسیم تأثیر معنی داری بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه ذرت داشت و سبب افزایش آنها حتی در سطح خشکی شد. به طوری که کاربرد کلسیم سبب افزایش تعداد دانه در بوته به میزان ۳۰ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و وزن هزار دانه نیز با کاربرد کلسیم به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. بیشترین عملکرد دانه ذرت در تیمارهای کلسیم کلراید ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب و نیز سیلیکات کلسیم مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی داری با هم نداشتند. کمترین عملکرد دانه نیز به مقدار ۳۶۹۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۱۶ روز آبیاری و عدم کاربرد کلسیم حاصل شد. تیمار کم آبیاری سبب افزایش مقادیر پرولین و کربوهیدرات محلول در برگ و نیز افزایش نشت الکترولیت ها و کاهش مقادیر کلروفیل *a* و میزان رطوبت نسبی در بافت برگ شد. هر چند استفاده از کلسیم تا حدی مانع تأثیر منفی تنش کم آبیاری بر این صفات

بخصوص در سطح خشکی شد اما استفاده از ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم از تاثیر بیشتری بر این صفات برخوردار بود. به طور کلی می توان بیان کرد که کاربرد کلسیم می تواند اثر مثبتی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ذرت در شرایط تنش خشکی (کم آبیاری) داشته باشد که در نهایت با بهبود اجزای عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی سبب بهبود عملکرد دانه می شود. براساس نتایج این آزمایش کاربرد ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم نسبت به سایر تیمارهای آزمایش مناسب تر بود.

کلمات کلیدی: ذرت، کلسیم، رنگدانه های فتوسنتزی، عملکرد دانه، تنش خشکی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- خشکی	۳
۳-۱- ذرت و اهمیت آن	۹
۴-۱- فرضیات	۱۱
۵-۱- اهداف	۱۲
فصل دوم: بررسی منابع	۱۳
۱-۲- گیاهشناسی ذرت	۱۴
۱-۲-۱- ریشه	۱۴
۱-۲-۲- ساقه	۱۵
۱-۲-۳- برگ	۱۶
۱-۲-۴- گل آذین	۱۶
۱-۲-۵- دانه ذرت	۱۸
۲-۲- طبقه‌بندی ذرت	۲۰
۳-۲- سازگاری های ذرت	۲۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۳-۱ دما.....	۲۱
۲-۳-۲ رطوبت	۲۲
۲-۳-۳ نور	۲۲
۲-۳-۴ خاک مناسب	۲۳
۲-۴ ارزش غذایی ذرت	۲۳
۲-۵ کاشت داشت و برداشت ذرت	۲۴
۲-۵-۱ انتخاب زمین	۲۵
۲-۵-۲ تهیه بستر کاشت (خاک ورزی)	۲۶
۲-۵-۳ آبیاری	۲۶
۲-۵-۴ مصرف کودهای شیمیایی	۲۷
۲-۵-۵ کنترل علف های هرز	۲۹
۲-۵-۶ برداشت برای دانه	۲۹
۲-۶ خشکی	۳۰
۲-۷ اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین آزاد	۳۱
۲-۸ اثر تنش خشکی بر قند های محلول	۳۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹-۲- اثر تنش خشکی بر میزان کلروفیل برگ.....	۳۵
۱۰-۲- اثر تنش خشکی بر روی برخی شاخص های فیزیولوژیک.....	۳۶
۱۱-۲- راهکار های کاهش اثر مخرب تنش خشکی.....	۳۷
۱۲-۲- اثرات کلسیم بر گیاهان تحت تنش های محیطی.....	۴۰
فصل سوم: مواد و روش	۵۱
۱-۳- مشخصات محل آزمایش.....	۵۲
۲-۳- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش.....	۵۲
۳-۳- نوع و قالب طرح آزمایشی.....	۵۲
۴-۳- عملیات اجرایی.....	۵۴
۱-۴-۳- آماده سازی زمین.....	۵۴
۵-۳- کاشت، داشت و برداشت.....	۵۴
۶-۳- صفات زراعی و مورفولوژیک:.....	۵۵
۱-۶-۳- ارتفاع و قطر ساقه.....	۵۵
۲-۶-۳- وزن خشک برگ و ساقه.....	۵۶
۷-۳- صفات فیزیولوژیکی.....	۵۶

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۷-۱- محتوای نسبی آب (RWC)	۵۶
۳-۷-۲- اندازه گیری میزان کلروفیل برگ	۵۷
۳-۷-۳- کلروفیل با اسپد	۵۸
۳-۷-۴- قند محلول برگ	۵۸
۳-۷-۵- پایداری غشای پلاسمایی برگ	۵۹
۳-۷-۸- پروتئین دانه	۶۰
۳-۸- تجزیه و تحلیل داده های آماری	۶۲
فصل چهارم: نتایج و بحث	۶۳
۴-۱- صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته و قطر ساقه)	۶۴
۴-۲- کلروفیل A، B، کارتنوئید و عدد کلروفیل متر (SPAD)	۶۶
۴-۳- میزان تراوایی غشاء سلول، محتوای نسبی آب برگ، مقادیر پرولین و کربوهیدرات های محلول برگ	۷۱
۴-۴- پروتئین دانه	۷۷
۴-۵- عملکرد و اجزای عملکرد دانه	۷۹
۴-۵-۱- اجزای عملکرد	۷۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۵-۲- عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه	۸۲
۴-۶- رابطه همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با صفات نشت الکترولیت ها، عدد SPAD، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در بوته	۸۶
۴-۷- نتیجه گیری کلی	۹۲
۴-۸- پیشنهادات	۹۴
منابع	۹۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه گیری شده گیاه ذرت.....	۶۴
جدول ۴-۲- مقایسه میانگین اثر منابع کلسیم بر صفات اندازه گیری شده ذرت	۶۵
جدول ۴-۳- مقایسه میانگین کم آبیاری بر صفات اندازه گیری شده ذرت.....	۶۶
جدول ۴-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه گیری شده گیاه ذرت.....	۶۷
جدول ۴-۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر کلروفیل A، کارتنوئید و عدد کلروفیل متر در ذرت	۶۸
جدول ۴-۶- مقایسه میانگین اثر کم آبیاری و منابع کلسیم بر کلروفیل B در ذرت	۷۰
جدول ۴-۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه گیری شده گیاه ذرت.....	۷۲
جدول ۴-۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر صفات اندازه گیری شده ذرت ..	۷۴
جدول ۴-۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت	۷۹
جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ..	۸۲

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۸۸	شکل ۴-۱ رابطه بین عملکرد دانه با صفات اندازه گیری شده
۹۱	شکل ۴-۲ رابطه بین عملکرد بیولوژیک با صفات اندازه گیری شده

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

بنا بر گفته محققان گیاهان چه در شرایط نرمال و چه در شرایط مزرعه در امکان مواجهه با تنش‌های محیطی مختلف را دارند. بعضی از عوامل تنش‌زا مثل دمای بالا یا پایین ممکن است در فرصت چند دقیقه‌ای تنش‌زا شوند در حالی که فاکتورهای دیگر مثل رطوبت خاک ممکن است در زمان‌های طولانی مدت مثل چند روز تا چندین هفته و کمبود مواد غذایی در اختیار گیاه پس از گذشت چندین ماه تنش‌زا شوند. تخمین زده شده تنها در ایالات متحده آمریکا به دلیل تنش‌های غیر زنده مانند خشکی، شوری، دمای بالا و پایین و ...، محصول گیاهان زراعی تنها ۴۲ درصد ظرفیت ژنتیکی تولید شوند (کاکر، ۲۰۱۴). تنش خشکی (کمبود رطوبت خاک یا هوا) و فرم‌های متفاوت آن به عنوان یکی از مهم‌ترین و جامع‌ترین فاکتورهای تهدید کننده محصول گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطق بیابانی (خشک) و نیمه خشک دنیا به شمار می‌روند (یادو و باتاقر، ۲۰۰۱).

خشکی، یک عامل مهم در کاهش عملکرد و سطح کشت محصولات زراعی در سراسر جهان است و علاوه بر این که مانع افزایش سطح زیر کشت گیاهان می‌شود می‌تواند امنیت غذایی در بسیاری از کشورهای دنیا را هم به خطر اندازد (دانکن، ۲۰۰۰). یکی از اثرات تنش خشکی مثل سایر تنش‌های غیر زنده، بروز تنش اکسیداتیو می‌باشد که به موجب فاکتورهای رادیکال‌های آزاد اکسیژن مثل رادیکال‌های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل به وقوع می‌پیوندد (ماگدی و همکاران، ۲۰۱۶). گیاهان فرایندهای متفاوتی برای تقلیل اثرات مخرب گونه‌های اکسیژن فعال دارند. از جمله این فرایندها سنتز محصولات آنزیمی و غیر آنزیمی می‌باشد. به طوری که میزان گونه‌های فعال اکسیژن در داخل اندامک‌های گیاهی به موجب فعالیت آنتی اکسیدانت کنترل می‌شود. میزان تقلیل اثرات مضر اکسیژن فعال وابسته به مقدار بردباری گیاه به شرایط سخت دارد (سولوته و خانا، ۲۰۰۴). آسکوربیک

اسید از ترکیبات آنتی اکسیدانی می باشد که در داخل سلول فعال است و با فعالیت های خود تحمل میزان سوبستراهای آنزیم های آنتی اکسیدانت را افزایش می دهد و در تقلیل اثرات مضر تنش های محیطی اثر مهمی دارد (راج پار، ۲۰۱۱).

۱-۲- خشکی

کمبود آب در سراسر جهان، یکی از عوامل محدود کننده تولید و عملکرد گیاهان زراعی به شمار می رود (نیاکان و حبیبی، ۱۳۹۵). گالشی (۱۳۹۴) بیان کرد خشکی اصلی ترین فاکتور محدود کننده رشد، نمو و کارایی گیاهان زراعی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است، که ۴۰ تا ۶۰ درصد زمین های زراعی در دنیار را تحت اثر خود قرار می دهد. گیاهان در شرایط طبیعی و زراعی پیوسته در معرض تنش های مختلف محیطی قرار دارند. یکی از مهم ترین تنش های محیطی، تنش خشکی است که به شدت بر تولید و عملکرد گیاهان زراعی اثر می گذارد (انجوم و همکاران، ۲۰۱۲).

با توجه به اینکه ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می شود، در چنین مناطقی نوسانات بارندگی زیاد بوده و ممکن است برخی از مراحل مهم رشدی گیاه به دلیل کم آبی تحت تاثیر کاهش پتانسیل آب خاک قرار گیرد (نوروزی و کاظمی، ۱۳۹۶). همچنین بیان شده ایران در کمربند خشکی دنیا قرار گرفته است و به عنوان محدوده خشک در نظر گرفته می شود. میانگین بارش در منطقه ایران حدود ۲۵۰ میلی متر می باشد که این مقدار یک سوم بارش در دنیا است. از طرف دیگر حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار زمین های زراعی، ۶/۲ میلیون هکتار که برابر سی و سه و نیم درصد به زراعت دیم اختصاص دارد، در حدود یک و دو دهم میلیون هکتار از زمین های کاشت شده به صورت دیم، بارش بالاتر از ۴۰۰ میلی متر دارند دریافت. اما از بارش های سالیانه که حدوداً چهار صد میلیارد متر مکعب آب در

کشور می‌شود، عددی در حدود ۲۸۰ میلیارد متر مکعب آن به‌وسیله تبخیر از سطوح مختلف و تعرق گیاهان به جو بازگشت داده می‌شود و ما بقی آن میزان آبی می‌باشد که در رودخانه‌ها جاری می‌شود و یا در مخازن زیرزمینی انباشته می‌شوند و در واقع مقدار بسیار زیادی از آب‌های موجود در کشور به دلایل و موارد متعدد دیگر مورد استفاده در زراعت و کشاورزی قرار نمی‌گیرد (گالشی، ۱۳۹۴).

در چنین شرایطی به دلیل کمبود نزولات آسمانی و توزیع نامناسب آن، تولید محصولات کشاورزی متکی بر آبیاری است و در عین حال محدودیت منابع آب نیز از بزرگترین عوامل محدود کننده به خصوص در محصولات تابستانه می‌باشد (سپاسخواه و خواجه عبداللهی، ۲۰۰۵). مناطق خشک و نیمه خشک جهان به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، در معرض خطر بیشتری هستند به این دلیل که این نواحی از قبل در معرض کمبود شدید آب بوده‌اند و در حال حاضر نیز با خطر رو به افزایش خشکی مواجه هستند که کشاورزی را آسیب پذیرتر می‌سازد (نزار و همکاران، ۲۰۱۵).

با توجه به این مورد که خشکی از خصوصیات مورد توجه در پهنه کشور ماست و از این عامل طبیعی و غیرقابل تغییر راه فراری در دسترس نیست و از سوی دیگر مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی به‌طور روز افزونی در کشور ما افزایش می‌یابد، بنابراین باید در مقابل تاکید بر ضررهای ناشی از خشکی به دنبال مقابله با این پدیده باشیم و برای راه چاره اقدام کنیم، در نظر گرفتن راه‌هایی چون بهره‌برداری مناسب از آب موجود با استفاده از روش‌های صحیح زراعی مانند: کاشت گیاهان متحمل به خشکی، شناخت روابطه مربوط به کمبود آب و رابطه آن با خاک و رشد گیاهان زارعی در هر مرحله، بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی و روابط مطلوب درون گیاه در مقابله با تنش خشکی و سایر مواردی که امکان توسعه هر چه بیشتر کاشت گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک را فراهم می‌کند، در این رابطه موثر و مناسب خواهد بود (گالشی ۱۳۹۴).

گیاهان در هنگام تنش خشکی از طریق ساخت ترکیبات تنظیم کننده اسمزی از خود محافظت می- نمایند، در این فرایند گیاهان از طریق تجمع مواد محلول، فشار اسمزی سلول را کاهش می-دهند، این عمل سبب حرکت آب به سمت برگ‌ها می-گردد، در نتیجه فشار تورژسانس برگ‌ها افزایش می-یابد (گالشی و همکاران، ۱۳۸۸؛ ابهری و گالشی، ۱۳۸۶). محققان بیان کردند یکی از راه‌های مقابله با تنش- های محیطی و از جمله خشکی، استفاده از ترکیبات شیمیایی مفید است (ما و همکاران، ۲۰۰۷، اشرف و فولاد، ۲۰۱۷). در میان ترکیبات شیمیایی مفید برای گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی اسید سالیسیلیک، گلیسین بتائین و سدیم نیتروپروپوساید نسبت به سایر ترکیبات ارزاتر و پر کاربردتر هستند (قام و همکاران، ۲۰۱۳). ترکیبات شیمیایی ذکر شده، ترکیبات شیمیایی سازگار با وزن مولکولی کم می- باشند و در میزان زیاد در سلول غیرسمی بوده و اثر مضر ندارند. به‌طور کلی، این ترکیبات گیاهان را از اثرات مخرب تنش‌های محیطی با مشارکت در حفظ تعادل اسمزی و حفظ سیالیت غشا باعث ثبات پروتئین‌های دیواره یا آنزیم‌های موجود در سلول می-شوند و نشت الکترولیت‌ها را کاهش می-دهند (اقبال و همکاران، ۲۰۱۸).

محققان بیان کردند اسید سالیسیلیک یکی از ترکیبات فنولی می-باشد که با دارا بودن خاصیت آنتی- اکسیدانی در تنظیم فرایندهای بیوشیمیایی گیاهان نقش اساسی دارند. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول پیامبر اصلی در واکنش گیاه به تنش‌های زنده و غیر زنده شناخته می-شود (الطیب، ۲۰۱۵؛ خان و همکاران، ۲۰۰۳). اسید سالیسیلیک با اثری که بر آنزیم‌های آنتی اکسیدانتی مثل کاتالاز و پراکسیدازها و اسمولیت‌ها مانند پرولین، گلیسین و بتائینمی-گذارد آثار ناشی از تنش‌های محیطی مثل خشکی، تنش فلزات سنگین، تنش مای بالا و پایین و شوری را در گیاهان کاهش می-دهد (سنارانتا و همکاران، ۲۰۱۶).

بنا بر گفته محققان گلايسين بتائين تركيبى آمفوترىك مى باشد كه از نظر بار مغناطيسى خنثى و در اسيدپته هاى متفاوت فعال مى باشد، اين تركيب داراى قدرت انحلال بالا مى باشد و داراى يك منطقه هيدروكربن غير قطبى است كه شامل سه دسته متيل بوده كه در ساختمان مشخص مى باشد. خصوصياتى كه مولكول گلايسين بتائين دارد مثل تركيب هاى پروتئينى و آنزيمى به تركيب اين اجازه را مى دهد كه با ماکرو مولكول هاى آب دوست و چربى دوست واكنش نشان داده و با آنها تركيب شوند (يانگ و همكاران، ۲۰۱۳).

يك تركيب آزاد كننده نيتريك اكسايد (NO) سدیم نيتروپروسايد بوده و يك راديكال گازى و قابل انتشار است كه درون گياهان سنتز و آزاد مى شود. نيتريك اكسايد در مناطق آب دوست سلول مانند سيتوپلاسم حركت كرده و همچنين مى تواند آزادانه در داخل فاز ليپيدى غشاءها نيز حركت كرده و انتشار يابد. گزارشات بيان مى كنند كه نيتريك اكسايد در هنگام تنش هاى محيطى با گونه هاى اكسيژن فعال واكنش داده و اثر مخرب آنها را كاهش مى دهد. همچنين بيان شده است نيتريك اكسايد باعث افزايش توليد پرولين طى تنش خشكى مى شود (نصيبى و همكاران، ۱۳۹۰).

علاوه بر موارد بيان شده در بالا، تحقيقات نشان داده كلسيم مى تواند اثرات تنش هاى محيطى را كاهش دهد. كلسيم در بافت هاى گياهان به صورت هاى مختلفى ديده مى شود، كه از آن جمله مى توان به كلسيم آزاد، كلسيمى كه جذب سطحى شده مانند كربوكسيليك، فسفريليك و گروه هيدروكسيل فنيليك در سلول مشاهده شده است. علاوه بر آن نيز نمك هاى كلسيمى وجود داشته كه در واكوتل قرار دارند و به عنوان اسكلت ديواره سلولى مورد استفاده قرار مى گيرند. اين قبيل نمك هاى كلسيمى شامل فسفات كلسيم، كربنات كلسيم و به خصوص اگزالات كلسيم و نمك هاى آلومى مثل پكتات كلسيم مى باشند. غلظت بالاي كلسيم در تيغه مياني، سطح خارجى غشاي پلاسمالما، شبكه آندوپلاسمايى و واكوتل ها

دیده می‌شوند (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰). 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 (مارشور، ۱۹۹۵) در بافت‌هایی که کمبود کلسیم دارند فعالیت پلی گالاکتونازها افزایش می‌یابد و نشانه‌های معلوم کمبود کلسیم مثل تحلیل دیواره سلولی و افتادن اندام‌های گیاهی مثل ریزش برگ‌ها دیده می‌شود (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰).

بنابراین تیمارهای کلسیم می‌توانند سرعت تنفس را کم کرده، بنابراین گزارش ده است در برگ‌های گیاهان از بین رفتن پروتئین و کلروفیل‌ها که قسمت اعظم آنها نیتروژن و پروتئین می‌باشد با کاربرد کلسیم خارجی کاهش می‌یابد (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰؛ مارشور، ۱۹۹۵). محققان اخیراً باز و بسته شدن روزنه‌ها در گیاه را در ارتباط با تغییر در میزان کلسیم می‌دانند، به عبارت دیگر تغییر در مقدار کلسیم در سلول باعث انتقال پتاسیم به سلول‌های گارد (نگهبان) در روزنه شده و در نتیجه روزنه‌ها باز یا بسته می‌شوند (ملکوتی و رضایی، ۱۳۸۰). مقادیر کافی یون کلسیم موجود در محیط ریشه به وسیله تأثیر بر جذب انتخابی پتاسیم در برابر سدیم می‌تواند نسبت جذب پتاسیم به سدیم را در گیاهان در مواجهه با تنش شوری افزایش دهد و باعث کاهش اثرات مخرب سدیم شود (ناوارو، ۲۰۰۰)؛ تیموتی، ۱۹۹۵؛ کفو، ۱۹۹۸ و اپستین، ۱۹۶۱). مطالعات نشان داده به منظور مراقبت از غشاء سلول در مقابل اثرات مخرب ناشی از تنش‌های مختلف محیطی، وجود کلسیم در محیط ریشه یا کاربرد خارجی آن لازم است (نتوندا، ۲۰۰۴). بر اساس نظر محققان نقش کلسیم به عنوان فعال کننده سیستم انتقال پیام‌های سلولی و همچنین به عنوان تنظیم کننده اسمزی در گیاهان زراعی گزارش شده است. کلسیم در انتقال پیام‌های حاصل از تنش خشکی 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).

بر اساس نظر محققان نقش عمده این ترکیبات شیمیایی، مصون کردن یا حفاظت از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های ناشی از تنش به‌وسیله تعادل اسمزی، استحکام ساختار پروتئین‌های مهم در سلول مانند روبیسکو و ثبات در کارکرد سیستم فتوسنتزی می‌باشد. بنابراین، بیان شده است که برخی از ترکیبات مانند اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید اندامک‌های سلول را از آسیب‌های پسابیدگی و از دست دادن آب مصون نگه می‌دارند و موجب بهبود شرایط رشد و نمو گیاهان در شرایط طبیعی و تنش می‌شوند (اشرف و فولاد، ۲۰۱۷).

به منظور تقلیل اثرات مخرب تنش‌های محیطی پژوهشگران همواره به دنبال مسیرهای یا روش‌های موثر، کم هزینه و پرکاربرد برای کاهش آسیب‌های این تنش‌های محیطی بوده‌اند، در همین راستا بیان شده است بالابردن مقاومت گیاهان از مسیرهای متفاوت که مشمول استفاده از ارقام مقاوم، کاربرد ترکیبات هورمونی یا شبه هورمونی یا ترکیبات تنظیم کننده رشد و ترکیبات بهبود دهنده فرایندهای فیزیولوژیک گیاهان طی تنش‌های محیطی عملی است. بنا بر گفته محققان معرفی ارقام مقاوم زمان بر و با هزینه گزاف می‌باشد، اما در مقابل استفاده از ترکیبات شیمیایی مفید مانند اسید سالیسیلیک، سدیم نیتروپروساید، اسید آسکوربیک، گلايسين بتائين و اسيد جاسمونيك راهی آرازانتر و آسان تر می‌باشد (الطیب، ۲۰۱۵).

۱-۳- ذرت و اهمیت آن

در جهان حدود ۳۵۰۰۰۰ گونه گیاهی مشخص شده وجود دارد، که تنها ۲۴ گونه آن (یعنی ۰.۰۷٪ درصد از کل گونه‌های موجود) برای فراهم کردن نیازهای انسان به غذا و پوشاک و سایر مصارف به‌عنوان گیاه زراعی کاشت می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۴). در مقیاس جهانی چیزی حدود ۵۲ درصد از اراضی قابل‌زراعت جهان (معادل ۷۰۷ میلیون هکتار) به کاشت غلات اختصاص یافته است. ذرت (*Zea mays*) یکی از مهمترین غلات می‌باشد که در مناطق گرمسیری و از خانواده غلات با $2n=20$ کروموزوم می‌باشد. محققان بیان کرده‌اند، ذرت از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی و غلات مورد استفاده بشر، دام و طیور است که از نظر مقدار تولید برای تغذیه دام و طیور در جهان در مرتبه اول قرار می‌گیرد و به‌عنوان کشت بهاره یا تابستان در مناطق معتدله و گرم و پس از برداشت گیاهان پاییزه مثل گندم و جو مورد استقبال قرار گرفته است (خواجه‌پور، ۱۳۹۳).

طول دوره رشد در انواع مختلف ذرت از ۵۰ تا ۳۳۰ روز متفاوت می‌باشد، بنابراین ذرت دارای تنوع سازگاری وسیعی می‌باشد و از عرض جنوبی ۴۲ درجه تا عرض شمالی ۵۰ درجه با درجه حرارت‌های مختلف کاشت می‌شود. بر اساس نظر محققان در صورت وجود درجه حرارت کمینه خاک بین ۱۰-۶ درجه سانتی‌گراد، ذرت جوانه‌زنی را انجام داده، مطلوب‌ترین درجه حرارت برای جوانه‌زنی ذرت در دماهای ۳۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد (خدابنده، ۱۳۹۲)، به‌دلیل قدرت تطابق و سازگاری بالای ذرت، ذرت را می‌توان در تمامی نقاط ایران از اواخر فصل زمستان که یخبندان تمام شده است تا اواخر فصل تابستان که امکان برخورد با سرماهای پاییزه وجود ندارد کاشت نمود (بهرانی و همکاران، ۲۰۰۷).

از اصلی‌ترین کشورهای تولیدکننده ذرت می‌توان به کشورهای ایالات متحده، چین، برزیل، آرژانتین و مکزیک اشاره کرد که ایالات متحده با ۱۴ درصد سطح زیر کشت دنیا برای ذرت، کمی کمتر از نصف تولید دنیا برای ذرت را به خود اختصاص داده است (امام و همکاران، ۱۳۹۴). در اکثر مناطق بیشترین میزان ذرت تولیدی صرف استفاده دام به صورت دانه‌ای یا سلو می‌شود، هرچند ذرت گیاهی مناسب مناطق گرم و نیمه گرمسیری می‌باشد، اما گرمای بیش از حد عامل محدودکننده‌ی رشد و نمو این گیاه به شمار می‌آید. حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از برداشت جهانی گیاه ذرت به‌طور مستقیم به مصرف انسان می‌رسد، ۶۰ تا ۷۵ درصد آن به‌طور مستقیم به مصرف دام می‌رسد و نزدیک به ۵ درصد از تولید ذرت در جهان جهت فرآوری در صنعت مصرف می‌شود (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲). ذرت مورد استفاده‌های متعددی دارد که از جمله آن می‌توان به آسیاب کردن ذرت و آرد کردن آن اشاره نمود که در تهیه محصولات متفاوت به کار برده می‌شود. از کاه که شامل ساقه و برگ‌های ذرت می‌شود نیز در صنایع کاغذ و مقوا سازی و همچنین کاغذ دیواری برای ساختمان‌ها استفاده می‌شود. آرد ذرت مصارف متعدد دیگری نیز دارد که می‌توان به تولید چسب، صابون و نشاسته و همچنین استفاده از آن در صنایع رنگرزی، داروسازی، مرکب‌سازی و پلاستیک‌سازی اشاره کرد، محققان بیان کرده‌اند کارایی مصرف آب و نور در گیاه ذرت بالا می‌باشد زیرا ذرت یک گیاه چهار کربنه می‌باشد و به همین دلیل کارایی مصرف آب و نور در این گیاه از غلات سه کربنه‌ای مثل گندم، برنج، جو، یولاف و چاودار بیشتر می‌باشد، بر اساس نظر محققان ذرت می‌تواند نسبت به آب مصرفی در مزرعه، بیشترین ماده خشک را در واحد سطح تولید کند (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

اخیراً در نتیجه توجهات زیادی که به دامداری و پرورش دام و پرورش طیور شده است و همچنین به دلیل استقبال بسیار بالای پرورش دهندگان دام‌های سبک و سنگین مثل گاو و گوسفند و همچنین

پرورش‌دهندگان طیور گوشتی و تخم‌گذار از دانه ذرت و سایر فراورده های آن و از طرف دیگر نیاز فراوان صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی و کارتون سازی و در مواردی صنایع آرایشی بهداشتی و دارویی به محصولات این گیاه سطح زیر کشت گیاه ذرت به سرعت افزایش یافته است (کافی و همکاران، ۱۳۹۵). اهمیت اقتصادی و معیشتی ذرت عموم کشاورزان واضح و مبرهن می‌باشد، زیرا تمام قسمت‌های مختلف گیاه، مانند اجزای مختلف در بخش هوایی گیاه از جمله دانه، ساقه و برگ و حتی چوب بلال و کاکل آن به مصرف انسان (۲۵-۲۰ درصد)، به مصرف دام و طیور (۷۵-۷۰ درصد) می‌رشد و بقیه محصولات این گیاه که در حدود ۵ درصد می‌باشد در صنعت و داروسازی مصرف فراوانی دارد (میرهادی، ۲۰۰۲) امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر تأمین غذا متناسب با نرخ رشد جهانی جمعیت محسوب می‌شود.

۱-۴- فرضیات

- محلول پاشی منابع مختلف کلسیم همانند کلرید کلسیم و سیلیکات کلسیم باعث افزایش رشد و عملکرد ذرت می‌شود.
- محلول پاشی منابع مختلف کلسیم همانند کلرید کلسیم و سیلیکات کلسیم باعث کاهش اثرات تنش کم آبیاری بر ذرت می‌شود.

۱-۵- اهداف

- بررسی تاثیر محلول پاشی منابع مختلف کلسیم همانند کلرید کلسیم و سیلیکات کلسیم در دو غلظت ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار بر افزایش رشد و عملکرد ذرت.
- بررسی تاثیر محلول پاشی منابع مختلف کلسیم همانند کلرید کلسیم و سیلیکات کلسیم در دو غلظت ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار بر کاهش اثرات تنش کم آبیاری بر گیاه ذرت.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- گیاه‌شناسی ذرت

۱- ذرت گیاهی است تک‌لپه، یک‌ساله و از خانواده گرامینه Gramineae، زیر خانواده Maydeae، جنس Zea و گونه mays با $2n=20$ کروموزوم. به‌طور خلاصه قسمت‌های مختلف ذرت عبارت‌اند از:

۲-۱-۱ ریشه :

ذرت سه نوع متفاوت ریشه دارد که عبارتند از: الف- ریشه‌های مربوط به بذر که ریشه‌های بذری یا اولیه^۱ گفته می‌شوند ب- ریشه‌های مربوط به طوقه که ریشه‌های تاجی یا ثانویه^۲ نامیده می‌شوند ج- ریشه‌های مربوط به ساقه که ریشه‌های هوایی^۳ نامیده می‌شوند.

ریشه‌های اولیه تعداد ۵-۳ عدد می‌باشند و برخلاف بعضی از غلات ریشه‌های اولیه که پس از کامل شدن ریشه‌های ثانویه ریزش پیدا می‌کنند، ریشه‌های اولیه ذرت در این گیاه باقی‌مانده و ریزش پیدا نمی‌کنند و از گیاه جدا نمی‌شوند. ریشه‌های دائمی^۴ یا ریشه‌های طوقی^۵ که همان ریشه‌های ثانویه هستند، به تعداد ۲۰-۱۵ برابر ریشه‌های اولیه رشد کرده و از میان گره ساقه و از ۵ تا ۳ سانتی‌متری زیرخاک در محل طوقه تشکیل می‌شوند. ریشه‌های جانبی و یا نابجا که همان ریشه‌های هوایی نیز گفته می‌شوند، از گره‌های دوم و سوم در بالای طوقه به وجود آمده و ضمن کمک به استقرار مناسب‌تر گیاه در خاک در جذب آب و مواد غذایی از خاک برای گیاه نیز مؤثر می‌باشند (امام، ۱۳۹۴).

۱ Seminal roots

۲ Coronal roots

۳ Brace roots

۴ Permanent

۵ Nodal roots

ریشه‌ها در اوایل عمر گیاه ذرت (جوانی) به سرعت رشد می‌کنند، بدین صورت که هنگامی ارتفاع ذرت هنوز به ۱۰ سانتی‌متر نرسیده باشد، ریشه‌های ذرت می‌تواند تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک نفوذ کنند. بخش اصلی ریشه‌های گیاه ذرت در عمق ۷۵-۷۰ سانتی‌متری زیر خاک می‌باشد اما ممکن است، برخی از ریشه‌ها تا عمق ۲ متری یا بیشتر از آن نفوذ کند. در شرایط مطلوب برای رشد، گسترش عرضی ریشه‌ها تا شعاع ۱ متری نیز می‌تواند برسد و این حرکت جانبی ریشه‌ها از یک تا دو هفته قبل از تشکیل کاکل (گل‌نر) متوقف شده و از آن به بعد رشد ریشه‌ها به صورت عمقی می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۹۳).

۲-۱-۲ ساقه

ذرت دارای ساقه گره‌گره و توپر می‌باشد، اما به طور معمول ساقه ذرت مستقیم و فاقد شاخه جانبی می‌باشد. فاصله بین گره‌ها در انواع مختلف ذرت بین ۶ تا ۲۰ سانتی‌متر متغیر می‌باشد که تعداد گره‌ها نیز بین ۸ تا ۲۱ گره در رقم‌ها و گونه‌های مختلف متغیر می‌باشد. ارتفاع بوته بین ۶۰ سانتی‌متر تا ۳ متر متغیر می‌باشد و در شرایط مطلوب ارتفاع بوته ذرت تا ۵ متر نیز ممکن است برسد. قطر ساقه ذرت بین ۱/۵ تا ۵ سانتی‌متر در ارقام مختلف متغیر می‌باشد (تاج‌بخش، ۱۳۹۲).

ساقه در میانگره‌های بالایی به صورت استوانه‌ای می‌باشد، در حالی که ساقه میانگره‌های پایینی به طور معمول شیاردار می‌باشد. یک برگ و یک جوانه در هر گره معمولاً وجود دارد که از رشد این جوانه‌ها در هر گره بلال، یا بلال‌هایی تولید می‌شود. برخلاف غلات دیگر، اکثر ارقام ذرت دارای پنجه نمی‌باشند و این امر در نتیجه اصلاح یا انتخابی می‌باشد که از ذرت‌های خوشه بزرگ انجام شده است (اصلاح شده از ذرت‌های خوشه بزرگ)، در شرایط محیطی مناسب (تراکم کمتر، نیتروژن بیشتر، رطوبت و عمق کاشت مناسب)، جوانه‌های موجود در گره‌های زیرخاک، می‌توانند تولید پنجه کنند. تولید پنجه یک صفت

نامطلوب می‌باشد، به این دلیل که پنجه‌ها یا اغلب بدون بلال می‌شوند و حتی اگر بلال هم تولید کنند در انتهای ساقه این بلال به وجود می‌آید که این بلال‌ها بدون پوشش می‌باشند و در بیشتر موارد در اثر حمله پرندگان از بین می‌روند (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ خواجه‌پور، ۱۳۹۳).

۳-۱-۲ برگ

در گیاه ذرت به‌طور متناوب در روی ساقه برگ‌ها قرار می‌گیرند؛ به عبارت دیگر هر برگ در یک گره ساقه به وجود می‌آید که به یک غلاف که ساقه را دربر می‌گیرد متصل می‌باشند و یک پهنک پهن و بزرگ که ممکن است یک لیگول یقه‌مانندی نیز داشته باشد به ادامه غلاف متصل است، در ذرت‌هایی که لیگول ندارند، برگه‌ای ایستاده وجود دارد که این طرز قرار گرفتن برگ‌ها (برگ‌های مایل به افق) باعث جذب نور بیشتر و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی ذرت می‌شوند، محققان بیان کرده‌اند زاویه بین برگ و ساقه علاوه بر اینکه عامل ژنتیکی دارد، به موقعیت برگ نیز وابستگی شدید دارد، به طور مثال برگ‌های پایین و نزدیک به زمین زاویه بیشتری نسبت به برگ‌های بالایی و نزدیک به تاج دارند. تعداد برگ در ارقام مختلف متفاوت می‌باشد و به طور معمول بین ۸ تا ۴۸ عدد (به‌طور متوسط حدوداً ۱۲ تا ۱۸ عدد) متغیر می‌باشد و تعداد آن در ذرت یک صفت ژنتیکی بوده و نسبتاً ثابت می‌باشد و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ خواجه‌پور، ۱۳۹۳).

۴-۱-۲ گل‌آذین

ذرت هم مانند شبیه سایر غلات یک پایه می‌باشد با این تفاوت که گل‌های نر و ماده در دو گل‌آذین جدا از هم هستند اما این گل‌های نر و ماده روی یک گیاه قرار دارند. گل نر به‌صورت تاجی و خوشه‌ای

منشعب در انتهای ساقه می‌باشد که به آن گل‌آذین نر یا تاسل^۱ نیز می‌گویند. خوشه نر دارای خوشه‌های فرعی به صورت دوتایی می‌باشد. در هر خوشه فرعی دو گل یافت می‌شوند (میرهادی، ۱۳۸۹). سه پرچم، دو لودیکول و یک مادگی تکامل نیافته در هر گل نر موجود می‌باشد. بر روی سنبله‌ها گل‌های ماده قرار دارند. در نزدیک وسط ساقه سنبله‌ها ایجاد می‌شوند. گل‌آذین ماده دارای خوشه‌ای با محوری نسبتاً قطوری است و در روی سنبلچه‌های فرعی و دوتایی در کنار هم قرار دارند. سنبله حاوی ۸ تا ۳۰ ردیف طولی از سنبلچه‌های زوج روی محور ضخیم می‌باشد. هر سنبله فرعی دو گل دارد که معمولاً یکی از آن‌ها بارور شده و دیگری عقیم می‌ماند. در صورتی که گل دوم نیز بارور شود زیادی دانه‌ها باعث به هم خوردن ترتیب ردیف‌ها شده و در نتیجه توزیع دانه بر روی سنبله‌ها نامنظم می‌شود. کاکل یا ابریشم به طول ۲۰-۱۰ سانتی‌متر از تخمدان هر گل خارج شده که مجموعه کلالة و خامه نیز در آن وجود دارد (امام، ۱۳۹۴؛ خواجه‌پور، ۱۳۹۳).

موهای ریز و چسبناکی که دانه‌های گرده را به خود می‌گیرند کاکل را تشکیل داده روی گل ماده را می‌پوشاند؛ عمر کاکل‌ها ۱۰-۵ روز محاسبه شده است. سایر قسمت‌های سنبله را دو گلوب ضخیم و کوتاه فراگرفته که باهم پوست دانه را تشکیل می‌دهند و از گلوب‌ها کوتاه‌تر هستند. سنبله ذرت توسط پوشش‌هایی (پوست‌های بلال) که در حقیقت غلاف‌های تغییر شکل یافته برگ است، پوشیده و محافظت می‌شود. به این پوشش‌ها چمچه یا اسپات^۲ نیز می‌گویند (عبدلی و اسفندیاری، ۱۳۹۶). عمل گرده‌افشانی حدوداً ۹۵ درصد به صورت دگرگشن و ۵ درصد به‌طور خودگشن توسط باد صورت می‌گیرد، که دلیل کمتر بودن خود گشنی نرسیدن همزمان گل‌های نر و ماده می‌باشد.

^۱ Tassel

^۲ Spath

مقدار گرده تولید شده یک صفت ژنتیکی می‌باشد و ممکن است یک خوشه نر بین ۵ تا ۲۵ میلیون دانه گرده تولید نماید؛ محاسبه شده است دانه‌های گرده ۱ تا ۳ روز قبل از خروج کاکل ذرت آزاد می‌شود، بنابراین، گرده‌افشانی در ذرت ضمن آلوگام بودن پروتاندرا^۱ نیز هست (علیخانی و خسرو محمدی، ۱۳۹۰). پس از ۱۲ تا ۲۸ ساعت عمل لقاح صورت می‌گیرد هنگامی که دانه گرده بر روی کاکل قرار گرفت. در شرایط مناسب عمر دانه گرده بین ۱۸ تا ۲۴ ساعت است. در هر سنبله تعداد دانه‌های ذرت معمولاً بین ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ دانه می‌باشد. چون دانه‌ها به‌طور محکم روی محور سنبل قرار گرفته‌اند، در طبیعت بدون مداخله انسان نمی‌تواند به بقای خود ادامه دهد زیرا ذرت قادر به پراکندن بذرها نیست (خواجeh‌پور، ۱۳۹۳؛ خداپنده، ۱۳۹۲).

۲-۱-۵ دانه ذرت

دانه ذرت که یک میوه گندمه^۲ به عبارت دیگر، میوه ذرت تک‌لپه‌ای خشک و ناشکوها می‌باشد، دانه ذرت بین ۳-۶ میلی‌متر قطر، ۹-۱۶ میلی‌متر طول و ۶-۹ میلی‌متر عرض دارد و ساختمان آن به شرح زیر است. الف- پوسته میوه یا پریکارپ^۳: پوسته میوه که یک دیواره نازک است و از چندلایه سلول تشکیل شده و قسمت‌های داخلی دانه را فراگرفته است. پریکارپ مجموعاً ۶ درصد دانه را تشکیل می‌دهد و از لحاظ سلولز و همی سلولز غنی بوده و دانه را از خسارات مکانیکی و عوامل نامساعد محیطی حفاظت می‌کند. ب- لایه آلورن^۴: این لایه که طبقه منفردی از سلول‌هاست، بلافاصله بعد از پوسته میوه قرار دارد. رنگ‌های آبی و بنفش دانه ذرت مربوط به سلول‌های همین لایه بوده و در این لایه پروتئین نیز جمع

^۱ Protandry

^۲ Caryopsis

^۳ Pericarp

^۴ Aleurone

می‌شود. ج- آندوسپرم یا آردینه^۱: آندوسپرم همان بافت غذایی دانه است و حجم اصلی دانه را تشکیل داده و حدوداً ۸۵ درصد آن را تشکیل می‌دهد. آندوسپرم بیشتر در قسمت بالای دانه قرار دارد. در ذرت دو نوع آندوسپرم دیده می‌شود (صادقی، ۱۳۹۴). د- جنین دانه^۲: جنین ذرت که حدود ۱۰-۱۲ درصد آن را تشکیل می‌دهد در قسمت پایین دانه قرار دارد. جنین از دو قسمت اصلی لپه یا اسکوتلوم^۳ و محور جنین^۴ تشکیل یافته است. محور جنینی شامل جوانه^۵ که در آن ۵-۶ لبرگ جنینی دیده می‌شود و به‌وسیله کولئوپتیل^۶ احاطه شده و همچنین ریشه‌چه^۷ می‌باشد که به‌وسیله کلئوریزا^۸ محافظت می‌گردد. دانه بدون آب ذرت نزدیک به ۷۷ درصد نشاسته دارد که دوسوم نشاسته ذرت معمولاً آمیلوپکتین و یک‌سوم آن آمیلوز می‌باشد، ۹ درصد پروتئین که شامل پرولامین، به‌خصوص زئین حدود ۴۸ درصد، گلبولین حدود

۱۴ درصد و گلوتلین حدود ۳۱ درصد است، ۵ درصد چربی که ممکن است تا ۷ درصد نیز افزایش یابد، ۵ درصد نپتوزان، ۲ درصد قند و ۲ درصد خاکستر دارد. ۸۰ درصد روغن ذرت در قسمت جنین دانه متمرکز است.. وزن هزار دانه ذرت از ۱۰۰ تا ۴۰۰ گرم متغیر است (عبدلی و اسفندیاری، ۱۳۹۶؛ میرهادی، ۱۳۸۱؛ نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

^۱ Endosperm

^۲ Embryo

^۳ Scutelum

^۴ Coleoptile

^۵ Plumule

^۶ Coleoptile

^۷ Radicle

^۸ Cleorhiza

۲-۲- طبقه‌بندی ذرت

ذرت‌های مختلف را براساس موارد زیر می‌توان طبقه‌بندی کرد:

الف- ارتفاع بوته: ارتفاع بوته ذرت بین ۶۰ سانتی‌متر تا ۸ متر و تعداد برگ در هر ساقه نیز بین ۸ تا

۴۴ برگ ممکن است متغیر باشد.

ب- دوره رشد: دوره رشد ذرت بین ۵۰ تا ۳۳۰ روز متغیر بوده و ذرت‌ها را در این ارتباط به

۳ گروه زودرس، ارقام متوسط رس، ارقام دیررس طبقه‌بندی می‌شوند.

ج- رنگ‌دانه: که شامل ذرت‌های سفید، ذرت‌های زرد و ذرت‌های الوان می‌باشد.

د- نحوه تولید بذر: که شامل ارقام ذرت با گرده‌افشانی باز، ارقام ذرت هیبرید، ارقام ذرت مصنوعی

(سنتیتک) است.

ه- کیفیت دانه، شکل ظاهری و موارد مصرف ذرت: ذرت‌ها را برحسب شکل ظاهری دانه،

ترکیبات دانه، کیفیت دانه، مشخصات آندوسپرم و موارد مصرف آن، در ۷ گروه دسته‌بندی شده‌اند که به

شرح زیر می‌باشد (خدابنده، ۱۳۹۲):

۱- ذرت دندان‌اسبی^۱ (**Dent Corn**)

۲- ذرت بلوری یا سخت^۲ (**Flint Corn**)

^۱ *Zea mays indentata*

^۲ *Zea mays indurata*

۳- ذرت بوداده^۱ (Pop Corn)

۴- ذرت آردی یا نرم^۲ (Flour Corn)

۵- ذرت شیرین^۳ (Sweet Corn)

۶- ذرت مومی^۴ (Waxy Corn)

۷- ذرت غلافدار^۵ (pod corn)

۲-۳- سازگاری‌های ذرت

وجود تنوع زیاد، از نظر گروه رسیدگی از فوق العاده زودرس تا فوق العاده دیررس در گیاه ذرت امکان رشد آن را در محدوده وسیعی از شرایط محیطی و اقلیمی حتی مناطق سردسیر فراهم آورده است. سازگاری وسیع گیاه ذرت دارد و از طرفی، شرایط آب و هوایی بسیار متنوع و مناسبی که در کشور ایران برای تولید ذرت وجود دارد، امکان کشت ذرت را در اکثر مناطق و اقلیم های گرم، معتدل و سرد کشور فراهم نموده است (خواجه پور، ۱۳۹۳).

۲-۳-۱- دما (حرارت)

مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری مخصوص گیاه ذرت است، ذرت در مراحل مهم رشدی، مخصوصاً در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به سرما حساس و آسیب پذیر است. ذرت از زمان کاشت تا برداشت برعکس

^۱ *Zea mays everata*

^۲ *Zea mays amylaceae*

^۳ *Zea mays saccharata*

^۴ *Zea mays ceratina*

^۵ *Zea mays tunicata*

سایر گیاهان خانواده غلات مانند گندم و جو به گرما و حرارت زیاد خورشید احتیاج دارد. بر همین اساس یکی از عوامل اصلی محدود کننده رشد و نمو ذرت حرارت است. همچنین در مرحله حساس گرده افشانی دمای بالا و کاهش رطوبت نسبی هوا آثار نامطلوبی بر عمل گرده افشانی و لقاح خواهد داشت که این امر در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه خواهد گردید (خدابنده، ۱۳۹۲).

وقتی درجه حرارت میانگین روزانه در طول فصل رشد به بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد برسد ارقام زودرس به مدت ۸۰ تا ۱۱۵ روز و ارقام متوسط رس تا دیررس به مدت ۱۲۰ تا ۱۴۰ روز برای رسیدن دانه زمان نیاز دارند. وقتی ذرت به عنوان علوفه کشت می شود طول دوره رشد به مدت ۱۵ تا ۲۰ روز کوتاهتر می شود (صادقی، ۱۳۹۴).

۲-۳-۲- رطوبت (آب)

در زراعت ذرت تامین آب مورد نیاز یک عامل مهم و حیاتی می باشد، در رابطه با تولید ماده خشک (بیومس)، ذرت به دلیل داشتن کارای مصرف آب بالا نسبت به سایر گیاهان زراعی اعم از گندم، جو، سیب زمینی و ... به آب کمتری احتیاج دارد. در بعضی از مراحل رشدی از جمله رشد فزاینده برگ ها، گرده افشانی و پر شدن دانه که مصادف با تاریخ های گرم سال می باشد گیاه به آب بیشتری نیاز دارد. به علت زیاد بودن سطح برگ در ذرت، مقدار فتوسنتز و همچنین تبخیر و تعرق افزایش یافته و در نتیجه مجموع آب مصرفی آن افزایش می یابد. ولی نسبت به ماده خشک تولیدی، مصرف آب آن از سایر غلات کمتر است زیرا ذرت گیاهی چهار کربنه می باشد (تاج بخش، ۱۳۹۲).

۲-۳-۳- نور

ذرت از نظر واکنش به طول روز بی تفاوت یا روز کوتاه می باشد. بین بوته ها رقابت برای رسیدن به نور و استفاده بیشتر از نور خورشید در تراکم زیاد، باعث رشد علفی گیاه شده و ضمن اینکه عمل

فیزیولوژیکی گیاه به نحو مطلوب انجام نمی گیرد و در نهایت زمان رسیدن دانه نیز به عقب می افتد. البته باید بیان شود در کشت علوفه ای ذرت تراکم های بالا استفاده می شود، زیرا هدف تولید علوفه بیشتر با بافت خشبی کمتر می باشد، میزان رشد ذرت نه تنها به طول روز بلکه به شدت و کیفیت نور نیز بستگی دارد در روزهای کوتاه و نور شدید ارتفاع بوته و تعداد برگ ذرت کاهش می یابد و بلال ها در گره های پایین تر ساقه تشکیل می شوند (عبدلی و اسفندیاری، ۱۳۹۶).

۲-۳-۴- خاک مناسب

کاشت ذرت در خاک هایی که دارای عمق کافی، نرم و قابل نفوذ باشند امکانپذیر است. در خاک هایی که pH آنها بین ۶ تا ۷ باشند ذرت می تواند به رشد خود به خوبی ادامه دهد و محصول قابل توجهی تولید نماید. ذرت به رطوبت اضافی خاک (شرایط غرقاب یا خاک اشباع از آب) بسیار حساس بوده و به همین دلیل مزارع باید از زهکشی مناسبی برخوردار باشند (میرهادی، ۱۳۸۱).

۲-۴- ارزش غذایی ذرت

گیاه ذرت، یکی از مناسب ترین گیاهان برای تولید علوفه سبز، سیلو و دانه است که این امر به دلیل دارا بودن مواد قندی و نشاسته زیاد در اندام های مختلف این گیاه می باشد. جهت استفاده گاو و گوسفند علوفه ذرت غنی از مواد گلو سیدی و انرژی زا ولی فقیر از نظر پروتئین می باشد. به همین دلیل در جیره غذایی دام این نوع علوفه را باید همراه با علوفه هایی که غنی از پروتئین هستند، به طور مخلوط وارد نمود. در ضمن ذرت فوق العاده سهل الهضم بوده و سیلوی آن برای دام های پرواری غذای بسیار مطلوبی است. علاوه بر موارد یاد شده عوامل دیگری نیز در توسعه و گسترش این گیاه نقش دارند. عمده ترین این عوامل عبارتند از (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲):

۱- عملکرد علوفه و دانه بالای ذرت در هکتار

۲- در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت امکان استفاده از مکانیزاسیون برای ذرت

۳- سهم عمده و نقش روز افزون ذرت در تأمین مواد غذایی مورد نیاز انسان، دام و طیور و مصارف

صنعتی تغذیه انسان ۲۵-۲۰ درصد، تغذیه دام و طیور ۷۰-۷۵ درصد و مصارف صنعتی ۵ درصد

۲-۵- کاشت داشت و برداشت ذرت

ذرت در مقایسه با سایر گیاهان خانواده غلات از جمله گندم و جو در مدت زمان کاشت تا برداشت، احتیاج به گرما و حرارت زیاد خورشید دارد، از این رو ذرت گیاهی است گرمادوست که به همین دلیل از عوامل اصلی محدود کننده رشد و نمو ذرت حرارت در دوره رشد آن به خصوص در مراحل حساس رشدی می باشد. ذرت در مناطقی که میانگین درجه حرارت روزانه آن کمتر از ۱۹ درجه سانتی گراد، یا مناطقی که میانگین درجه ماه های تابستان آن کمتر از ۲۳ درجه سانتیگراد است توصیه نمی شود (تاج بخش، ۱۳۹۲). در کشور ایران برای تولید ذرت شرایط آب و هوایی بسیار متنوع و مناسبی وجود دارد و از طرفی می توان در اکثر مناطق و اقلیم های گرم، معتدل و سرد کشور به دلیل وجود تنوع و سازگاری وسیع گیاه ذرت، اقدام به کشت ذرت نمود.

در هر اقلیم باید بر اساس تاریخ کاشت و دوره رشد و نمو مناسب منطقه کشت ذرت باشد و انتخاب رقم و گروه رسیدن آن (دیررس، متوسط رس و زودرس) نیز به شرایط هر منطقه بستگی دارد. در غیر این صورت علاوه بر افت کمی و کیفی محصول ذرت، کشت های پائیزه (گندم یا کلزا) نیز با تأخیر مواجه خواهند شد، به عنوان مثال بعد از برداشت گندم در مناطق معتدل (مثل مناطق معتدل استان فارس) اگر ارقام دیررس مانند KSC ۷۰۴ کشت گردد قبل از رسیدن فیزیولوژیک با سرما مواجه خواهد شد و سبب کاهش کمی و کیفی محصول می شود بنابراین ارقام مناسب برای مناطق فوق و مشابه آن، هیبریدهای زودرس تر و با دوره رشد و نمو کوتاه تر خواهد بود (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۵-۱- انتخاب زمین

خاک هایی که دارای عمق کافی، نرم و قابل نفوذ باشند امکان کاشت ذرت می باشد. همچنین ذرت در خاک هایی با اسیدیته بین ۶ تا ۷ قادر به رشد می باشد و محصول در حد مطلوب تولید می کند. خاک هایی با دامنه شوری ۱-۴ میلی موس بر سانتی متر از نظر شوری خاک، ذرت می تواند رشد کند و در خاک هایی با شوری بیشتر از ۴ میلی موس بر سانتی متر باید میزان بذر را افزایش داد. کشت ذرت در خاک هایی با شوری بالاتر از ۶ میلی موس بر سانتی متر، اقتصادی نیست. علاوه بر این، در انتخاب زمین جهت تولید ذرت باید به نکات مهم زیر نیز توجه شود (میرهادی، ۱۳۸۹):

- تهویه مناسب خاک:

تهویه مناسب خاک به عنوان یک فاکتور موثر در میزان تولید محصول از اهمیت زیادی برخوردار است. در زمین هایی که از زهکش مناسب برخوردار نیستند، به دلیل ماندابی در مزرعه و فراهم نبودن تهویه مناسب در خاک، محصول به شدت کاهش پیدا خواهد کرد و گاهی از رشد رویشی گیاه نیز جلوگیری می نماید (میرهادی، ۱۳۸۹).

- وسعت و تسطیح مزرعه: به دلیل مکانیزه بودن زراعت ذرت، زمین علاوه بر وسعت کافی باید از

تسطیح نسبی نیز برخوردار باشد. در غیر این صورت آبیاری به طور صحیح انجام نخواهد شد و مزرعه مشکلات بد سبزی یا عدم سبز یکنواخت را بدنال خواهد داشت.

- دمای منطقه کشت: حداکثر درجه حرارت زمان گرده افشانی نباید بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد

باشد (میرهادی، ۱۳۸۹).

۲-۵-۲- تهیه بستر کاشت (خاک ورزی)

در زراعت ذرت عملیات تهیه زمین اگر بخوبی انجام شود باعث نرم شدن خاک در عمق مورد نیاز، ذخیره آب، ایجاد یک شرایط مطلوب جهت رشد ریشه ها، فعالیت میکروارگانیسمی، دفع علف های هرز و زیر خاک بردن بقایای گیاه ی کشت قبلی می گردد. به دلیل مکانیزه بودن زراعت ذرت لازم است که تمام مراحل کاشت ذرت به طور صحیح و کامل اجرا شود. در تهیه بستر کاشت نکات زیر باید مورد نظر قرار گیرد.

۱- قبل از بکارگیری گاو آهن استفاده از ساقه خردکن در صورتی که بقایای محصول قبلی خشبی بوده و در عملیات تهیه بستر و کاشت بذر مشکل ایجاد کند.

۲- زیرشکنی به عمق ۵۵ سانتی متر (در صورت نیاز هر چهار سال یکبار)

۳- حداقل عمق شخم ۲۵ سانتی متر باشد و سپس از دیسک و چنگک استفاده شود.

۴- تسطیح زمین با استفاده از لولر (دو مرحله عمود برهم)

۵- توصیه های مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در هر منطقه باید در نظر گرفته شود (میرهادی، ۱۳۸۹).

۲-۵-۳- آبیاری

ذرت گیاهی است آبدوست و در مراحل مختلف رشد نسبت به تنش خشکی حساس می باشد. خشکی در کلیه مراحل رشد ذرت ایجاد خسارت می نماید. از مرگ گیاهچه های جوان در اوایل رشد و کاهش تراکم بوته، کاهش سطح برگ و بدنبال آن جذب کمتر نور خورشید و افت عملکرد و در دوره گلدهی که ذرت شدیداً به تنش خشکی حساس است (دو هفته قبل تا دو هفته بعد از گلدهی) (صادقی، ۱۳۹۴). اگر

در مرحله گلدهی خشکی حادث شود، عملکرد ذرت به شدت تحت تأثیر قرار می گیرد. خشکی شدید که باعث سوختن برگ‌ها یا کوچک شدن آنها شود، بیشترین تأثیر منفی را بر عملکرد خواهد داشت. بنابراین در انتخاب زمین و سطح زیر کشت باید به مقدار آب موجود نیز توجه شود. عدم هماهنگی بین مقدار آب و سطح زیر کشت، چه در کشت های پائیزه (در مناطق جنوبی کشور) که در اوایل فصل رشد با کمبود آب آبیاری مواجه می شوند و چه در کشت بهاره و یا تابستانه که عملاً تداخل آبیاری غلات و کلزا با آب اول ذرت را بدنبال خواهد داشت، معمولاً سبب خسارت به محصولات حاضر در تناوب و نهایتاً به کشاورزان خواهد شد (صادقی، ۱۳۹۴). آب مورد نیاز گیاه ذرت بستگی به روش آبیاری، نوع خاک، رقم (دیررس یا زودرس) و اقلیم هر منطقه دارد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

در حدود ۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار ذرت در کشت اول آب نیاز دارد (۹ الی ۱۰ هزار متر مکعب در هکتار در مناطق گرم و خشک کشور آب مورد نیاز گیاه ذرت می باشد) در کشت دوم ۶۵۰۰ متر مکعب آب ذرت نیاز دارد. روش آبیاری، بافت خاک و اقلیم هر منطقه دور آبیاری ذرت را تعیین می کند. دور آبیاری معمولاً بین ۸-۱۰ روز یکبار مناسب ذرت می باشد. در مناطق گرم کشور مثل خوزستان و اقلیم گرم فارس لازم به ذکر است آبیاری اول و دوم گیاه با فاصله ۳-۴ روز انجام می شود تا از بدسبزی و کاهش تراکم بوته، جلوگیری گردد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۵-۴- مصرف کودهای شیمیایی

از جمله محصولات زراعی است که به عناصر غذایی موجود در خاک سریعاً عکس العمل نشان می دهد ذرت می باشد. سرعت رشد نسبتاً بالای این گیاه، سبب جذب زیاد عناصر غذایی و واکنش سریع آن به کمبود مواد غذایی است.

- ازت (نیتروژن)

ازت یکی از عناصر اصلی و مورد نیاز برای رشد ذرت محسوب می شود. تعداد بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، اندازه دانه ها و میزان پروتئین دانه همگی تحت ازت در مراحل مختلف رشد ذرت است. جذب نیتروژن از خاک در تمام مراحل رشد گیاه صورت می گیرد، ولی در مراحل اولیه رشد مقدار جذب آن کمتر است (صادقی، ۱۳۹۴). مقدار مصرف نیتروژن در هر منطقه بر اساس آزمون خاک و با توجه به مواد آلی خاک تعیین و مصرف می گردد.

- فسفر

فسفر از جمله عناصر ضروری برای رشد و نمو ذرت است. کود فسفره به صورت فسفات آمونیوم یا سوپر فسفات تریپل مصرف می شود. ۵۰ درصد کود مورد نیاز در فصل پاییز و نیمی دیگر در فصل بهار به زمین داده می شود. ذرت بیشترین میزان فسفر (حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد) مورد نیاز خود را از زمان تلقیح تا زمان تشکیل دانه جذب می کند. مصرف فسفر بر اساس آزمون خاک می باشد (صادقی، ۱۳۹۴).

- پتاسیم

ذرت از جمله گیاهان پتاسیم دوست است. تغذیه کافی و مناسب با این عنصر باعث افزایش کیفیت و کمیت ذرت می گردد. جذب پتاس زودتر و سریع تر از کود فسفره شروع می شود. یعنی از زمان جوانه زدن گیاه، پتاس توسط گیاه جذب شده و تا حدود سه هفته بعد از گل دادن جذب پتاس ادامه خواهد یافت. مصرف پتاسیم نیز بر اساس آزمون خاک تعیین می گردد (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

- کودهای کم مصرف

بر اساس آزمون خاک و سابقه کمبود این عناصر در مزرعه مصرف می گردد. در این بین مصرف روی و آهن به دلیل خصوصیات خاک های تحت کشت ذرت در کشور از اولویت ویژه ای برخوردار است (خواجه پور، ۱۳۹۳).

۲-۵-۵- کنترل علف های هرز

امروزه به منظور مبارزه با علف های هرز از روش مبارزه تلفیقی (مکانیکی - شیمیایی) استفاده می شود. در این روش علف های هرز بین ردیف ها، توسط کولتیواتورهای مرسوم کنترل می شوند و برای علف های هرز روی - ردیف (پشته) به صورت شیمیایی مبارزه می شود (خدابنده، ۱۳۹۲).

۲-۵-۶- برداشت برای دانه

تشکیل لایه سیاه در محل اتصال دانه به چوب بلال نشانه رسیدن فیزیولوژیکی ذرت می باشد که پس از آن آب گیاه قطع می گردد. دانه ذرت با کمباین با استفاده از هد مخصوص ذرت زمانی که رطوبت دانه به میزان قابل قبول کاهش پیدا کرد ۲۰-۲۳ درصد، برداشت می گردد (صادقی، ۱۳۹۴).

- برداشت برای علوفه

بهترین زمان برای چا پر زدن و برداشت ذرت علوفه ای، قبل از سفت شدن کامل دانه و زمانی است که دانه ذرت در اواخر مرحله شیری و اوایل مرحله خمیری است. در این مرحله ماده خشک گیاه حدود ۳۰-۳۵ درصد است (یعنی حدود ۶۵-۷۰ درصد آب دارد) که تاثیر خوبی بر کیفیت علوفه و نهایتاً کیفیت سیلو خواهد داشت (میرهادی، ۱۳۸۹).

ماشین‌های مختلفی در برداشت ذرت علوفه ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این ماشین‌ها می‌توان به چابر با ردیف‌های مختلف برداشت و همچنین ماشین‌های برداشتی که در هنگام برداشت ساقه ذرت را له کرده و نیز علوفه را به ذرات ریزتر از حد معمول تبدیل می‌کنند، اشاره نمود موارد مذکور شرایط مناسب‌تری را برای تخمیر علوفه سیل و شده فراهم می‌کند، تحقیقات نشان داده است که تغذیه دام با این علوفه، موجب افزایش کارایی آن می‌شود (خدابنده، ۱۳۹۲).

۲-۶- خشکی

در بروز و ادامه یک شرایط جوی خشک، فرآیند خشکی حادث می‌شود. مهمترین عامل محدود کننده تولید موفقیت آمیز محصولات زراعی در سراسر جهان کمبود آب و خشکی می‌باشد، بر اساس نظر محققان خشکی هنگامی ایجاد می‌شود که ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی باعث تنش در داخل گیاه شده و در نتیجه تولید را کاهش دهند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). این کاهش در نتیجه تاخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف یا از بین رفتن گیاهان استقرار یافته، مستعد شدن گیاه نسبت به حمله بیماری‌ها و آفات گیاهی و تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان به وجود می‌آید (گالشی، ۱۳۹۴).

در کشور در حدود ۲۵۰ میلی متر متوسط بارندگی می‌باشد، که بر اساس آمارهای هواشناسی این میزان یک سوم میانگین بارندگی در دنیا می‌باشد. از طرف دیگر از حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار اراضی کشاورزی، ۶/۲ میلیون هکتار (۳۳/۵ درصد) به کشت دیم اختصاص دارد. در حدود ۱/۲ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت دیم بارندگی بیش از ۴۰۰ میلی متر دریافت می‌نمایند.

خشکی همچنین یک عامل کاهش دهنده عملکرد می باشد که این حالت حتی در مواردی که صدمه وارده، مشهود نباشد، صادق است. ایران در کمربند بیابانی جهان قرار دارد و به عنوان منطقه ای خشک و نیمه خشک منظور می شود. (گالشی، ۱۳۹۴). خشکی از ویژگیهای بارز جغرافیایی کشور ایران است و با توجه به اینکه از این پدیده طبیعی و غیر قابل تغییر راه فراری نیست و از طرفی مصرف منابع انرژی، آب و مواد غذایی به طور روزافزونی در جامعه افزایش می یابد، لذا بایستی به چاره اندیشی در رابطه با تقلیل اثرات مخرب تنش خشکی بپردازیم (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۷- اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین آزاد

در پاسخ به خشکی تجمع مواد محلول در سلول (تنظیم اسمزی) راهی برای حفظ فشار اسمزی است. پژوهشگران بیان کرده اند تجمع پرولین آزاد عکس العملی معمول به تنش های محیطی در گیاهان عالی است. مقدار چند عدد از اسید آمینه های دیگر نیز در شرایط تنش های شوری و خشکی بالا می رود، ولی میزان تجمع این اسید آمینه ها با افزایش میزان پرولین طی تنش های محیطی قابل مقایسه نیست، زیرا میزان پرولین در سلول تنها بعد از مدتی از وقوع تنش در سلول بسیار افزایش پیدا می کند (هیر و کریس، ۱۹۹۷). اسید آمینه پرولین در گیاهچه های گیاه نخود فرنگی در شرایط تنش، به میزان پنج تا پنجاه برابر نسبت به حالت شاهد بالا رفت. محققان بیان کرده اند با توجه به نتایج آزمایشات گذشته، به طور کلی به نظر می رسد گیاهان در زمان مواجهه با تنش خشکی با تغییراتی که در بعضی از واکنش های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی خود ایجاد می کنند، به تنش های محیطی واکنش می دهند، که یکی از مهمترین این واکنش ها در گیاهان تحت تنش افزایش میزان پرولین در سلول می باشد، که نتایج سایر محققان نیز بیان کننده این امر است که افزایش پرولین در تقلیل اثرات تنش خشکی در گیاهان موثر می باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

همچنین بیان شده است علاوه بر نقش متعادل ساز برای پتانسل اسمزی توسط پرولین، پرولین می-تواند در چرخش NADPH در فرایند فتوسنتز نیز دخالت داشته باشد (پالژ و اسپینال، ۱۹۸۱). جلوگیری از فتوسنتز در شرایط تنش خشکی باعث بالا رفتن نسبت $NADPH^+/NADP$ می شود. ساخت و ساز پرولین از گلوتمات نیاز به اکسیداسیون ۲ مولکول NADPH به $NADP^+$ دارد، که شاید اثر مخرب احیای $NADP^+$ ناشی از تنش خشکی را جبران کند (ون رنزیبورگ همکاران، ۱۹۹۳). در حال حاضر تردیدی وجود ندارد که تحت تنش، پرولین اثر های بیولوژیک بسیاری را بروز می دهد که در نقش های تنظیم اسمزی و حمایتی آشکاری می شود. همچنین پرولین یک آنتی اکسیدان است، عاملی در انتقال انرژی است و قابلیت های دیگری را بروز می دهد که برای پایداری سلول و انتقال از یک حالت به حالت سازگار جدید لازم است (یامادا و همکاران، ۲۰۰۵). تجمع پرولین در تمام اندام های گیاه طی تنش وجود دارد، با این وجود میزان تجمع آن در برگ ها سریع تر و بیشتر از سایر اندام ها می باشد. پرولین، اسید آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم است و احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرو مولکول ها و هیدروکسی پرولین در سنتز دیواره سلول نقش دارد (نیتلر، ۲۰۰۶). برای تجمع پرولین در گیاه در هنگام تنش خشکی دلایل مختلفی ارائه شده است. برخی آن را به علت اثر تنظیمی ABA در فرایند های نوری در متابولیسم پرولین و برخی آن را به وجود ترکیبات پرانرژی حاصل از فتوسنتز نسبت می دهند که سبب تحریک سنتز پرولین می شود (هنگ و همکاران، ۲۰۰۰). گزارشاتی وجود دارد که تجمع پرولین در اثر تنش را بررسی کرده اند که به شدت نور و ذخیره کربوهیدرات در گیاهان بستگی دارد (دولونه و ورما، ۱۹۹۳). جویس و همکاران (۱۹۸۴) نشان دادند که فتوسنتز شاید تنها عامل مسول برای افزایش تجمع پرولین نباشد.

محققان بیان کرده‌اند پرولین علاوه بر این که به عنوان یک اسمولیت شناخته شده است، پرولین می‌تواند به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر مولکول‌های درشت اثر کند و از این به نگهداری و تشکیل طبیعی آنها تحت شرایط تنش کمک کند همچنین علاوه بر اثر پایدار کننده مستقیم روی مولکول‌های درشت و لایه هیدراکسیون آنها، پرولین علت خواص اکسیدانت آن، یک عمل محافظتی غیر مستقیم عمل می‌کند. این عقیده که پرولین یا مواد حد واسط حاصل از تخریب پرولین می‌تواند خاصیت ژن‌های گیاه را تنظیم کند، به وسیله یک گروه تحقیق دیگر تایید شده (رامانجولو و سودهاکار، ۲۰۰۰). پرولین همچنین به عنوان یک منبع ذخیره نیتروژن که در شرایط تنش ذخیره شده و در مرحله بازیابی از تنش به راحتی مورد مصرف قرار می‌گیرد، به عنوان جزوی از سیستم نگهداری حالت PH و تنظیم کننده پتانسیل اکسایش-کاهش سلول دیده شده است. پرولین همچنین به عنوان منبعی از انرژی و قابل دسترسی و احیا کننده اکی‌والان‌ها اهمیت دارد. برای مثال نشان داده است که پرولین پیش ماده عمده ای جهت تولید انرژی در ماهیچه بال حشرات می‌باشد. در گیاهان عالی پرولین اکسیداز، آنزیمی که سرعت تخریب پرولین را محدود می‌کند، با غشای داخلی میتوکندری همبستگی دارد و مستقیماً با زنجیره انتقال الکترون، تنفس و تولید انرژی پیوستگی دارد. در اندام‌های زاینده گیاه پرولین آزاد تحت تاثیر سوخت ساز (کاتابولیسم) می‌تواند انرژی سلول را تامین کند و یا به عنوان منبعی از نیتروژن و کربن در آید (ایبارا-تابالرو و همکاران، ۱۹۹۸).

تنش خشکی از دو طریق افزایش بیان آنزیم‌های سنتز کننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب پرولین، باعث افزایش میزان پرولین در گیاه می‌شود (ورلز، ۲۰۱۳).

۸-۲- اثر تنش خشکی بر قند های محلول

محققان گزارش کرده‌اند طی تنش خشکی، قند های محلول می توانند به دو روش باعث کاهش اثرات تنش خشکی شوند، که تفکیک این روش‌ها دشوار می‌باشد در هر صورت قندهای محلول به عنوان اسمولیت باعث حفاظت اسموزی از غشا ها می‌شود (ایرگوین و همکاران، ۱۹۹۲).

به عنوان عامل اسمزی، افزایش قند تحریک شده توسط تنش آب، به طور معنی داری با تنظیم اسمزی و حفظ آماس پیوسته است. به عنوان حفظ کننده اسمزی قند ها، پروتئین ها و غشا ها را پایدار می کند، که احتمالاً با جانشین کردن آب با تشکیل پیوند های هیدروژنی با بقایای قطبی پلی پپتید و گروه های فسفو لیپید این کار انجام می گیرد نقش ممکن دیگر تجمع قند محلول تحت تنش آب (بدون ارتباط با سهم اسمزی آن)، تشکیل اسیمیلات های ذخیره ای برای بذر است (چاوز و همکاران، ۲۰۰۹). قند های محلول و پرولین می تواند در تنظیم اسمزی به عنوان محلول سازگار استفاده شوند. تجمع مواد محلول سازگار در مسیر های مختلف بسته به نوع مولکول اندازه گیری شده است. چنان که، برای مثال افزایش در قند های محلول در واکنش به تنش آب می تواند به انتقال کمتر از برگها، مصرف آرامتر به خاطر کاهش رشد و دیگر تغییرات مثل هیدرولیز نشاسته نسبت داده شود (واسکز-تیلو و همکاران، ۱۹۹۰).

موحدی دهنوی (۱۳۷۳) در تحقیق گزارش کرد در گلرنگ وقوع تنش خشکی باعث افزایش معنی دار قندهای محلول نسبت به شرایط شاهد بدون تنش خشکی شد. در گیاهان ماش تحت تنش اسمزی تعدیل کننده‌های اسمزی مثل قند های محلول کل، پرولین و گلایسین بتایین افزایش یافتند. در مطالعه ای که بر زیتون انجام گرفت، مشخص شد که تمام ارقام مورد بررسی افزایش قابل ملاحظه ای در میزان

کربو هیدرات های محلول تحت تنش خشکی نشان داده اند. با افزایش شدت تنش میزان کربو هیدرات های محلول افزایش بیشتری یافت، اما با نزدیک شدن به انتهای دوره آزمایش مقدار کربو هیدرات های محلول در گیاهان تحت تنش کاهش نشان داد که ممکن است علت مصرف کربو هیدرات ها و یا انتقال آن به طرف ریشه باشد (رامانجو و بارتز، ۲۰۰۲). در گندم نیز در نمونه برداری بیست روز پس از گلدهی، کاهش قابل توجهی در مقدار کل کلروفیل در هر دو تیمار تنش خشکی در بیست روز بعد از گلدهی و مرحله خوشه رفتن، مشاهده گردید و نشان داد که غلظت کربو هیدرات های محلول برگ و پرچم در هر دو شرایط شاهد و تنش در بیست روز پس از گلدهی بیشتر از مرحله خوشه رفتن است. تنش خشکی غلظت این ترکیبات را افزایش داد، که ممکن است با نقش این ترکیبات در تنظیم اسمزی مرتبط باشد و یا نشان دهنده محدودیت دانه به عنوان مقصد در پذیرش کربوهیدرات های محلول برگ باشد (کرپسی و گالبا، ۲۰۰۰). همپنین برای لوبیای چشم بلبلی، (گارگ و همکاران، ۲۰۰۱) اشاره کرده اند که تجمع قند های محلول نتیجه برخی تخریب های متابولیکیست که بر ساخت قند در برگ و انتقال آن موثر است. سانچز و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که تنش آب تجمع قند های محلول را در اپی کوتیل های نخود فرنگی بین ۲/۸ تا ۵/۱ برابر القا کرد.

۲-۹- تنش خشکی و کلروفیل

در گزارش ها متعددی بیان شده است عوامل تنش زا بر مقدار کلروفیل و سبزینگی برگ در شرایط تنش اثر منفی دارند. محققان رنگیزه های فتوسنتزی برگ را یکی از مهمترین شاخص های نشان دهنده اثرات مخرب تنش های محیطی وارد بر گیاه دانستند و معتقدند کلروفیل در گیاهان تحت تنش کاهش می یابد و باعث تغییر در نسبت جذب نور و در نتیجه کاهش کل جذب نور توسط گیاه می شود (لی و

همکاران، ۲۰۰۶). بنا بر گزارش (الکسیا و همکاران، ۲۰۰۱) خود داری کردن از یک آبیاری در هر مرحله رشدی، محتوای کلروفیل $a+b$ و کارتنوید ها را در برگ های نخود کاهش داد.

۲-۱۰- تنش خشکی و شاخص های فیزیولوژیک

با بررسی برخی تغییرات شاخص های رشد پنج هیبرید ذرت در رژیم مختلف آبیاری صابر علی و همکاران (۲۰۰۷) اظهار داشتند که خشکی اثر معنی داری بر شاخص سطح برگ دارد. آنها همچنین بیان کردند که همبستگی مثبت معنی داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک وجود دارد. مقدار شاخص سطح برگ ذرت در مرحله ابریشم دهی به حداکثر میزان خود می رسد و پس از آن به دلیل ریزش برگ ها روند نزولی پیدا می کند (صابر علی و همکاران، ۲۰۰۷). تنش خشکی باعث کاهش درصدی محتوای نسبی آب برگ و بسته شدن روزنه ها و در نتیجه سبب پایین آمدن جذب دی اکسید کربن و کاهش عملکرد می شود. با کاهش پتانسل آب برگ از میزان سرعت رشد محصول کاسته می شود و دلیل آن می تواند افزایش سرعت تنفس همراه با افزایش دمای گیاه و کاهش شدت فتوسنتز باشد (مودب شبستری و مجتهدی، ۱۳۶۹). کراف و وان لار (۱۹۹۳) بیان نمودند که گیاهان از نظر مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در پاسخ به محیط اطراف خود بسیار انعطاف پذیر هستند و این مسئله منجر به بروز پاسخ های متفاوتی از سوی گیاهان خواهد شد. سرعت رشد محصول (CGR) که میزان تغییرات ماده خشک در واحد سطح و زمان را بیان می نماید به عنوان یکی از شاخص های رشد به طور قابل توجهی تحت تاثیر تنش خشکی قرار می گیرد. از آنجا که سطح برگ عامل مهمی در جذب کربن می باشد در شرایط تنش خشکی، به دلیل تغییر در سطح برگ، سرعت رشد محصول نیز دچار تغییر می شود. به اعتقاد بسیاری از محققان مرحله طویل شدن ساقه و توسعه برگ ها حساس ترین مراحل رشد گیاه نسبت به تنش کمبود آب هستند (میشیلن و بویر، ۱۹۸۲). سوکومار و شاو (۱۹۷۸) از تحقیقات خود

نتیجه گرفتند که با افزایش شدت تنش خشکی، میزان دما و سرعت تنفس گیاه افزایش یافته و سطح برگ کاهش می یابد و این واکنش در نهایت، موجب کاهش سرعت رشد محصول خواهد شد. نتایج نشان داده است که میزان جذب و تحلیل خاص مواد پرورده (NAR) که بیانگر تغییرات وزن خشک گیاه در واحد سطح برگ و در واحد زمان است، در اثر تنش خشکی کاهش می یابد. محققان علت این کاهش را بسته شدن روزنه ها در اثر تنش خشکی و کاهش فتوسنتز نسبت به واحد سطح برگ دانسته اند (سودیر و همکاران، ۱۹۹۷). سرعت رشد نسبی (RGR) نیز یکی از شاخص های رشد می باشد که روند تغییرات آن در طول دوره رشد گیاه کاهشی است (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۰). نتایج تحقیقات نشان دادند که تنش خشکی از طریق سرعت بخشیدن به تشکیل بافت های تمایز یافته و یا کاهش بافت های مرستمی، باعث افزایش سرعت کاهش این مولفه می شود (ساکی نژاد، ۱۳۸۲).

۲-۱۱- راهکارهای کاهش اثر مخرب تنش خشکی

تنش خشکی در گیاهان زراعی مرسوم ترین نوع تنش گیاهی می باشد (گالشی، ۱۳۹۴). گیاهان در مسیر تکاملی خود، راهکارهایی را جهت کاهش اثرات نامطلوب با توجه به نوع تنش، کسب کرده اند. یکی از واکنش های معمول در سلول های گیاهی که در نتیجه افزایش تجمع محلول های آلی در سیتوپلاسم روی می دهد، تنظیم اسمزی است (کاهش مواد پتانسیل اسمزی در اثر تجمع مواد محلول)، که به منظور موازنه تعدیل اسمزی واکوئلی در سیتوپلاسم و تعادل اسمزی بین سیتوپلاسم و اجزای مختلف سلول انجام می گیرد و سلول را در فرآیند افزایش توسعه خود کمک می کند (گالشی و همکاران، ۱۳۸۸؛ ما و همکاران، ۲۰۰۷).

از طریق تولید انواع مختلفی از محلول‌های آلی سازگار و برخی یون‌های غیر آلی تنظیم اسمزی در گیاهان صورت می‌گیرد، محلول‌های سازگار با وزن مولکولی پایین و در غلظت‌های بالای سلولی غیررسمی هستند. به طور کلی، این مواد گیاهان را از تنش‌ها طی دوره‌های مختلف با شرکت در تعادل اسمزی حفظ کرده و موجب حفظ سیالیت غشا و ثبات پروتئین‌ها یا آنزیم‌ها می‌شوند (گالشی؛ ۱۳۹۴؛ مونس، ۲۰۱۲). به عقیده هیور (۲۰۱۴) نقش عمده اسمولیت‌ها، عایق کردن سلول‌های گیاهی از صدمات ناشی از تنش توسط تعدیل اسمزی، تثبیت ساختار پروتئین‌های کلیدی همانند روبیسکو و حفظ دستگاه فتوسنتزی می‌باشد. بنابراین به علت اینکه برخی از این ترکیبات اجزای سلولی را از صدمه پسابیدگی (از دست دادن آب) حفظ می‌کنند، به آنها تنظیم‌کننده‌های اسمزی می‌گویند (گالشی و همکاران، ۱۳۸۸). ترکیبات و عناصر بسیار زیادی وجود دارند که در هنگام تنش و یا در شرایط طبیعی باعث بهبود کارکرد گیاه شده و در نهایت عملکرد را افزایش می‌دهند. یک دسته از مواد آلی سازگار و رایج بتائین‌ها می‌باشند که معمول‌ترین و فراوان‌ترین آن‌ها در گیاهان گلیسین بتائین است. گلیسین بتائین در بسیاری از گونه‌های گیاهی به میزان بالا در پاسخ به انواع تنش‌های محیطی سنتز می‌شود. به‌طور خاص بیشتر هالوفیت‌ها زمانی که در معرض تنش قرار می‌گیرند، گلیسین بتائین را به عنوان یک تعدیل‌کننده اسمزی در سلول‌های خود افزایش می‌دهند (ماکلا و همکاران، ۲۰۱۶). گلیسین بتائین همچنین در بسیاری دیگر از گیاهان زراعی از جمله اسفناج، جو، گندم و سورگوم در واکنش به تنش‌ها افزایش می‌یابد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

گیاهان گلیسین بتائین را به میزان کافی برای دفع اثرات سوء تنش‌های غیرزنده تولید نمی‌کنند با توجه به این امر رهیافتی که برای افزایش غلظت این ترکیب در گیاهان برای افزایش تحمل به تنش در نظر گرفته شده است، کاربرد خارجی این تعدیل‌کننده‌ها در گیاهان تحت تنش به منظور افزایش تحمل آنها می‌باشد. کاربرد خارجی محلول‌های سازگار از قبیل گلیسین بتائین به گیاهان، قبل، همزمان و بعد از

حضور تنش، با افزایش سطوح درونی این ترکیبات، به‌طور کلی موجب افزایش در رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط تنش شده است (اشرف و فولاد، ۲۰۱۷). در بسیاری از موارد اثرات مثبت کاربرد خارجی گلايسين بتائين روی رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت تنش گزارش شده است (اشرف و فولاد، ۲۰۱۷).

سدیم نیتروپروساید یکی دیگر از موادی است که به منظور کاهش اثرات تنش در گیاهان مورد آزمایش قرار گرفته است. فرآیندهای مرتبط با رشد و نمو را سدیم نیتروپروساید می‌تواند تنظیم کند (لشم و همکاران، ۲۰۱۷). توسط مسیرهای آنزیمی و غیر آنزیمی نیتریک اکسید در گیاهان تولید می‌شود و تولید فزاینده آن در اندام‌های گوناگون گیاه در شرایط تنش، دیده شده است (ویزورک و همکاران، ۲۰۰۶). در کاربرد خارجی نیتریک اکسید در گیاهان در بسیاری از مطالعات گزارش شده است که باعث کاهش خسارات ناشی از برخی تنش‌ها مانند فلزات سنگین، علفکش‌ها، سرما، اشعه ماوراء بنفش و تنش شوری شده است (آراسمیویز و ویزورسک، ۲۰۰۷).

علاوه بر گلايسين بتائين و سدیم نیتروپروساید ترکیبات دیگری مانند سالیسیلیک اسید، اسید هیومیک و ... نیز می‌توانند باعث افزایش در کارکرد گیاهان در شرایط تنش و شرایط طبیعی شوند. علاوه بر این ترکیبات پژوهشگران بیان کرده‌اند عناصری همانند کلسیم نیز نقش به‌سزایی در بهبود کارکرد گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی و شرایط طبیعی دارند، کلسیم نقش اساسی در تکمیل ساختمان غشا سلولی، پایداری دیواره سلولی، تنظیم انتقال یون و جذب انتخابی غشا دارد (گرگی و همکاران، ۲۰۱۰). یون کلسیم اثرات قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان داشته و فاکتورهای مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش شوری را بهبود می‌بخشد، تنش‌های محیطی به علل متعددی از جمله سمیت یونی، برهم زدن روابط تغذیه‌ای گیاه و ... بر روی شاخص‌های رشد گیاهان تاثیر

منفی می گذارند. یکی از اثرات منفی تنش‌های محیطی بر روی گیاهان، بر هم زدن تعادل عناصر غذایی مهمی از جمله پتاسیم، آهن و کلسیم بوده که غلظت این عناصر تحت تأثیر میزان سدیم و کلسیم خارج سلولی می‌باشد. یون‌های کلسیم و سدیم دارای اثرات رقابتی بوده و تنظیم مناسب این دو عنصر بر غلظت عناصر مذکور تاثیر بسزایی دارد (رنولت، ۲۰۰۵). آزمایش‌ها نشان داده اضافه کردن کلسیم به محیط، سبب کم کردن خسارت تنش شوری می شود (میرزایی و همکاران، ۲۰۱۲؛ سروش زاده و امین پناه، ۲۰۰۵).

۲-۱۲- اثرات کلسیم بر گیاهان تحت تنش‌های محیطی

تأمین مقدار کافی کلسیم در شرایط تنش‌های محیطی مخصوصاً شوری و خشکی عامل مهمی در کنترل شدت سمیت یون‌هایی نظیر سدیم و کلر در گیاهان حساس می باشد. وجود مقدار کافی کلسیم در محیط باعث تکامل غشای سلولی گیاه و حفظ ویژگی های انتخاب پذیری آن شده و سمیت کلر و سدیم را در گیاهان کاهش می دهد (گرگی و همکاران، ۲۰۱۰). تأثیر کلسیم در کاهش اثرات زیان آور شوری حاصل از سدیم، بستگی به نوع گیاه، غلظت کلسیم و منبع سدیم دارد (خوش گفتارمنش، ۲۰۱۰). کلسیم از انتقال سدیم به اندام‌های هوایی جلوگیری کرده و از این راه تأثیر منفی شوری را کم می‌کند، مقدار کافی این عنصر تحت تنش شوری می‌تواند مقدار برداشت سدیم را کاهش دهد و با کاهش نسبت سدیم به پتاسیم شرایط رشد را برای گیاه مناسب تر سازد.

برای مکان های اتصال کلسیم در غشا ممکن است یون های سدیم رقابت کنند، بنابراین میزان بالای کلسیم می تواند غشاء سلول را از اثرات نامطلوب شوری حفظ نماید (مظفری و کلانتری، ۲۰۰۵). جذب انتخابی یون هایی مانند پتاسیم، آهن و روی در ریشه گیاه تحت شوری مورد بررسی قرار گرفته است و

نتایج نشان می‌دهد که در صورت وجود میزان مناسبی از کلسیم در محیط رشد ریشه جذب انتخابی ریشه بهبود یافته و در نتیجه عناصر مفیدی مانند پتاسیم بهتر جذب ریشه گیاه می‌شود (مختاری و همکاران، ۲۰۰۸).

اثر کلسیم به زمان نیز بستگی دارد، تنش‌های محیطی کمبود کلسیم در گیاه ایجاد می‌کنند و اعمال کلسیم اثر تنش‌های محیطی را بهبود می‌بخشد. در بررسی‌های انجام شده، مشخص شده که افزایش کلسیم به محیط کشت همبستگی ضعیفی با تنظیم کننده های رشد گیاهی را نشان می‌دهد و پیشنهاد شده که این عامل باید با شرایط اسمزی کنترل شود (فهیمی و بلند، ۱۹۹۶). سروش زاده و امین پناه (۲۰۰۵) مشاهده کردند که آغشته کردن بذرهای برنج با نیترات کلسیم باعث کاهش اثرات شوری می‌گردد. نقش کلسیم تنظیم انتقال یونها به سلول‌های گیاهی، تکامل ساختمان غشای پلاسمایی و کاهش نفوذپذیری غشا نسبت به یون های کلر، سدیم و اصلاح هدایت هیدرولیکی ریشه است (گرگی و همکاران، ۲۰۱۰) اثر بهبوددهنده یون کلسیم ممکن است به علت حفظ انسجام سلولی و اعمال غشای پلاسمایی در ریشه و بخش هوایی باشد (یارنیا و همکاران، ۲۰۰۵).

در چرخه متابولیسم اسیدهای فنلیک نقش کلسیم به وضوح مشخص شده است. از طریق تاثیر بر آنزیم های فنیل آلانین آمونیالیز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز کلسیم نقش خود را ایفا می‌کند، در سنتز و اکسیداسیون فنل ها این آنزیم ها نقش دارند (رویز و همکاران، ۲۰۰۳) اولین کار که نقش مستقیم کلسیم را در سنتز ترکیبات فنلی نشان داده توسط کاستاندا و پرز ۱۹۹۶ انجام شده است. آن ها دریافتند که روی برگ درخت لیمو محلول پاشی کلرید کلسیم موجب افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیز شده است (کاستاندا و پرز، ۱۹۹۶). یک آنزیم کلیدی فنیل آلانین آمونیالیز است که نقش موثری در تغییر مسیر کربن از متابولیسم اولیه به سمت تولید ترکیبات فنلی دارد (هاپکیز، ۱۹۹۹)، البته،

بحث هایی در مورد اثرات متفاوت کلسیم بر آنزیم های سنتزکننده و اکسیدکننده فنل ها وجود دارد (کاستاندا و پرز ۱۹۹۶).

اثر قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان یون کلسیم داشته و پارامترهای مورفولوژیک بیوشیمیایی گیاهانی که تحت تنش های محیطی قرار گرفته اند را بهبود می بخشد. گیاهان از کلسیم به میزان متفاوتی برای کاهش خسارت تنش های محیطی استفاده می کنند که به آن کارایی کاربرد کلسیم گفته می شود. در شرایط تنش های محیطی گیاهانی که میزان بیشتری از وزن خشک از دست رفته خود را توسط کلسیم جبران کنند، کارایی بالاتری دارند (مونس و اسچاچمال، ۱۹۹۳).

به طور کلی، گزارش های متعددی مبنی بر تأثیر سودمند کلسیم در تخفیف اثرهای سوء تنش های محیطی آورده شده است که در بیشتر آنها این اثرها به حفظ عمل غشاء پلاسمایی، نگهداری سلامت و انسجام در ریشه و ساقه مرتبط شده است (تونا و همکاران، ۲۰۰۷؛ کایا و همکاران، ۲۰۰۲؛ ندجیمی و دواد، ۲۰۰۹). نقش کلسیم در افزایش فعالیت ضد اکسایشی و سنتز ترکیب های فنولی و حذف گونه های فعال اکسیژن و رادیکال آزاد نیز اثبات شده است (کانمجن و اوموکلو، ۲۰۰۳).

گراتان و گریو (۱۹۹۴) گزارش کردند با افزایش میزان کلسیم در سلول های گیاهان، از این گیاهان در برابر اثرات سمی کلرید سدیم محافظت شده و باعث کاهش اثرات مخرب تنش شوری می شود. گریجا و همکاران (۲۰۰۲) اشاره کردند که کلسیم به عنوان پیک ثانویه در محیط درون سلول، عمل کرده و با تأثیرگذاری بر روی پایداری و فعالیت آنزیم ها، شرایط تنش را تعدیل می کند. دست یابی به یک غلظت بهینه از یون کلسیم برای بالا بردن مقاومت گیاه دارای اهمیت است. کلسیم یکی از عناصری است که دارای اثرات حفاظتی بر روی ریشه گیاهان بوده و باعث بقای گیاهان در شرایط تنش های محیطی می

شود. مختاری و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند یکی از راهبرد های مناسب برای غلبه بر تنش های محیطی گیاهان گوجه فرنگی، بهره گیری از محافظت کننده های اسمزی اصلی از جمله پرولین و قندهای محلول، مقاومت به شوری را بالا برده و این ترکیبات در تعادل با یکدیگر نقش مهمی را در سازگاری گیاه با تنش شوری دارند. استفاده از نمک های کلسیم با اصلاح شرایط تغذیه ای (کاهش میزان سدیم و افزایش مقدار پتاسیم) و رشد گیاه، نیاز به مشارکت سایر سازوکارهای حفاظتی رایج در سلول، مانند سنتز اسمولیت ها را کاهش می دهد.

بالا بودن غلظت کلسیم در ناحیه ریشه باعث بهبود پایداری غشای سلول و کارکرد بهتر سلول شده و در نتیجه گیاه را نسبت به تنش گرما متحمل می نماید (تافیک و همکاران، ۱۹۹۶). کلسیم باعث تنظیم فرآیند غده زایی در سیب زمینی می شود (جکسون، ۱۹۹۹). کلسیم احتمالا در پیام های هورمونی غده زایی در سیب زمینی نقش داشته، باعث تحریک و تسریع غده زایی و حجیم شدن غده های اولیه می شود (پالتا و کلینهنز، ۲۰۰۳). ثابت شده که کلسیم باعث افزایش تحمل گیاه به تنش گرما می شود. مصرف کلسیم به شکل کلرید کلسیم قبل از وقوع تنش گرما باعث افزایش تولید مواد ممانعت کننده از پراکسیداسیون لیپیدها می شود (کافی و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج آزمایش آناتومیکی برگ بوته های سیب زمینی رشد یافته در شرایط تنش گرما نشان داد که افزایش حجم سلولها دچار اختلال شده و با افزوده شدن کلسیم به محیط ریشه، این اختلال مرتفع شد (کلینز و پالتا، ۲۰۰۲). کومارو همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مصرف خاکی نیترات کلسیم در شرایط تنش گرما باعث افزایش عملکرد غده قابل فروش سیب زمینی شد.

راوال و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که مصرف کلسیم به صورت گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) باعث کاهش میزان خسارت تنش گرما از ۳۰ درصد در تیمار شاهد به ۱۶/۴ درصد در گیاه سیب زمینی شد.

نتایج آزمایش کومار و مینهاس (۲۰۰۱) نشان داد که محلولپاشی نیترات کلسیم باعث تعدیل اثر سوء تنش گرما بر رشد و عملکرد ارقام سیب زمینی شده و عکس العمل ارقام به محلولپاشی کلسیم متفاوت بود. توفیق و همکاران (۱۹۶۶) در ارزیابی اثر مصرف کلسیم و نیتروژن بر سیب زمینی در شرایط تنش گرما و اوزگن و پالتا (۲۰۰۴) در ارزیابی اثر مصرف کلسیم بر کاهش اثر تنش گرما بر سیب زمینی نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. کومار و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کلسیم در هکتار از منبع گچ (در دو مرحله) هنگام کاشت و ۲۰ تا ۲۵ روز بعد از کاشت در مرحله خاکدهی پای بوته‌ها ضمن تعدیل اثرات تنش گرما، باعث افزایش عملکرد غده قابل فروش (۱۲ درصد) و کیفیت انباری غده‌ها در دو رقم سیب‌زمینی شد. خنثی سازی و غیرمحللول کردن رادیکال‌های اسیدی و تنظیم نفوذپذیری سلول از جمله نقش‌های الکتروشیمیایی این عنصر می‌باشد. برعکس یون سدیم، یون‌های کلسیم نفوذ پذیری سلول را کاهش می‌دهد. علاوه بر این نقش مهمی در انتقال یون‌ها در عرض غشای سلولی و جابجایی آن در بافت‌ها دارد (وحید و همکاران، ۱۹۹۷).

دریکوند و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی تاثیر سیلیکات پتاسیم، کلسیم کلرید و نانو سیلیس بر پاسخ صفات مورفولوژیک ذرت شیرین به رژیم های آبیاری گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش طول بلال، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ شد، همچنین محلولپاشی بر طول بلال، ارتفاع بوته تاثیر نداشت ولی در شرایط تنش خشکی بیشترین شاخص سطح برگ، از تیمار محلولپاشی سیلیکات پتاسیم حاصل گردید.

طی آزمایشی حسینی و کر میان (۱۳۸۴) نیز تاثیر افزایش گچ به خاک را بر غلظت برخی عناصر غذایی بررسی کردند و گزارش نمودند که افزایش مقدار گچ به خاک، باعث بهبود عملکرد دانه ذرت شد که ایشان دلیل این امر را بهبود جذب عناصر غذایی بیان کردند. اسپراگ (۲۰۰۲) گزارش داد که افزودن

گچ به خاک، غلظت مس اندام هوایی ذرت را به طور معنی داری کاهش داد. وی بیان کرد در خاک‌هایی با مقدار گچ زیاد، باید به تغذیه گیاه از نظر عناصر ریز مغذی توجه شود. ولش و همکاران (۱۹۹۱) با استفاده از روش‌های مختلف مصرف سولفات مس در ارقام مختلف ذرت در یک خاک آهکی، نتیجه گرفتند که مصرف سولفات مس، نه تنها عملکرد گیاه را به میزان قابل توجهی افزایش داد، بلکه غلظت این عنصر در دانه ذرت هم فزونی یافت. چنین نتایجی توسط دیگر پژوهشگران نیز بیان شده است (مادرس، ۲۰۱۰).

مطالعات کاکور و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که در پروتوپلاست ریشه ذرت و ریشه‌های موبین تحت تنش شوری کلسیم با سدیم موجود در غشای پلاسمایی جایگزین شد، که این امر باعث افزایش وزن خشک گیاه در شرایط تنش شوری شد، به‌طور کلی گزارشات متعددی مبنی بر اثرات سودمند کلسیم در تخفیف اثرات سوء شوری ارائه شده است که در اکثر آنها این اثرات به حفظ عمل غشاء پلاسمایی و نگهداری، سلامت و انسجام در ریشه و ساقه مرتبط دانسته شده است (لاچلی، ۲۰۱۰).

شیبانی (۱۳۹۳) در تحقیق روی تاثیر کربنات کلسیم و سطوح مختلف آبیاری بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ذرت سینگل کراس ۷۰۴ بیان کردند کاربرد کربنات کلسیم باعث افزایش در اجزای عملکرد ذرت (تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه) ذرت در شرایط طبیعی و در شرایط تنش خشکی شد، همچنین کاربرد کربنات کلسیم باعث افزایش در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار-های مختلف بین ۱۵ تا ۳۶ درصد شد.

غیرمحلول‌سازی اسید پکتیک جهت تشکیل غشاهای پکتوسلولوزی نقش ساختمانی کلسیم را نشان می‌دهد. نقش‌های کاتالیکی کلسیم فعال کردن برخی آنزیم‌ها و واکنش با هورمون‌های گیاهی می‌باشد (سگوویا، ۱۹۸۹). همچنین کلسیم با رسوب دادن برخی از ترکیبات از سمیت ناشی از غلظت زیاد آنها در

گیاه می‌کاهد. نمونه‌ای از عمل سمیت زدایی کلسیم تشکیل اگزالات کلسیم می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۹۳). در محیط شور افزایش غلظت کلسیم، تولید کل، محتوای رطوبت، نسبت اندامهای هوایی به ریشه و محتوای پتاسیم گیاه گندم را افزایش و محتوای سدیم را کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان اثرات نامطلوب شوری را بر رشد گیاه با افزایش کلسیم تحت شرایط تنش تقلیل داد (هاوکینز و همکاران، ۱۹۹۳). وحید و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که جذب عنصر کلسیم در گیاهان مختلف به‌ویژه نیشکر تحت اثر شوری قرار می‌گیرد و پیشنهاد کردند که از مقدار این عنصر در گیاهان تحت تنش شوری به‌عنوان شاخصی برای تحمل به شوری می‌توان استفاده کرد.

در رابطه با پاسخ بادام زمینی به کربنات کلسیم لیو و همکاران (۲۰۰۵) در طی پژوهش نشان دادند که در مقایسه با هیومیک اسید کربنات کلسیم منجر به انشعاب دهی بیش تری در بادام زمینی شد. همچنین افزایش سطح و تعداد برگ، وزن خشک و پروتئین این گیاه در سطوح پایین کربنات کلسیم افزایش یافت. در آزمایش دیگری با بررسی اثر کود کامل بر گره زایی ریشه‌ها در گیاه ماش مشخص شد که کاربرد کود کامل، راندمان تثبیت نیتروژن را از طریق کاهش تولید گره و فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز کاهش داد (نورسو، ۲۰۱۴).

نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده که کاربرد کلسیم اثر نامطلوب تنش‌های غیر زیستی از جمله شوری (کایا و همکاران، ۲۰۰۲) خشکی (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۶) گرما (جیانگ و هانگ، ۲۰۰۱) و کادمیوم (سوزوکی، ۲۰۰۵) را در گیاهان کاهش می‌دهد. اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش‌های غیر زیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی اکسیدانی، انباشت اسمولیت‌ها، بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و تعادل تغذیه‌ای نسبت داده شده است. در آزمایشی کاربرد کلسیم از طریق افزایش جذب پتاسیم و کاهش جذب کادمیوم موجب بهبود رشد گیاهچه‌ها شد در صورتی که مسمومیت

کادمیوم موجب کاهش رشد گیاهچه‌های ذرت شد (کورتیکا و همکاران، ۲۰۰۸). در تحقیق دیگری، کادمیوم ارتفاع بوته، زیست توده، محتوی کلروفیل و پروتئین شبدر سفید را کاهش و تولید رادیکالهای آزاد و پراکسیداسیون چربی‌ها را افزایش داد. با این حال، کاربرد خارجی کلسیم با افزایش فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان، تحمل بوته‌ها به تنش کادمیوم را افزایش داد (وانگ و سونگ، ۲۰۰۹).

گزارش شده بهبود تحمل گیاهچه‌های خردل هندی به تنش کادمیوم با کاربرد کلسیم به واسطه کاهش جذب کادمیوم، بهبود جذب عناصر غذایی ضروری، افزایش میزان پرولین و فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان، موجب شد (احمد و همکاران، ۲۰۱۵). محلول پاشی کلسیم در آفتابگردان از طریق بهبود وضعیت آبی گیاه، میزان کلروفیل، قندهای محلول و فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان موجب بهبود رشد و عملکرد تحت تنش آبی شد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۶). با افزایش فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان، رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین و همچنین کاهش جذب کادمیوم و تخریب غشاهای زیستی، کاربرد خارجی کلسیم بوته‌های باقلا را به تنش کادمیوم متحمل نمود (سیدیکویی و همکاران، ۲۰۱۲).

اثر کلسیم بر کاهش اثرات سوء تنش شوری بر گیاهان مختلف مثل پنبه (آموتاوالی و همکاران، ۲۰۱۲) کاسنی (عرشی، ۲۰۱۰)، گندم (دوران و همکاران، ۲۰۱۱) برنج (چاوم و همکاران، ۲۰۱۲) و توت فرنگی (خیاط و همکاران، ۲۰۰۹) گزارش شده است. کلسیم نقش ساختاری مهمی در تولید بافت های گیاهی و تواناسازی آنها برای رشد بهتر دارد. کاتیون کلسیم به دلیل توانایی تشکیل پیوند بین مولکول‌ها، نقش مهمی در حفظ تمامیت و ساختار غشا و دیواره‌ی سلولی دارد. همچنین کلسیم مقاومت بافت‌های گیاهی تحت تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی را افزایش می‌دهد (کادر و لیندبرگ، ۲۰۱۰).

موراتا و همکاران (۲۰۰۸) اثر مثبت پرایمینگ بذر بادام زمینی با نیترات کلسیم بر افزایش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌ها را گزارش کردند. در تحقیقی برکات (۲۰۱۱) گزارش کرد که کاربرد کلسیم در شرایط تنش شوری، رشد گیاه *Vicia faba* L. را بهبود بخشید. به طور کلی کلسیم به وسیله تنظیم همه جانبه متابولیسم، تأثیر منفی تنش NaCl رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد، در مطالعات دیگر نیز به تأثیر بهبود دهنده کلسیم در محیط‌های شور، در رشد گیاهان سویا (ندجیمی و همکاران، ۲۰۱۰) و گندم (زمان و همکاران، ۲۰۰۵) اشاره شده است.

علاوه بر گیاهان زراعی کلسیم در درختان باغی نیز اثرات مثبتی دارد، گزارش شده است یک عنصر غذایی ضروری برای گیاه کلسیم می‌باشد، به عنوان یک کاتیون دوظرفیتی برای فعالیت‌های ساختاری دیواره و غشای سلول، کلسیم یک کاتیون متقابل برای آنیون‌های آلی و غیر آلی درون واکوئل و یک پیام رسان درون سلولی لازم است. نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاه کلسیم ایفا می‌کند. این عنصر با اتصال به فسفولیپیدها، لایه‌های چربی را پایدار کرده و در نهایت موجب یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی می‌شود (لستر و همکاران، ۲۰۱۰).

بررسی منابع نشان می‌دهد که محلولپاشی با غلظت ۰/۵ درصد کلرید کلسیم بر میوه سیب موجب افزایش مواد جامد محلول میوه نسبت به شاهد شد (خلیفا و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین افزایش استحکام، کاهش ترک‌خوردگی و کاهش پوسیدگی میوه هلو نیز با محلولپاشی نیترات کلسیم توسط سایر محققان گزارش شده است (تیلور و برانن، ۲۰۰۸). کلسیم سبب افزایش مواد جامد محلول و افزایش شیرینی و کیفیت تازه‌خوری میوه عنب شد (ماو و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر آن گزارش شده که

درختان عناب محلول پاشی شده با نمک‌های کلسیمی مقدار وزن میوه، پروتئین، ویتامین ث و محتوای کلسیم بیشتری نسبت به شاهد داشتند (الیوسف و میهای، ۲۰۰۷).

برای تقسیم سلولی، تشکیل و استحکام دیواره‌های جدید سلولی، ایفای نقش غشاء و جلوگیری از آسیب آن و عدم تراوش مواد به بیرون از سلول، به تأخیر انداختن پیری و افزایش عمر انبارداری محصولات باغبانی کلسیم ضروری است با پیوستن به مواد پکتیکی سلول، کلسیم نقش قابل توجهی در حفظ دیواره سلولی دارد و بنابراین کاربرد آن قبل و بعد از برداشت محصول باعث افزایش سفتی میوه، کاهش سرعت تنفس و تولید اتیلن و کاهش بروز اختلالات فیزیولوژیکی و پوسیدگی می‌شود (وایت و بردلی، ۲۰۰۳).

در نفوذپذیری، آگیری، حفظ فشار آماس و کارکرد سلول و به‌طور کلی کیفیت میوه، خاصیت انبارداری و بازارپسندی آن کلسیم همراه با پتاسیم نقش اساسی دارد، سفتی ایجاد شده به وسیله کلسیم مربوط به تأثیر آن بر اجزاء دیواره سلولی مانند پکتین است که غشاء و دیواره سلولی را حفظ می‌کند، اما سفتی ایجاد شده توسط پتاسیم مربوط به تغییرات فشار هیدرواستاتیک (تورگر) سلول می‌باشد (لستر و همکاران، ۲۰۱۰) در طول دوره انبارداری، حتی تحت دمای پایین نیز میوه طالبی به نرم شدگی خیلی حساس است و سرعت آن با میزان کلسیم موجود در بافت میوه ارتباط عکس دارد. استحکام بافت‌ها و مقاومت به نرم‌شدگی میوه می‌تواند توسط افزودن کلسیم افزایش یابد. در واقع تشکیل پکتات‌های کلسیم، استحکام تیغه میانی و دیواره‌های سلولی را افزایش می‌دهد و میزان فعالیت آنزیم پلیگالاکتروناز (PG) را که یکی از آنزیمهای تجزیه کننده دیواره سلولی است، کند می‌کند (آگویو و همکاران، ۲۰۰۸).

در آوند آبکش کلسیم غیر متحرک می باشد و کاهش در مقدار آن در مراحل مهمی که گیاهان نیاز بیشتری به آن دارند کمبود آن در بافت‌های جدید مثل برگ‌های جوان و میوه‌ها، موجب کاهش غلظت مواد جامد محلول، شل شدن پوست و کاهش سفتی میوه و افزایش عوارض مخرب تنش دماهای پایین (سرما) می‌شود، برای رفع کمبود کلسیم و کاهش اثرات مخرب ناشی کاهش کلسیم در گیاه محلول- پاشی برگ‌ی کلسیم روش بسیار موثر و پر بازده می‌باشد (روگر، ۲۰۰۶)، در گیاه طالبی استفاده از کلسیم به صورت محلول پاشی باعث افزایش عمر انبارداری می‌شود که دلیل آن افزایش در سفتی میوه می باشد (لسر و گروسک، ۲۰۰۴)، در تحقیقات دیگری نیز گزارش شده است کاربرد کلسیم باعث تحریک رشد رویشی و افزایش در عملکرد میوه در گیاه توت فرنگی (کایا و همکاران، ۲۰۰۲)، گوجه‌فرنگی (لونت و همکاران، ۲۰۰۷) شده است و افزایش کیفیت و عمر انبارداری در هلو (مهاجان و شارما، ۲۰۰۰) و زردآلو (مقبلی و آروین، ۲۰۱۳) با کاربرد کلسیم گزارش شده است.

فصل سوم

مواد و روش

۳-۱- مشخصات محل آزمایش

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر هشت جاده شاهرود- آزادشهر) اجرا شد. شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۶ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک می باشد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه بین ۱۵۰-۱۶۰ میلی متر و بارندگی ها عمدتاً در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد. حداقل و حداکثر دمای منطقه بترتیب ۹/۶- و ۴۰ درجه سانتیگراد است. براساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی در سال زراعی ۹۸-۹۹ مجموعه بارندگی در این منطقه ۱۵۴/۵ میلی متر گزارش شده است.

۳-۲- خصوصیات خاک محل اجرای آزمایش

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر در جدول ۳-۱ نشان داده شده است.

۳-۳- نوع و قالب طرح آزمایشی

آزمایش بصورت اسپلایت پلات و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دانشکده کشاورزی شاهرود اجرا گردید. هر تکرار شامل ۱۵ کرت و کرت ها در کل ۴۵ عدد بودند. فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح شاهد (دوره آبیاری ۸ روز)، ۱۲ و ۱۶ روز دور آبیاری به عنوان عامل اصلی و تیمار منابع کلسیم شامل: شاهد و کلرید کلسیم در دو غلظت ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب و سیلیکات کلسیم در دو غلظت ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار آب به عنوان تیمار فرعی لحاظ شد. در مجموع ۴۵ کرت آزمایشی و هر کرت به ابعاد ۴*۳ متر و به مساحت ۱۲ مترمربع بودند.

تیمار تنش خشکی با دور آبیاری انجام و از مرحله چهار برگی شروع و تا انتهای دوره رشد گیاهان ادامه یافت. محلول پاشی منابع کلسیم در یک مرحله بعد از شروع تنش کم آبیاری و قبل از ظهور گل تاجی بر گیاهان اعمال شد.

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

عوامل مورد تجزیه	نتیجه آزمون
قابلیت هدایت الکتریکی دسی زیمنس بر متر	۱/۶۵
اسیدیته خاک (ph)	۷/۷۱
درصد کربن عالی	۰/۲۹
درصد مواد آلی	۰/۳۳
نیتروژن قابل جذب ppm	۰/۰۴
فسفر قابل جذب ppm	۱۰
پتاسیم قابل جذب ppm	۲۲۱
رس (درصد)	۳۴
لای (درصد)	۵۰
شن (درصد)	۱۶

۳-۴ عملیات اجرایی

۳-۴-۱- آماده سازی زمین.

زمین در سال قبل به صورت آیش و سال قبل از آن زیر کشت کلزا بود. در اوایل خرداد ۱۳۹۸ اقدام به آماده سازی زمین و با استفاده از گاوآهن برگردان دار شخم زده شد. سپس اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. در پایان بوسیله فارور پشته هایی به فاصله ۶۰ سانتیمتر ایجاد شدند. ابتدا ابعاد کرت ها در زمین مورد آزمایش مشخص و سپس جوی های آبیاری تعبیه گردیدند. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف به طول ۴متر و عرض ۳ متر و فاصله بذور روی ردیف ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط خاک و نوع آبیاری بذور در عمق ۵ سانتی متری خاک قرار داده شد. جوی های آبیاری به نحوی تعبیه شد که آب آبیاری اضافی هر تکرار توسط یک جوی خروجی در انتهای کرت ها از مزرعه خارج شود. رقم بذر مورد کشت در این طرح سینگل کراس ۷۰۴ بود.

۳-۵- کاشت، داشت و برداشت

کاشت بذر ذرت در تاریخ ۱۰ خرداد ماه ۱۳۹۸ انجام گرفت عملیات کاشت به روش دستی و بصورت خشکه کاری صورت گرفت. کود مورد استفاده به میزان ۶۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل به همراه ۲۰۰ کیلو گرم در هکتار کود نیتروژن ازته از (اوره ۴۶ درصد) به عنوان کود پایه استفاده شد. با این توضیح که

تمامی کود سوپر فسفات تریپل و نیمی از کود نیتروژن توصیه شده در مرحله کاشت و نصف باقی مانده کود اوره در مرحله هشت برگی به کرت ها اضافه شد.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کشت و آبیاری دوم ۸ روز بعد از آبیاری اول صورت گرفت. روند آبیاری هر هشت روز یک بار تا مرحله استقرار و چهار برگی شدن گیاه ادامه یافت از زمان چهار برگی شدن شروع تنش کم آبیاری هر ۱۲ و ۱۶ روز تا پایان فصل رشد ادامه یافت.

وجین علف های هرز در کل دوره رشد بصورت دستی انجام شد. مهمترین گونه های علف های هرز مزرعه عبارتند بودند از پیچک صحرایی، خارشتر، سوروف و تاج ریزی که با دو بار وجین دستی با آنها مقابله شد. حدود دو هفته بعد از کاشت عمل واکاری در نقاطی که بذرها سبز نشده بودند، صورت گرفت و همزمان نقاطی که هر دو بذر کشت شده سبز گردیده بودند عمل تنک کردن صورت گرفت و بوته های ضعیف تر حذف گردیدند. در طول فصل رشد بیماری و آفت خاصی مشاهده نشد.

برداشت جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد در اواخر مهر ماه متقارن با ۱۳۰ روز پس از کاشت صورت گرفت. جهت اندازه گیری صفات به این ترتیب که ۵۰ سانتی متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان حاشیه حذف شدند. سپس بوته ها به نحوی انتخاب می شدند که بتوانند تا حد زیادی خصوصیات کرت مربوطه را نشان دهند. به صورت تصادفی از هر کرت ۵ بوته از نزدیک زمین قطع گردید و برای اندازه گیری صفات مورد بررسی به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

۳-۶- صفات زراعی و مورفولوژیک:

۳-۶-۱- ارتفاع و قطر ساقه:

به هنگام برداشت، تعداد ۵ بوته از هر کرت پس از در نظر گرفتن حاشیه انتخاب شد. ارتفاع بوته به وسیله متر و بر حسب سانتی متر اندازه گیری شد و سپس از ارتفاع این بوته ها میانگین گرفته شد و به عنوان ارتفاع بوته های آن ترکیب تیماری در نظر گرفته شد. قطر ساقه اصلی از فاصله ۵ سانتی متری از سطح زمین با استفاده از کولیس روی ۵ بوته اندازه گیری شد، سپس میانگین آن محاسبه گردید.

۳-۶-۲- وزن خشک برگ و ساقه

به منظور اندازه گیری وزن خشک ۳ بوته به عنوان نمونه از هر کرت در **زمان** بعد از تشکیل بلال برداشت شد.

نمونه های منتقل شده به آزمایشگاه به ۲ بخش ساقه و برگ تفکیک شدند. اجزای تفکیک شده بطور مجزا در پاکت قرار داده شده و بمنظور تعیین وزن خشک، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون قرار گرفتند. پس از آن، پاکت ها به مدت ۲۵-۳۰ دقیقه در هوای آزمایشگاه قرار گرفتند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و در نهایت با ترازوی حساس با دقت ۰,۰۱ گرم وزن شدند. مقادیر به دست آمده بر حسب گرم در متر مربع محاسبه گردید.

۳-۷- صفات فیزیولوژیکی

۳-۷-۱- محتوای نسبی آب (RWC)

مقدار محتوای نسبی آب برگ بعد از اعمال تنش و محلول پاشی تیمارها و سه هفته بعد از گلدهی مزرعه بر حسب درصد اندازه گیری شد. به منظور تعیین محتوای نسبی آب برگ، بین ساعت ۱۰ تا ۱۲ وارد مزرعه شده و در هر کرت ۳ بوته به صورت تصادفی انتخاب و هر برگ به عنوان یک واحد نمونه گیری در

نظر گرفته شد. پس از آن نمونه‌ها بلافاصله درون یخدان قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه وزن تر نمونه‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شدند (برگ‌ها نباید دچار شکستگی و پارگی باشند). پس از این مرحله تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و پس از طی این زمان وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری شدند. با قراردادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دارای دقت یک ده هزارم در رابطه زیر میزان RWC محاسبه شد (ریچ و نگوین، ۱۹۹۰).

$$RWC = \frac{Fw - Dw}{Sw - Dw} \times 100 \quad \text{رابطه (۳-۸)}$$

FW: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه برداری

DW: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون

SW: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر

۳-۷-۲- اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ

کلروفیل بعد از اعمال تنش و ۳ هفته بعد از گلدهی و یک روز قبل از آبیاری به این صورت جهت اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و کارتنوئید از روش هیسکوکس ایسرلیستام (۱۹۷۹) و بدون لهیدگی صورت گرفت. طبق این روش ۰/۱ گرم بافت تازه برگ توزین و ۵ میلی لیتر دیمیتیل سولفوکسید اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار گرفت و سپس نمونه‌ها را خارج کرده و جذب نوری در طول موج های ۶۶۳، ۶۴۵، ۴۷۰

نانومتر توسط اسپکترو فتو متر مدل ۶۳۰۵ Jenway ساخت کشور آلمان قرائت گردید و محتوای کلروفیل و کاروتنوئید طبق معاملات زیر محاسبه گردید

$$Cl_a(\mu g/ml) = (12/25 A_{663}) - (2,25 A_{645})$$

$$Cl_b(\mu g/ml) = (20/31 A_{645}) - (4/16 A_{663})$$

$$Carotenoids = (1000 A_{470}) - (1/9 chl a) - (63/14 chl b) / 214$$

پس از جایگزین کردن داده ها در روابط بالا، اعداد بدست آمده در $v/w \times 1000$ ضرب گردید تا اعداد بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آید. v حجم محلول کلروفیلی بر حسب میلی لیتر و w وزن تر برگ بر حسب گرم می باشد.

۳-۷-۳- کلروفیل با اسپد

اندازه گیری کلروفیل با دستگاه اسپد بعد از اعمال تنش و محلول پاشی منابع کلسیم در مرحله گلدهی و ۳ هفته بعد از گلدهی انجام شد. هر کرت تعداد ۳ بوته به عنوان معیار کرت انتخاب و علامت گذاری شدند. در هر اندازه گیری تعداد ۳ برگ (جدید، قدیمی و معمولی) از هر بوته انتخاب و کلروفیل آن توسط دستگاه SPAD تعیین شد. سپس میانگین آنها محاسبه گردید. در نهایت میانگین کلروفیل ۳ بوته در هر کرت بر حسب واحد اسپد برای محاسبات تعیین شد.

۳-۷-۴- قند محلول برگ

بعد از اتمام محلول پاشی منابع کلسیم، و بعد از مرحله گلدهی و ۳ هفته بعد از گلدهی مقدار قند محلول برگ به روش فنول اسید سولفوریک اندازه گیری شد. در ابتدا یک دهم گرم از وزن تر برگ را درون لوله آزمایش استریل شده قرار داده شد. سپس ۱۰ سی سی الکل اتانول به هر نمونه اضافه گردید و نمونه ها در بن ماری با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شدند. پس از آن ۱ سی سی از عصاره تهیه شده به همراه ۱ سی سی فنول نیم درصد و ۵ سی سی اسید سولفوریک ۹۵ درصد درون سل قرار داده شدند. سپس با طول موج ۴۸۳ نانو متر در دستگاه اسپکتروفتومتر نمونه ها قرائت شدند. جهت کالیبره کردن دستگاه اسپکت از محلول blank استفاده شد. استفاده از این محلول میزان خطا هنگام قرائت نمونه را کاهش می دهد.

محلول blank :

۱ سی سی اتانول + ۱ سی سی فنل نیم درصد + ۵ سی سی اسید سولفوریک بود

۳-۷-۵- پایداری غشای پلاسمایی برگ

برای تعیین شاخص پایداری غشا پلاسمایی اقدام به نمونه گیری هم سن ۳ هفته بعد از گلدهی از هر تیمار گردید از نمونه برگ های تهیه شده به اندازه ۰,۰۱ گرم به صورت قطعات کوچک هم اندازه جدا شدند. سپس این قطعات به فالكون های حاوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند (C۱). به همین دلیل سری دوم فالكون ها آماده گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد (C۲) قرار گرفتند پس از خنک شدن در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد میزان هدایت الکتریکی آنها توسط دستگاه الکتروکانداکتیمتر (EC متر) اندازه

گیری شد و از طریق معادله (۷-۳) میزان پایداری غشای پلاسمایی محاسبه گردید (سایرام و سریواساوا، ۲۰۰۲).

$$۰.۱ \times (C_1/C_2) - 1 = \text{شاخص پایداری غشای پلاسمایی}$$

۳-۷-۶- پرولین برگ

برای استخراج پرولین، ۵/۰ گرم از بافت برگ توسعه یافته با ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی کوبیده و محصول حاصل به لوله فالكوم انتقال داده می شود. عصاره گیری دوباره و هر بار با ۵ میلی لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و از فاز مایع برای استخراج پرولین استفاده شد یک میلی لیتر از عصاره الکی فوق با ۵ میلی لیتر آب مقطر رقیق شد و ۵ میلی لیتر معرف ناین هیدرین (مخلوط ۱،۲۵ گرم ناین هیدرین در ۳۰ میلی لیتر اسید استیک گلایسال و ۲۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۶ مولار) به آن اضافه شد. پس از افزودن ۵ میلی لیتر اسید استیک گلایسال به آن و هم زدن به مدت چند ثانیه با دست، محلول به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت. پس از خارج کردن نمونه ها و خنک کردن آنها، ۵ میلی لیتر تولوئن به آن ها اضافه و با هم زدن مکانیکی مخلوط شدند تا پرولین وارد فاز تولوئن شود. نمونه ها ۳۰ دقیقه به حال سکون رها و آنگاه میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه گیری شد.

۳-۷-۸- پروتئین دانه

مقدار نیتروژن موجود در دانه پس از برداشت به روش کج‌لدال تعیین گردید. برای مرحله هضم کج‌لدال از اجاق هضم کننده Digester ۲۰۴۰ از شرکت Foss tecator و برای مراحل تقطیر و تیتراسیون از دستگاه تمام خودکار Kjeltac Analysis Unit ۲۳۰۰ از همان شرکت استفاده گردید. برای انجام عمل هضم مقدار ۱ گرم از نمونه بذر پودر شده را درون فلاکس های شیشه ای مخصوص کج‌لدال ریخته و یک عدد قرص کاتالیزور شامل ۱/۵ گرم سولفات پتاسیم ۰/۱۵ گرم سولفات مس به همراه فلاسک اضافه گردید. سپس به هر فلاسک ۲۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد افزوده شد و فلاسک ها درون اجاق مخصوص قرار داده شدند. دمای اجاق به آرامی و هر بار ۴۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت تا به دمای ۳۸۰ درجه سانتی گراد رسید. این شیوه برای جلوگیری از جوشش و کف کردن مواد درون فلاکس ها بسیار موثر بود. پایان عمل هضم پس از ۲ تا ۳ ساعت با تبدیل محلول سیاه رنگ درون فلاسک ها به محلولی نسبتاً زلال به رنگ سبز بسیار کمرنگ مشخص می شود. مقدار نیتروژن نمونه ها پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه توسط دستگاه کج‌لدال سنجیده شد. دستگاه دارای ۳ مخزن آب مقطر، سود سوز آور، ۴۰ درصد و محلول در یافت کننده بود. محلول دریافت کننده از ترکیب ۱۰۰ میلی متر بروموکروزول سبز (۰/۱ گرم بروموکروزول سبز در ۱۰۰ میلی متر الکل)، ۷۰ میلی متر متیل قرمز (۰/۱ گرم متیل قرمز در ۱۰۰ میلی متر الکل) و ۱۰ لیتر اسید بوریک ۱ درصد تشکیل شده بود. پس از قرار گیری در فلاسک ها در دستگاه به ترتیب ۲ میلی لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی لیتر سود سوز آور ۴۰ درصد به نمونه ها اضافه شده با فشار بخار آب عمل تقطیر انجام گرفت. طی مرحله تقطیر نیتروژن موجود در نمونه به صورت گاز آمونیاک حاصل به ظرفی حاوی محلول دریافت کننده منتقل شده و به همراه اسید بوریک، بورات آمونیوم را تشکیل می دهد که معرف های موجود در محلول دریافت کننده آن را به صورت رنگ سبز نمایان می سازد.

عمل تیتراسیون توسط دستگاه صورت گرفت. طی این عمل بورات آونیوم حاصل در محلول دریافت کننده توسط مقدار کافی از محلول تیتریزول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و تا رسیدن به رنگ ارغوانی تیره تیترا شد. مقدار نیتروژن موجود در نمونه بر اساس مقدار اسید کلریدریک مصرف شده در تیتراسیون توسط دستگاه مشخص گردید.

از معادله ۱-۳ به منظور تبدیل مقدار اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرف شده در تیتراسیون به نیتروژن نمونه استفاده شد.

$$\text{معادله (۱-۳)} \quad \text{ورن نمونه (گرم)} / (A * 0.14) : \text{درصد نیتروژن}$$

در این رابطه A حجم اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرفی بر حسب میلی لیتر می باشد. برای تبدیل درصد نیتروژن به درصد پروتئین از معادله ۲-۳ استفاده گردید.

$$\text{معادله (۲-۳)} \quad \text{ضریب تبدیل نیتروژن} * \text{درصد نیتروژن} : \text{درصد پروتئین نمونه}$$

۳-۸- تجزیه و تحلیل داده های آماری

برای محاسبات داده های حاصل از این آزمایش از نرم افزار آماری SAS ۹,۱ استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel و همچنین مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۱-۴- صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته و قطر ساقه)

نتایج تجزیه واریانس اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر ارتفاع بوته و قطر ساقه نشان داد اثر کم آبیاری و منابع کلسیم بر ارتفاع بوته و قطر ساقه ذرت معنی دار و اثر متقابل دو تیمار کم آبیاری و منابع کلسیم بر ارتفاع بوته و قطر ساقه تاثیر معنی داری نداشتند (جدول ۱-۴).

جدول ۱-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه گیری شده گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه
بلوک	۲	^{ns} ۲۴۰	^{ns} ۲۰/۱
کم آبیاری	۲	[*] ۷۴۹	[*] ۲۳/۷
خطای (a)	۴	۳۱۰	۱۰/۰
منابع کلسیم	۴	[*] ۱۲۵۱	[*] ۱۰/۹
کم آبیاری * منابع کلسیم	۸	^{ns} ۱۸۶	^{ns} ۳/۶
خطا	۲۴	۳۶۵	۸/۰
CV (%)		۱۱/۶	۱۴/۱

ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین داده ها در جدول ۴-۲ نشان داد بیشترین ارتفاع بوته و قطر ساقه ذرت مربوط به تیمار ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم به ترتیب با میانگین های ۱۷۷/۸ سانتی متر و ۲۱/۱ میلی متر بود. بعد از آن تیمار ۱/۵ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب کلرید کلسیم در مرتبه دوم قرار داشتند. کمترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۴۵/۸ سانتی متر و قطر ۱۸/۲ میلی متر مربوط به تیمار شاهد بودند.

همانطور که در جدول ۴-۲ مشاهده می شود در تیمار ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم ارتفاع و قطر بوته نسبت به تیمار شاهد از افزایشی به ترتیب معادل ۳۲ سانتی متر و ۲/۹ میلی متر برخوردار بودند.

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین اثر منابع کلسیم بر صفات اندازه گیری شده ذرت

منابع کلسیم (کیلوگرم در هزار لیتر آب)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر ساقه (میلی - متر)
شاهد	۱۴۵/۸d	۱۸/۲b
کلسیم کلراید ۳	۱۶۶/۰b	۲۰/۳a
کلسیم کلراید ۱/۵	۱۶۲/۲c	۲۰/۲a
سیلیکات کلسیم ۳	۱۷۷/۸a	۲۱/۱a
سیلیکات کلسیم ۱/۵	۱۶۹/۳b	۲۰/۶a

نتایج مقایسه میانگین اثر کم آبیاری بر ارتفاع بوته و قطر ساقه ذرت نشان داد با افزایش دور آبیاری قطر ساقه و ارتفاع بوته کاهش پیدا کرد، به طوری که در دور آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶ روز ارتفاع بوته به ترتیب برابر ۱۷۱/۶، ۱۶۳/۵ و ۱۵۷/۶ سانتی متر بود برای قطر ساقه نیز در دور آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶ روز قطر ساقه به ترتیب برابر ۲۱/۶، ۱۹/۳ و ۱۹/۲ میلی متر بود (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳- مقایسه میانگین کم آبیاری بر صفات
اندازه گیری شده ذرت

دور آبیاری (روز)	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر ساقه (میلی متر)
۸	۱۷۱/۶a	۲۱/۶a
۱۲	۱۶۳/۵b	۱۹/۳b
۱۶	۱۵۷/۶b	۱۹/۲b

بر اساس نظر محققان تنش‌های محیطی از جمله خشکی به سبب بر هم زدن روابط تغذیه‌ای، کاهش فتوسنتز و نیز کاهش شاخص سطح برگ سبب توقف رشد و کاهش ارتفاع بوته‌ها می‌شوند (رنولت، ۲۰۰۵). همچنین مطالعات از تاثیر مثبت کلسیم بر رشد و عملکرد گیاهانی از جمله سویا (ندجیمی و همکاران، ۲۰۱۰) و گندم (زمان و همکاران، ۲۰۰۵) در شرایط تنش شوری گزارش شده است. موراتا و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند پرایمینگ بذر بادام زمینی با نیترات کلسیم سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی، سبز شدن گیاهچه‌ها و ارتفاع بوته شد. برکات (۲۰۱۱) گزارش کرد کاربرد کلسیم در شرایط تنش شوری، رشد گیاه *Vicia faba* L. را بهبود بخشید.

۴-۲- کلروفیل a، b، کارتنوئید و عدد کلروفیل متر (SPAD)

در جدول ۴-۴ تجزیه واریانس اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل منابع کلسیم و کم آبیاری بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید آورده شده است. براساس نتایج جدول ۴-۴ اثر متقابل منابع کلسیم و کم آبیاری بر صفات کلروفیل a و کارتنوئید معنی دار بود اما در رابطه با کلروفیل b تنها اثر تیمار کم آبیاری و منابع کلسیم معنی دار بودند (جدول ۴-۴). همچنین نتایج جدول ۴-۴ نشان داد اثر منابع کلسیم، کم آبیاری و اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر مقدار عدد کلروفیل متر (SPAD) معنی دار بود.

جدول ۴-۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه گیری شده گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	عدد Spad
بلوک	۲	۲/۰۲ns	۰/۰۴۵ns	۰/۰۲۱ns	۸۲/۴۸ns
کم آبیاری	۲	۱۳/۳۸**	۲/۰۱۹**	۰/۸۷۳**	۵۳۵/۹۸**
خطای (a)	۴	۰/۹۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰	۴۵/۵۹
منابع کلسیم	۴	۲/۴۹**	۰/۳۱۵**	۰/۱۷۸**	۱۴۶/۶۷**
کم آبیاری * منابع کلسیم	۸	۰/۸۹*	۰/۰۴۴ ^{ns}	۰/۰۳۷*	۸۱/۶۸*
خطا	۲۴	۰/۴۱	۰/۰۶۰	۰/۰۱۸	۳۳/۰۶
CV (%)		۱۸/۷	۱۵/۷	۱۳/۲	۲۲/۷

ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منابع کلسیم و کم آبیاری بر محتوای کلروفیل a نشان داد در تمام سطوح کم آبیاری استفاده از منابع کلسیم محتوای کلروفیل a را افزایش داد به طوری که در تمامی سطوح تیمار کم آبیاری (دوره های آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶ روز)، کمترین محتوای کلروفیل a در تیمار عدم استفاده از منابع کلسیم (شاهد) مشاهده شد (جدول ۴-۵).

در بین منابع کلسیم مورد استفاده در این آزمایش، سیلیکات کلسیم نسبت به کلسیم کلراید باعث افزایش بیشتری در محتوای کلروفیل a برگ ذرت شد. این امر در هر سه تیمار کم آبیاری قابل مشاهده بود. به جز شرایط مطلوب آبیاری (۸ روز آبیاری) که در شرایط نرمال از نظر آبیاری بود تیمار کلسیم کلراید بهتر از سیلیکات کلسیم عمل کرد. در این بین مقدار ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب از منابع کلسیم هم سیلیکات و هم کلراید اثرات مطلوبتری نسبت به ۱/۵ کیلوگرم در هزار لیتر آب از هر دو منابع کلسیم در بر کلروفیل a داشتند (جدول ۴-۵).

نتایج مقایسه میانگین های اثر متقابل منابع کلسیم و تیمار کم آبیاری نشان داد بیشترین محتوای کلروفیل a در تیمار دور آبیاری ۸ روز و کاربرد ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب کلسیم کلراید برابر با ۴/۹ میلی گرم در گرم بافت تر بود و کمترین محتوای کلروفیل a در تیمار دور آبیاری ۱۶ روز و عدم کاربرد کلسیم مشاهده شد که برابر ۱/۹ میلی گرم در گرم بافت تر بود (جدول ۴-۵).

جدول ۴-۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر کلروفیل a، کارتنوید و عدد کلروفیل متر در ذرت

منابع کلسیم	کم آبیاری (روز)	کلروفیل a	کارتنوید
(کیلوگرم در هزار لیتر آب)		(میلی گرم در گرم بافت تر)	(میلی گرم در گرم بافت تر)
کلسیم کلراید ۳	۸	۴/۹a	۱/۴a
کلسیم کلراید ۱/۵		۴/۸ab	۱/۴a
شاهد		۲/۹def	۰/۹bcd
سیلیکات کلسیم ۱/۵		۴/۵abc	۱/۳a
سیلیکات کلسیم ۳	۱۲	۴/۶ab	۱/۴a
کلسیم کلراید ۳		۳/۸bcd	۱/۰bc
کلسیم کلراید ۱/۵		۳/۴cde	۱/۰bc
شاهد		۲/۸def	۰/۹cd
سیلیکات کلسیم ۱/۵		۳/۸bcd	۱/۱ab
		۲۶/۶abcde	۲۷/۶abcde
		۲۵/۳bcdef	۲۰/۳defg
		۳۴/۴ab	۳۲/۳abc
		۳۵/۵a	۳۲/۳abc
		۲۰/۱defg	۲۰/۳defg

سیلیکات کلسیم ۳	۲۹/۷abcd	۴/۰abc	۱/۲a
کلسیم کلراید ۳	۱۹/۹fg	۲/۵ef	۰/۷ed
کلسیم کلراید ۱/۵	۱۶/۶gf	۲/۱f	۰/۸ed
شاهد	۱۴/۳g	۱/۹g	۰/۶e
سیلیکات کلسیم ۱/۵	۲۱/۴dfe	۲/۹de	۰/۸cde
سیلیکات کلسیم ۳	۲۲/۸cdef	۲/۸def	۱/۰bc

در رابطه با کارتنوید نیز همانند کلروفیل a عدم استفاده از کلسیم باعث شد در تمام دوره‌های آبیاری کمترین مقدار کارتنوید در تیمار شاهد مشاهده شود، همچنین نکته مهم در رابطه با مقدار کلروفیل a و کارتنوید این بود که با افزایش دور آبیاری در تمام سطوح کلسیم مقدار کلروفیل a و کارتنوید کاهش پیدا کرد که این امر اثر مخرب تنش خشکی را بر محتوای کلروفیل‌های برگ نشان می‌دهد (جدول ۴-۵)، دامنه تغییرات کارتنوید در تیمارهای مختلف آزمایش بین ۰/۶ تا ۱/۴ میلی‌گرم در در گرم بافت تر بود به‌طوریکه بیشترین مقدار کارتنوید در تیمار دور آبیاری ۸ روز و کاربرد ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب کلسیم کلراید مشاهده شد و کمترین محتوای کارتنوید در تیمار دور آبیاری ۱۶ روز و عدم کاربرد کلسیم بدست آمد (جدول ۴-۵).

نکته مهم در رابطه با کاربرد منابع کلسیم بر مقدار کلروفیل a و کارتنوید این بود که در دور آبیاری ۸ روز (آبیاری مطلوب یا تیمار شاهد) بین منابع مختلف کلسیم اختلاف معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a و کارتنوید وجود نداشت اما با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۶ روز کاربرد سیلیکات کلسیم نسبت به کلرید کلسیم مطلوب تر بود و باعث افزایش بیشتری در مقدار کلروفیل a و کارتنوید شد (جدول ۴-۵).

تغییرات عدد کلروفیل متر (SPAD) نیز هماهنگ با مقدار کلروفیل a بود به طوری که با کاربرد کلسیم مقدار عدد کلروفیل متر نیز در تمام سطوح آبیاری افزایش پیدا کرد. نتایج مقایسه میانگین نشان

داد در شرایط معمولی از نظر آبیاری (دور آبیاری ۸ روز) بین منابع مختلف کلسیم از نظر عدد کلروفیل متر اختلاف معنی داری وجود نداشت اما با افزایش دور آبیاری و شدت تنش خشکی، تیمار سیلیکات کلسیم نسبت به کلسیم کلراید توانست باعث حفظ بیشتر کلروفیل ها شود و این امر باعث شد عدد کلروفیل متر در تیمارهایی که کلسیم کلراید استفاده شده بود نسبت به تیمارهای سیلیکات کلسیم کمتر باشد (جدول ۴-۵).

نتایج مقایسه میانگین اثر منابع کلسیم بر مقدار کلروفیل **b** نشان داد با کاربرد کلسیم مقدار کلروفیل **b** به طور معنی داری افزایش یافت به طوری که کمترین مقدار کلروفیل **b** در تیمار شاهد (۱/۲۵ میلی- گرم در گرم بافت تر) و بیشترین مقدار کلروفیل **b** در تیمارهای سیلیکات کلسیم ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر مشاهده شد که به ترتیب برابر ۱/۶۹ و ۱/۷۴ میلی گرم در گرم بافت تر بودند. پس از سیلیکات کلسیم بیشترین مقدار کلروفیل **b** در تیمارهای کلسیم کلراید ۳ و ۱/۵ کیلوگرم در هزار لیتر آب مشاهده شد (جدول ۴-۶).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر ساده دور آبیاری بر مقدار کلروفیل **b** مشاهده شد با افزایش دور آبیاری مقدار از ۸ به ۱۶ روز دور آبیاری، کلروفیل **b** نیز کاهش پیدا کرد به طوری که در دور آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶ روز مقدار کلروفیل **b** به ترتیب برابر ۱/۹۱، ۱/۵۸ و ۱/۱۸ میلی گرم در گرم بافت تر بود (جدول ۴-۶). مقدار کاهش در تیمار دور آبیاری ۱۶ روز نسبت به دور آبیاری ۸ روز معادل ۳۸/۲ درصد بود.

جدول ۴-۶- مقایسه میانگین اثر کم آبیاری و منابع کلسیم بر کلروفیل b در ذرت			
کلروفیل b		کلروفیل b	
منابع کلسیم (کیلوگرم در هزار لیتر آب)	(میلی گرم در گرم بافت تر)	دور آبیاری	(میلی گرم در گرم بافت تر)

۱/۹۱a	۸	۱/۵۱b	کلسیم کلراید ۳
۱/۵۸b	۱۲	۱/۵۳b	کلسیم کلراید ۱/۵
۱/۱۸c	۱۶	۱/۲۵c	شاهد
-	-	۱/۷۴a	سیلیکات کلسیم ۳
-	-	۱/۶۹a	سیلیکات کلسیم ۱/۵

به طور کلی بر اساس نتایج این آزمایش گرچه تنش خشکی اثر مخربی بر کلروفیل‌ها دارد اما استفاده از کلسیم می‌تواند تاثیرات منفی تنش خشکی را کم کرده و باعث بهبود محتوای کلروفیل‌ها در برگ شوند. محققین گزارش کردند تأمین مقدار کافی کلسیم در شرایط تنش‌های محیطی مخصوصاً شوری و خشکی عامل مهمی در کنترل شدت سمیت یون‌های ویژه نظیر سدیم و کلر در گیاهان حساس می‌باشد که باعث تخریب ساختار کلروفیل‌ها می‌شوند. وجود مقدار کافی کلسیم در محیط باعث تکامل غشای سلولی گیاه و حفظ ویژگی‌های انتخاب پذیری آن شده و سمیت کلر و سدیم را در گیاهان کاهش می‌دهد (گرگی و همکاران، ۲۰۱۰). سروش زاده و امین پناه (۲۰۰۵) مشاهده کردند که آغشته کردن بذره‌های برنج با نیترات کلسیم باعث کاهش اثرات تنش‌های محیطی شد. نقش کلسیم تنظیم انتقال یونها به سلول‌های گیاهی، تکامل ساختمان غشای پلاسمایی و کاهش نفوذپذیری غشاء نسبت به یون‌های کلر، سدیم، اصلاح هدایت هیدرولیکی ریشه و افزایش میزان کلروفیل گیاهچه‌ها است. گرگی و همکاران (۲۰۱۰) و یارنیا و همکاران (۲۰۰۵) اثر بهبود دهندگی یون کلسیم ممکن است به علت حفظ انسجام سلولی و اعمال غشای پلاسمایی در ریشه و بخش هوایی باشد که با حفظ جذب عناصر غذایی همانند نیتروژن باعث افزایش در میزان کلروفیل‌ها در بخش هوایی گیاه می‌شوند.

۴-۳- میزان تراوایی غشاء سلول، محتوای نسبی آب برگ، مقادیر پرولین و

کربوهیدرات‌های محلول برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس داده ها در جدول ۴-۷ اثر متقابل منابع کلسیم و تیمار کم آبیاری بر صفت محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. همچنین اثر متقابل منابع کلسیم و تیمار کم آبیاری بر صفات بیوشیمیایی پرولین، مقدار کربوهیدرات محلول برگ در سطح احتمالی ۱ درصد و نیز میزان تراوایی غشاء سلول در سطح احتمالی ۵ درصد معنی دار بودند (جدول ۴-۷).

جدول ۴-۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه گیری شده گیاه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	RWC	تراوایی غشاء سلول	پرولین	کربوهیدرات محلول	پروتئین دانه
بلوک	۲	۶۱/۸ ^{ns}	۳۲۷/۴ ^{ns}	۷۷/۱ ^{ns}	۲۶۳۴ ^{ns}	۰/۲۱۸ ^{ns}
کم آبیاری	۲	۳۰۴۹/۰***	۶۱۰۹۳/۴***	۵۴۵۶/۵*	۱۸۶۱۰۴*	۳/۳۹۹*
خطای (a)	۴	۱۰/۹	۸۳۷/۰	۷۳/۴	۲۵۰۳	۰/۶۸۵
منابع کلسیم	۴	۳۸۲/۲***	۶۶۱۰/۱***	۲۹۴/۲***	۸۴۹۹***	۸/۷۳۷***
کم آبیاری * منابع کلسیم	۸	۲۰۰/۴***	۹۵۳/۱*	۱۶۰/۵***	۵۴۷۵***	۳/۵۴۰*
خطا	۲۴	۴۸/۹	۸۴۲/۵	۲۷/۳	۹۳۲	۱/۰۱۹
CV (%)		۸/۶	۹/۷	۷/۱	۷/۲	۱۱/۹
ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد						

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کم آبیاری و منابع کلسیم بر محتوای نسبی آب برگ ذرت نشان داد دامنه تغییرات محتوای نسبی آب برگ برابر ۳۷ درصد می باشد، بیشترین محتوای نسبی آب برگ برابر ۹۱/۷ درصد و کمترین محتوای نسبی آب برگ برابر ۵۴/۷ درصد بود (جدول ۴-۸).

این اختلاف بین تیمارهای مختلف از نظر محتوای نسبی آب برگ نشان دهنده این است که هر دو عامل کم آبیاری و منابع کلسیم اثر زیادی بر محتوای نسبی آب برگ در گیاه ذرت داشتند. همچنین نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و کلسیم نشان داد با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۶ روز دور آبیاری، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. از طرف دیگر کاربرد کلسیم باعث تعدیل اثرات تنش خشکی یا کم آبیاری شد. بر این اساس بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار سیلیکات کلسیم ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب و دور آبیاری ۸ روز (بدون تنش خشکی) با میانگین ۹۱/۷ درصد مشاهده شد و کمترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار دور آبیاری ۱۶ روز و عدم کاربرد کلسیم بدست آمد که برابر ۵۴/۷ درصد بود (جدول ۴-۸).

همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و کم آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ نشان داد کاربرد سیلیکات کلسیم نسبت به کلسیم کلراید اثر مطلوب تری بر محتوای نسبی آب برگ در طی بروز تنش خشکی دارد. از این رو در تمام سطوح کم آبیاری محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای سیلیکات کلسیم بهتر از کلسیم کلراید بود (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۸- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر صفات اندازه گیری شده ذرت

کم آبیاری	منابع کلسیم (کیلوگرم در هزار لیتر آب)	RWC	تراوایی غشاء سلول (ds/m)	پرولین (میکرو مول بر گرم)	کربوهیدراتهای محلول (میلی گرم بر گرم)	پروتیین دانه (%)
۸	کلسیم کلراید ۳	۸۷/۳ab	۲۳۹/۷g	۵۵/۸e	۳۲۵/۷e	۸/۳bc
	کلسیم کلراید ۱/۵	۸۵/۹bc	۲۴۱/۵g	۵۴/۹e	۳۲۰/۴e	۶/۸dc
	شاهد	۸۰/۸dc	۲۷۶/۱gef	۵۵/۴e	۳۲۳/۶e	۶/۷d
	سیلیکات کلسیم ۱/۵	۸۷/۳ab	۲۳۱/۴g	۵۴/۸e	۳۲۰/۰e	۸/۴bc
	سیلیکات کلسیم ۳	۹۱/۷a	۲۳۵/۶g	۵۴/۶e	۳۱۸/۶e	۸/۱bcd
۱۲	کلسیم کلراید ۳	۷۳/۵e	۲۷۴/۴gef	۶۷/۸cd	۳۹۶/۰cd	۸/۳bc
	کلسیم کلراید ۱/۵	۷۰/۸ef	۲۹۵/۹def	۶۹/۶cd	۴۰۶/۵cd	۷/۸d
	شاهد	۶۵/۵fg	۳۲۱/۸cde	۶۴/۸d	۳۷۸/۴d	۶/۸d
	سیلیکات کلسیم ۱/۵	۷۵/۶de	۲۷۱/۸gf	۷۵/۷cb	۴۴۲/۱۱bc	۸/۵bc
	سیلیکات کلسیم ۳	۸۱/۳c	۲۳۶/۲g	۸۲/۴b	۴۸۱/۰b	۹/۲abc
۱۶	کلسیم کلراید ۳	۷۱/۴e	۳۶۷/۲bc	۹۴/۰a	۵۴۸/۹a	۹/۷ab
	کلسیم کلراید ۱/۵	۶۳/۱g	۳۸۱/۷ab	۹۶/۶a	۵۶۴/۳a	۹/۷ab
	شاهد	۵۴/۷h	۴۱۸/۸a	۷۲/۷cd	۴۲۴/۸cd	۸/۳bc
	سیلیکات کلسیم ۱/۵	۷۱/۳e	۳۴۶/۷bc	۹۹/۸a	۵۸۲/۹a	۱۰/۳a
	سیلیکات کلسیم ۳	۷۳/۸e	۳۲۹/۲dc	۱۰۲/۶a	۵۹۹/۱a	۱۰/۸a

محققان بیان کرده‌اند رابطه بین محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت‌ها از سلول (هدایت الکتریکی) بصورت معنی‌دار و منفی می‌باشد. به عبارت دیگر براساس نتایج تحقیقات انجام شده با افزایش نشت الکترولیت‌ها یا هدایت الکتریکی بدر بافت برگ‌ها، محتوای نسبی آب برگ به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (گرگی و همکاران، ۲۰۱۰).

در آزمایش حاضر نیز براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کلسیم و تیمار کم آبیاری هم مشاهده شد با افزایش در مقدار نشت الکترولیت‌ها، محتوای نسبی آب برگ‌ها کاهش پیدا کرد. در واقع هر عاملی که باعث افزایش در محتوای نسبی آب برگ شود باعث کاهش نشت الکترولیت‌ها از سلول نیز می‌شود. بر این اساس کاربرد کلسیم و عدم تنش خشکی باعث افزایش در محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت الکترولیت‌های سلول شد (جدول ۴-۸). بر همین اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و کلسیم نشان داد بیشترین مقدار نشت الکترولیت‌ها در تیمار دور آبیاری ۱۶ روز و عدم استفاده از کلسیم (شاهد) مشاهده شد که برابر ۴۱۸/۸ دسی زیمنس بر متر بود و کمترین مقدار برای نشت الکترولیت‌ها در تیمار سیلیکات کلسیم ۱/۵ کیلوگرم در هزار لیتر آب و دور آبیاری ۸ روزه بدست آمد. علاوه بر این نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و کلسیم نشان داد کلسیم کلراید اثر مثبت کمتری بر نشت الکترولیت‌ها از سلول نسبت به سیلیکات کلسیم دارد (جدول ۴-۸).

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کم آبیاری و کلسیم بر صفت پرولین مشخص شد با افزایش دور آبیاری در تمام سطوح کاربرد کلسیم مقدار پرولین افزایش پیدا کرد. این افزایش در تیمار-هایی که کلسیم به کار برده شده بود به خصوص سیلیکات کلسیم بسیار بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۴-۸). دامنه تغییرات پرولین در تیمارهای مختلف بین ۱۰۲/۶ تا ۵۴/۶ میکرو مول بر گرم بود، اختلاف

۴۸ واحدی بین تیمارهای مختلف از نظر پرولین نشان‌دهنده آن است که هم عامل کم آبیاری و هم تیمار کاربرد کلسیم باعث تغییر در مقدار پرولین می‌شوند. بر این اساس بیشترین مقدار پرولین در تیمار ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم و دور آبیاری ۱۶ روز مشاهده شد که با تیمارهای ۱/۵ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم، ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب کلسیم کلراید اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴-۸).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کلسیم و کم آبیاری کمترین مقدار برای پرولین در دور آبیاری ۸ روز مشاهده شد. محققان در این مورد بیان کردند پرولین با افزایش شدت تنش خشکی در گیاهان افزایش می‌یابد و در شرایط طبیعی مقدار آن نسبت به حالت تنش کم است. این امر به دلیل ویژگی‌های خاص پرولین می‌باشد که به عنوان یک اسمولیت در تنش خشکی کاربرد دارد و باعث جذب بیشتر آب به داخل سلول در شرایط تنش خشکی می‌شود (میرزایی و همکاران، ۲۰۱۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کم آبیاری و کلسیم، مقدار کربوهیدرات‌های محلول نیز همانند پرولین تغییر کرد به طوری که در دور آبیاری ۸ روز بین تیمارهای مختلف از نظر کربوهیدرات‌های محلول اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما با افزایش دور آبیاری در تیمارهایی که کلسیم استفاده شده بود کربوهیدرات‌های محلول به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۴-۴). بیشترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول در تیمار ۱۶ روز آبیاری و کاربرد ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم بدست آمد که برابر ۵۹۹/۱ میلی گرم بر گرم بود و کمترین مقدار کربوهیدرات‌های محلول نیز در تیمار کاربرد ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم و ۸ روز آبیاری مشاهده شد که برابر ۳۱۸/۶ میلی گرم بر گرم بود (جدول ۴-۸).

به طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد کلسیم باعث بهبود صفاتی همچون پرولین، قندهای محلول در شرایط بروز تنش خشکی در ذرت می‌شود (جدول ۴-۸). در این رابطه پژوهشگران بیان کردند عناصری همانند کلسیم نقش به سزایی در بهبود کارکرد گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی و نیز شرایط طبیعی دارند. کلسیم نقش مهمی در ساختمان غشا سلولی، پایداری دیواره سلولی، تنظیم انتقال یون و جذب انتخابی غشا دارد. از این طریق می‌تواند بر نشت الکترولیت‌ها و محتوای نسبی آب برگ تاثیر داشته باشد (گرگی و همکاران، ۲۰۱۰). یون کلسیم اثرات قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارد و فاکتورهای مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش‌های محیطی را بهبود می‌بخشد. آزمایش‌ها نشان داده اضافه کردن کلسیم به محیط سبب کم کردن خسارت تنش‌های محیطی می‌شود (میرزایی و همکاران، ۲۰۱۲؛ سروش زاده و امین پناه، ۲۰۰۵). اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش‌های غیر زیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی اکسیدانی، انباشت اسمولیت‌ها، بهبود محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی و تعادل تغذیه‌ای نسبت داده شده است (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۶).

نتایج این آزمایش هم نشان داد تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت الکترولیت‌ها در برگ ذرت شد که این امر با استفاده از کلسیم کاهش یافت (جدول ۴-۴). کاربرد خارجی کلسیم با افزایش فعالیت آنزیمهای آنتی‌اکسیدان، رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین و همچنین کاهش تخریب غشاهای در گیاه باقلا سبب بهبود مقاومت آن نسبت به تنش عناصر سنگین (تنش کادمیوم) شد (سیدیکویی و همکاران، ۲۰۱۲).

۴-۴- پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده ها در جدول ۴-۷ نشان داد اثر متقابل تیمار کم آبیاری و کلسیم بر میزان پروتئین دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین های اثر متقابل تیمار آبیاری و کلسیم بر درصد پروتئین دانه نشان داد با افزایش دور آبیاری و شدت پیدا کردن تنش خشکی درصد پروتئین دانه ذرت نیز افزایش یافت که این افزایش در تیمارهای که کلسیم استفاده شده بود بیشتر بود (جدول ۴-۸). بیشترین درصد پروتئین دانه در تیمار سیلیکات کلسیم ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب و ۱۶ روز دور آبیاری مشاهده شد که برابر ۱۰/۸ درصد بود و کمترین درصد پروتئین دانه در تیمار ۸ روز دور آبیاری و عدم کاربرد کلسیم بدست آمد که برابر ۶/۷ درصد بود (جدول ۴-۸).

نکته قابل توجه در رابطه با درصد پروتئین دانه این امر است که در دور آبیاری ۱۶ روز بین تیمار شاهد و کاربرد کلسیم کلراید از نظر درصد پروتئین دانه اختلاف معنی داری مشاهده نشد و می توان بیان کرد که سیلیکات کلسیم نسبت به کلسیم کلراید باعث افزایش بیشتر درصد پروتئین دانه شد. از این رو می توان گفت که استفاده از سیلیکات کلسیم در مقابل کلسیم کلراید ارجحیت بیشتری در شرایط تنش خشکی بر درصد پروتئین دانه ذرت دارد (جدول ۴-۸).

یکی از اثرات منفی تنش های محیطی بر گیاهان، بر هم زدن تعادل عناصر غذایی از جمله نیتروژن و کلسیم است. مشخص شده که غلظت این عناصر تحت تأثیر میزان سدیم و کلسیم خارج سلولی می باشد. یون های کلسیم و سدیم دارای اثرات رقابتی بوده و تنظیم مناسب این دو عنصر بر غلظت عناصر مذکور تاثیر بسزایی دارد. از این رو کاربرد کلسیم باعث بهبود در میزان نیتروژن دانه بخصوص در شرایط تنش شوری در گیاهان می شود (رنولت، ۲۰۰۵). در آزمایشی در شرایط طبیعی با بررسی اثر کود کلسیم بر گره زایی ریشه های گیاه ماش مشخص شد که کاربرد کود کلسیم باعث افزایش تثبیت نیتروژن می شود و در نهایت باعث افزایش پروتئین دانه شد (نورسو، ۲۰۱۴).

۴-۵- عملکرد و اجزای عملکرد دانه

۴-۵-۱- اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار کم آبیاری، کلسیم و اثر متقابل تیمار کم آبیاری و کلسیم بر اجزای عملکرد دانه ذرت در جدول ۴-۹ آورده شده است. براساس نتایج جدول ۴-۹ اثر متقابل تیمار منابع کلسیم و کم آبیاری بر تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه ذرت معنی دار بود.

جدول ۴-۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری، منابع کلسیم و اثر متقابل آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی
بلوک	۲	۱۶۹۱ ns	۴۳۴۰*	۱۳۲۳۰۱۷ ns	۱۷۶۸۶۷۸۴ ns
کم آبیاری	۲	۱۸۵۱۸۶**	۳۵۰۵*	۳۲۶۹۷۳۶۶**	۱۳۶۰۰۴۳۶۱**
خطای (a)	۴	۱۸۲۶	۵۴۸	۴۴۳۲۵۹	۳۶۶۹۳۱۲
منابع کلسیم	۴	۵۸۲۷*	۴۸۶۶**	۸۷۷۸۳۱*	۳۹۳۲۰۸۰۰**
کم آبیاری * منابع کلسیم	۸	۱۴۸۷۸**	۸۸۴۲**	۹۶۰۴۹۵۰**	۵۹۷۰۶۷۳*
خطا	۲۴	۳۱۰۱	۱۱۶۳	۱۰۶۱۷۰۹	۴۱۶۴۶۸۳
CV (%)		۹/۴	۹/۸	۱۳/۵	۱۳/۰
ns غیر معنی داری، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد					

بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کم آبیاری و منابع کلسیم مشخص شد با افزایش دور آبیاری و شدت تنش خشکی (دور آبیاری ۱۶ روز)، تعداد دانه در بوته ذرت در تمام سطوح کاربرد کلسیم کاهش یافت. به طوری که کمترین تعداد دانه در بوته در سطوح مختلف کلسیم در تیمار ۱۶ روز آبیاری مشاهده شد و بیشترین تعداد دانه در بوته ذرت در تیمار آبیاری ۸ روز مشاهده شد (جدول ۴-۱۰).

نکته دیگر در رابطه با اثر متقابل تنش کم آبیاری و کلسیم این بود که در ۸ روز آبیاری (آبیاری مرسوم یا شاهد) بین سطوح مختلف کاربرد کلسیم اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد دانه در بوته ذرت وجود نداشت، اما با افزایش شدت تنش خشکی و افزایش دور آبیاری تعداد دانه در بوته ذرت در تیمار-های که سیلیکات کلسیم به کار برده شده بود از کاهش کمتری نسبت به تیمار هایی که از منبع کلسیم کلراید استفاده شده بود، داشتند (جدول ۴-۱۰). همچنین درصد کاهش تعداد دانه در بوته ذرت از تیمار ۸ روز آبیاری تا تیمار ۱۶ روز آبیاری در تیمار عدم استفاده از کلسیم بسیار شدید بود اما با استفاده از کلسیم این درصد کاهش کمتر شد به طوری که در تیمار شاهد تعداد دانه در بوته از ۸ روز آبیاری تا ۱۶ روز آبیاری ۵۸ درصد کاهش نشان داد اما این کاهش در تیمارهایی که کلسیم مصرف شده بود به طور متوسط ۴۱ درصد بود (جدول ۴-۱۰).

بیشترین تعداد دانه در بوته ذرت در تیمار کلسیم کلراید و دور آبیاری ۸ روز مشاهده شد که برابر ۴۷۵/۴ عدد دانه در بوته بود. کمترین تعداد دانه در بوته نیز در تیمار ۱۶ روز آبیاری و عدم کاربرد کلسیم مشاهده شد که برابر ۱۶۴/۶ عدد دانه در بوته بود (جدول ۴-۱۰).

وزن هزار دانه ذرت نیز همانند تعداد دانه در بوته با افزایش دور آبیاری کاهش پیدا کرد به طوری که در تمام سطوح کلسیم کمترین وزن هزار دانه در دور آبیاری ۱۶ روز مشاهده شد و بیشترین وزن هزار

دانه در ۸ روز آبیاری بدست آمد. بیشترین وزن هزار دانه در بین تمام تیمارهای مورد مطالعه در تیمار ۸ روز آبیاری و سیلیکات کلسیم ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب بدست آمد که برابر ۴۸۵/۱ گرم بود، پس از تیمار ۸ روز آبیاری و سیلیکات کلسیم ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب بیشترین وزن هزار دانه ذرت در تیمار ۸ روز آبیاری و کلسیم کلراید ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب مشاهده شد که برابر ۳۹۳ گرم بود، کمترین وزن هزار دانه ذرت نیز در تیمار عدم کاربرد کلسیم و ۸ روز آبیاری مشاهده شد که برابر ۲۹۲/۲ گرم بود (جدول ۴-۱۰).

به طور کلی می‌توان بیان کرد استفاده از کلسیم چه در شرایط طبیعی و چه در شرایط تنش خشکی باعث افزایش در وزن هزار دانه ذرت می‌شود که این امر می‌تواند اثرات مخرب تنش خشکی بر وزن هزار دانه ذرت را کاهش دهد (جدول ۴-۱۰). همچنین نتایج جدول ۴-۱۰ نشان داد در ۱۲ روز آبیاری بین سطوح مختلف کلسیم اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه وجود نداشت، در دور آبیاری ۱۶ روز نیز بین سطوح کلسیم کلراید ۳ و ۱/۵ و سیلیکات کلسیم ۱/۵ کیلوگرم در هزار لیتر آب اختلاف معنی‌دار از نظر وزن هزار دانه ذرت وجود نداشت.

جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه ذرت

کم آبیاری	منابع کلسیم (کیلوگرم در هزار لیتر آب)	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه
۸	کلسیم کلراید ۳	۹۶۸۴/۷a	۲۰۹۱۱/۹a	۴۶۰/۱a	۳۹۳/۰b
	کلسیم کلراید ۱/۵	۹۶۴۹/۷a	۱۹۳۸۸/۸ab	۴۷۵/۴a	۳۳۰/۲cde
	شاهد	۶۷۲۸/۳dc	۱۳۴۷۱/۷edf	۳۲۰/۹cd	۲۹۲/۰e
	سیلیکات کلسیم ۱/۵	۹۵۱۹/۷a	۱۹۵۸۶/۵a	۴۲۸/۱a	۳۱۶/۸ ed
	سیلیکات کلسیم ۳	۹۶۷۸/۰a	۲۰۵۱۸/۳a	۴۴۲/۵a	۴۵۸/۱a
۱۲	کلسیم کلراید ۳	۷۳۹۵/۰bcd	۱۵۸۱۶/۸dc	۳۰۹/۶cd	۳۴۸/۵bcde
	کلسیم کلراید ۱/۵	۷۱۰۷/۲cd	۱۳۷۱۴/۰ed	۲۹۳/۷cd	۳۴۳/۹bcde
	شاهد	۶۴۳۱/۸ed	۱۳۲۱۳/۲edf	۲۶۷/۲edf	۳۴۸/۵bcde
	سیلیکات کلسیم ۱/۵	۸۲۴۴/۴abc	۱۶۰۸۵/۶bcd	۳۲۷/۳bc	۳۱۹/۵ed
	سیلیکات کلسیم ۳	۹۰۹۰/۱ab	۱۷۶۹۳/۲abc	۳۶۴/۰b	۳۵۴/۹bcd
۱۶	کلسیم کلراید ۳	۵۸۱۰/۷ed	۱۲۹۶۱/۲ef	۲۱۷/۵gfh	۳۱۳/۸ed
	کلسیم کلراید ۱/۵	۶۰۳۴/۶ed	۱۳۴۲۶/۸edf	۲۰۰/۷gh	۳۶۱/۰bcd
	شاهد	۳۶۹۶/۸f	۸۰۹۹/۷g	۱۶۴/۶h	۲۹۲/۲e
	سیلیکات کلسیم ۱/۵	۶۴۷۹/۴d	۱۳۱۹۰/۳edf	۲۳۲/۷efg	۳۱۹/۹ed
	سیلیکات کلسیم ۳	۷۴۸۱/۴bcd	۱۵۷۱۱/۴dc	۲۷۶/۰ed	۳۸۰/۶ bc

۴-۵-۲- عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثر متقابل منابع کلسیم و تیمار کم آبیاری تاثیر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی ذرت داشت (جدول ۴-۹). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین با افزایش کاربرد کلسیم از ۱/۵ به ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب عملکرد بیولوژیکی ذرت نیز در تمام سطوح آبیاری افزایش یافت. همچنین با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۶ روز، عملکرد بیولوژیکی کاهش معنی داری نشان داد به طوری که در دور آبیاری ۸ تا ۱۶ روز و در سطوح مختلف کلسیم، عملکرد بیولوژیکی بین ۴۰ تا ۲۳ درصد متغیر بود، بر همین اساس بیشترین عملکرد بیولوژیکی ذرت در تیمار ۸ روز آبیاری و کلسیم کلراید ۳ و سیلیکات کلسیم ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب بدست آمد که به ترتیب برابر ۲۰۹۱۱ و ۲۰۵۱۸ کیلوگرم در هکتار بودند و از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری نداشتند. کمترین عملکرد بیولوژیکی ذرت در بین تمام تیمارهای مورد مطالعه نیز در تیمار ۱۶ روز آبیاری و عدم کاربرد کلسیم مشاهده شد (تیمار شاهد) که برابر ۸۰۹۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴-۱۰). بیشترین تغییر در عملکرد بیولوژیک در بین تیمارهای مختلف مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کلسیم) بود که بیش از ۴۰ درصد از دور آبیاری ۸ روز تا دور آبیاری ۱۶ روز کاهش پیدا کرد (جدول ۴-۱۰).

معمولا در گیاهان زراعی عملکرد دانه مهمترین صفت می باشد و تمام مدیریت ها و برنامه ریزی ها برای افزایش در این صفت می باشد. براساس نتایج آزمایش حاضر با افزایش در مدت زمان دور آبیاری یا به عبارت دیگر افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه ذرت در تمام سطوح کاربرد کلسیم کاهش پیدا کرد، علاوه بر این باید بیان کرد گرچه تنش خشکی باعث کاهش در عملکرد دانه ذرت شد اما کاربرد کلسیم تا حدی سبب کاهش خسارت تنش خشکی بر عملکرد دانه ذرت شد. به عبارت دیگر باید بیان کرد کاربرد کلسیم از هر دو منبع کلسیم کلراید و سیلیکات کلسیم چه در شرایط عدم تنش خشکی

(آبیاری ۸ روز) و چه در شرایط تنش خشکی (۱۲ و ۱۶ روز) باعث بهبود عملکرد دانه ذرت شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کاربرد کلسیم در هر شرایطی باعث افزایش در عملکرد دانه ذرت شده است (جدول ۴-۱۰). نتایج مقایسه میانگین‌های داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ذرت در تیمارهای کلسیم کلراید ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب و سیلیکات کلسیم ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین عملکرد دانه نیز با مقدار ۳۶۹۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۱۶ رو آبیاری و عدم کاربرد کلسیم مشاهده شد (جدول ۴-۱۰).

همچنین براساس نتایج این آزمایش باید بیان کرد که کاربرد کلسیم در حله اول باعث افزایش در صفاتی همچون کلروفیل‌ها، محتوای نسبی آب برگ، پرولین و از همه مهمتر اجزای عملکرد دانه ذرت شد. در مرحله بعد افزایش در این صفات، افزایش عملکرد دانه ذرت را به همراه داشت که این امر می‌تواند بسیار حایز اهمیت باشد (جدول ۴-۲، ۴-۵ و ۴-۷).

یون کلسیم اثر قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان داشته و پارامترهای مورفولوژیک بیوشیمیایی گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی قرار دارند را بهبود می‌بخشد. گیاهان از کلسیم به میزان متفاوتی برای کاهش خسارت تنش‌های محیطی استفاده می‌کنند که بسته به گونه گیاهی این میزان می‌تواند تغییر کند. گیاهانی که در شرایط تنش‌های محیطی میزان بیشتری از وزن خشک از دست رفته خود را توسط کلسیم جبران کنند، کارایی بالاتری دارند و این گیاهان در نهایت عملکرد دانه بیشتری را تولید می‌کنند (مونس و اسچاچمال، ۱۹۹۳). گزارش‌های متعددی در مورد تأثیر کلسیم در تخفیف اثرهای سوء تنش‌های محیطی در گیاهان مختلف ارایه شده است که در بیشتر آنها این اثرها به حفظ عمل غشاء پلاسمایی و نگهداری سلامت و انسجام در ریشه و ساقه مرتبط است. و این فعالیت‌ها در نهایت باعث افزایش در عملکرد دانه گیاهان زراعی می‌شود (تونا و همکاران، ۲۰۰۷؛ کایا و همکاران،

۲۰۰۲؛ ندجیمی و دواد، ۲۰۰۹). در آزمایش حاضر نیز کاربرد کلسیم باعث کاهش اثرات مضر تنش خشکی شد و در نهایت افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی ذرت را به همراه داشت (جدول ۴-۴).

لیو و همکاران (۲۰۰۵) در طی پژوهش در رابطه با پاسخ بادام زمینی به کربنات کلسیم نشان دادند که کربنات کلسیم در مقایسه با هیومیک اسید منجر به انشعاب دهی بیشتری در بادام زمینی شد. همچنین افزایش سطح و تعداد برگ، وزن خشک، پروتئین و عملکرد دانه این گیاه در سطوح بالای کربنات کلسیم افزایش یافت. اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش‌های غیر زیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی اکسیدانی، انباشت اسمولیت‌ها، بهبود محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی و تعادل تغذیه‌ای نسبت داده شده است. در آزمایشی مسمومیت کادمیوم موجب کاهش رشد گیاهچه‌های ذرت شد با این وجود کاربرد کلسیم از طریق افزایش جذب پتاسیم و کاهش جذب کادمیوم موجب بهبود رشد گیاهچه‌ها و وزن خشک شد (کورتیکا و همکاران، ۲۰۰۸).

در آفتابگردان محلول پاشی کلسیم از طریق بهبود وضعیت آبی گیاه، میزان کلروفیل، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب بهبود رشد و عملکرد تحت تنش آبی شد و این امر در نهایت باعث افزایش در عملکرد دانه آفتابگردان شد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۶). کاربرد خارجی کلسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین و همچنین کاهش جذب کادمیوم و تخریب غشاهای زیستی، بوته‌های باقلا را به تنش کادمیوم متحمل نمود و باعث افزایش عملکرد دانه باقلا شد (سیدیکویی و همکاران، ۲۰۱۲). کومار و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کلسیم در هکتار از منبع گچ (در دو مرحله) هنگام کاشت و ۲۰ تا ۲۵ روز بعد از کاشت در مرحله خاک دهی پای بوته‌ها ضمن تعدیل اثرات تنش گرما، باعث افزایش عملکرد غده دهی (۱۲ درصد) و کیفیت انباری غده‌ها در دو رقم سیب‌زمینی شد

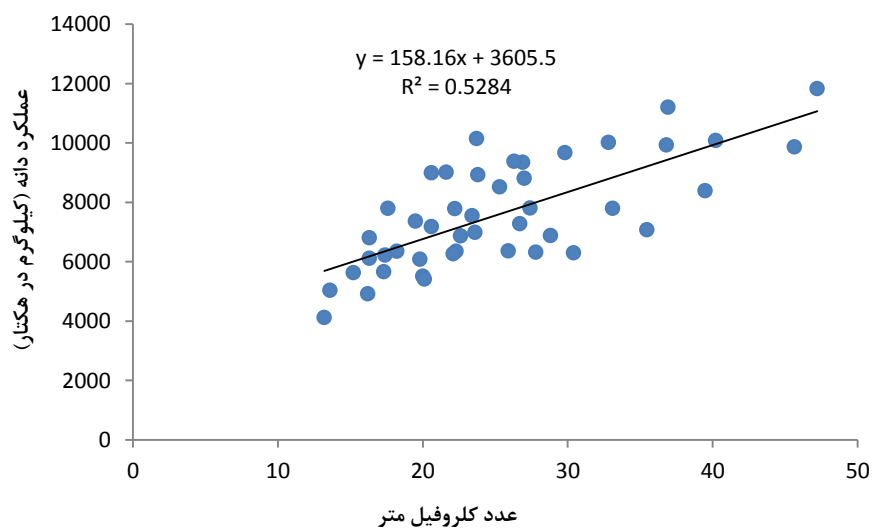
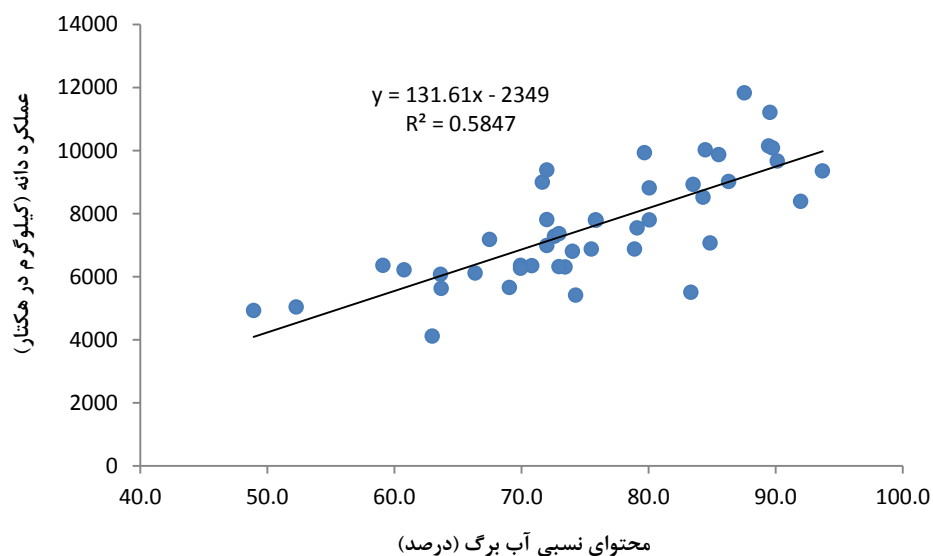
۴-۶- رابطه همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با صفات نشت

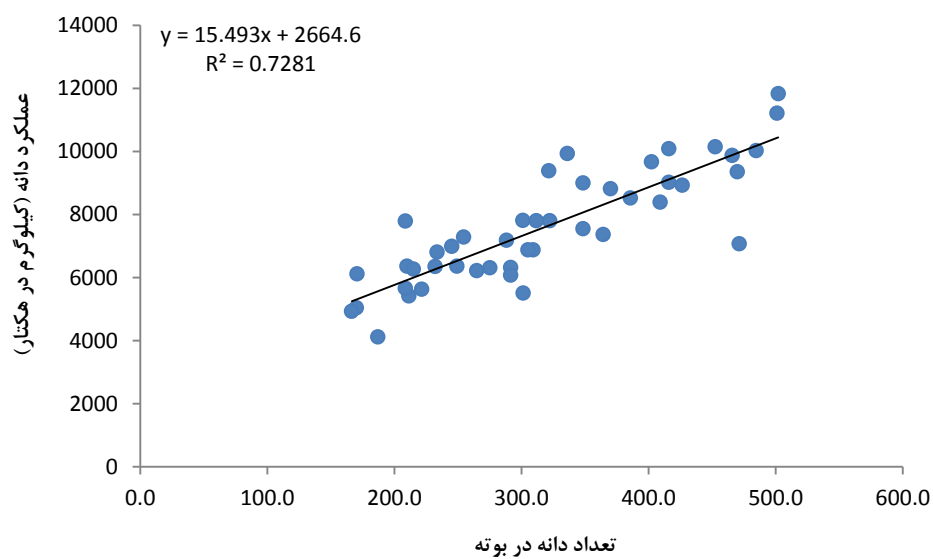
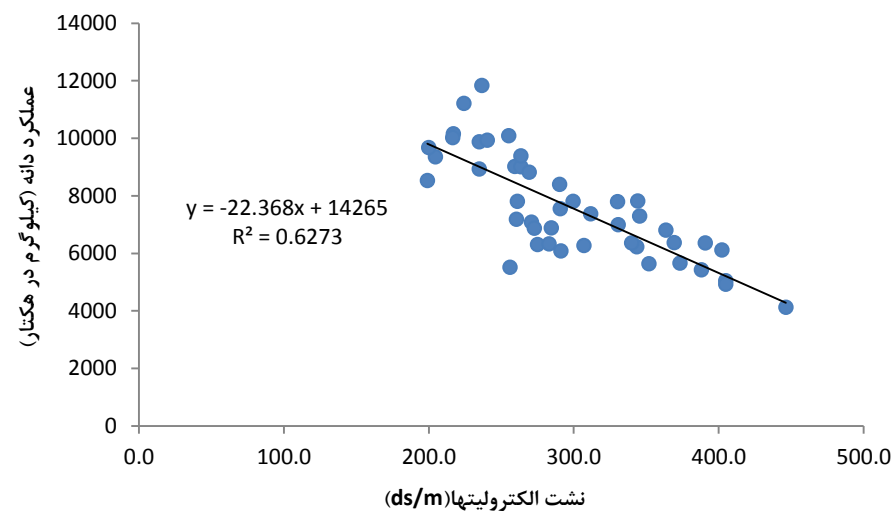
الکترولیت‌ها، عدد SPAD، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در بوته

در شکل ۴-۱ رابطه بین عملکرد دانه با صفات نشت الکترولیت‌ها، عدد SPAD، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در بوته ذرت نشان می‌دهد. در شکل ۴-۱ رابطه عملکرد دانه با صفات عدد SPAD، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در بوته ذرت مثبت و معنی‌دار و با صفت نشت الکترولیت‌ها همبستگی معنی‌دار و منفی بود (شکل ۴-۱). بر همین اساس باید بیان کرد شیب افزایش عملکرد دانه در مقابل محتوای نسبی آب برگ برابر $131/6$ واحد بود. به عبارت دیگر با افزایش یک درصدی در محتوای نسبی آب برگ عملکرد دانه ذرت $131/6$ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد. برای عدد کلروفیل متر برابر $158/1$ واحد بود یعنی با افزایش یک واحدی عدد کلروفیل متر عملکرد دانه ذرت $158/1$ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد. شیب افزایش عملکرد دانه با تعداد دانه در بوته برابر $15/4$ واحد بود به عبارت دیگر افزایش یک عدد دانه در بوته باعث افزایش $15/4$ کیلوگرمی عملکرد دانه در هکتار می‌شود (شکل ۴-۱).

همچنین بر اساس نتایج شکل ۴-۱ رابطه عملکرد دانه با نشت الکترولیت‌ها منفی بود بدین صورت که با افزایش یک واحدی نشت الکترولیت‌ها عملکرد دانه ذرت $22/3$ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرد (شکل ۴-۱). به طور کلی براساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد هر عاملی که باعث افزایش در عدد SPAD، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در بوته ذرت شود در نهایت عملکرد دانه

ذرت را نیز افزایش می‌دهد که براساس نتایج این آزمایش کاربرد کلسیم باعث افزایش در عدد SPAD، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در بوته ذرت شد و افزایش دور آبیاری باعث کاهش در عدد SPAD، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه در بوته ذرت شد (جداول ۴-۲، ۴-۷ و ۴-۱۰).



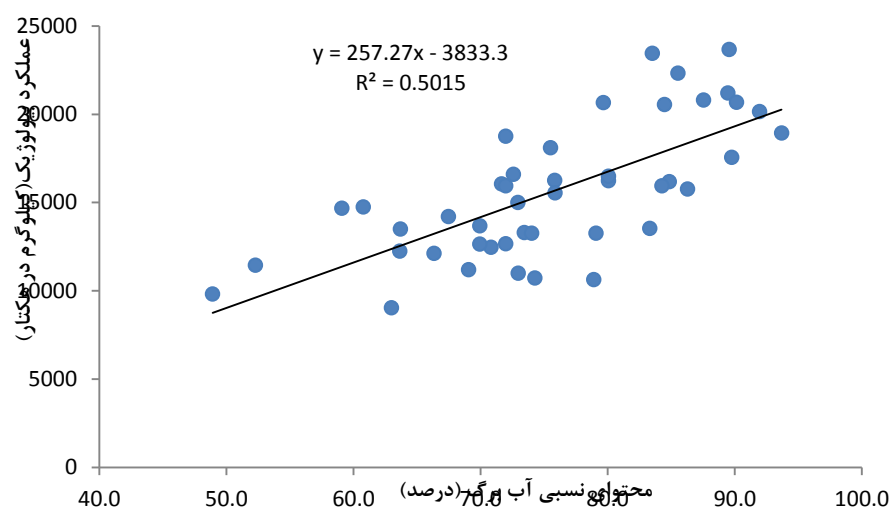
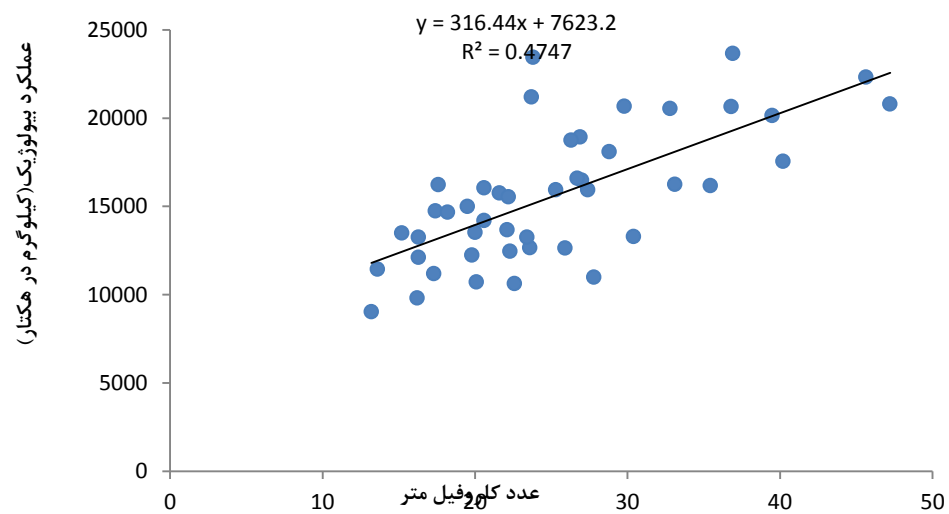


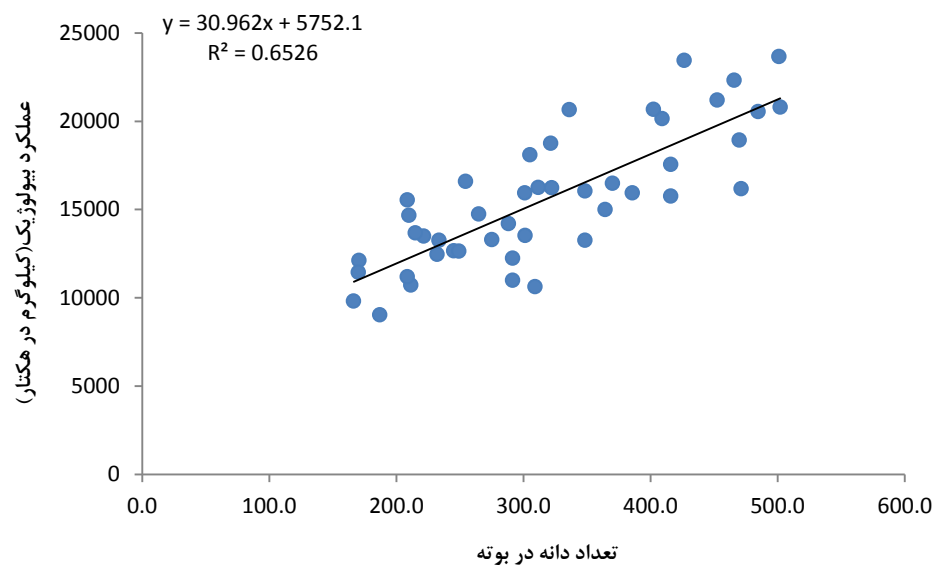
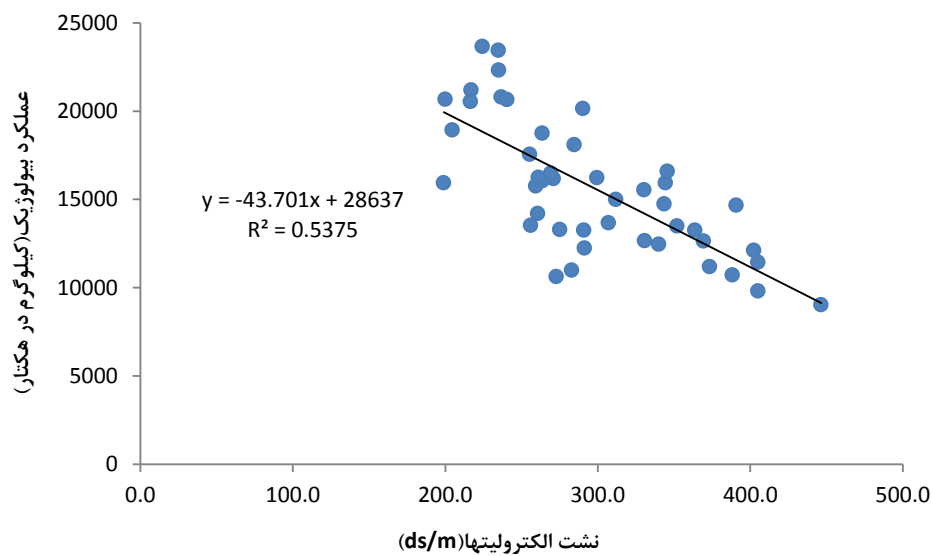
شکل ۴-۱ رابطه بین عملکرد دانه با صفات اندازه‌گیری شده

در شکل ۴-۲ همانند شکل ۴-۱ رابطه رگرسیونی بین عملکرد بیولوژیک با سایر صفات اندازه‌گیری شده نشان داده شده است، بر اساس نتایج شکل ۴-۲ با افزایش در عدد کلروفیل متر عملکرد بیولوژیک

ذرت نیز به طور مستقیم و معنی‌داری افزایش پیدا کرد به طوری که با افزایش یک واحدی در عدد کلروفیل متر عملکرد بیولوژیک به مقدار $316/4$ کیلوگرم در هکتار افزایش پیدا کرد، در رابطه با محتوای نسبی آب برگ نیز با افزایش در مقدار محتوای نسبی آب برگ عملکرد بیولوژیک نیز به طور مثبت و معنی‌داری افزایش پیدا کرد شیب این افزایش برابر $257/2$ کیلوگرم افزایش در عملکرد بیولوژیک به ازای افزایش یک درصدی محتوای نسبی آب برگ بود (شکل ۴-۲).

بر خلاف محتوای نسبی آب برگ و عدد کلروفیل متر، رابطه عملکرد بیولوژیک با نشت الکترولیت منفی و معنی‌دار بود، بر این اساس با افزایش ۱ دسی زیمنس بر متر مربع نشت الکترولیت‌ها عملکرد بیولوژیک به مقدار $43/7$ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرد، این امر نشان دهنده تاثیر مخرب نشت الکترولیت‌ها بر عملکرد بیولوژیک ذرت می‌باشد، از این رو هر عاملی که باعث کاهش در نشت الکترولیت‌ها شود در نهایت باعث افزایش در عملکرد بیولوژیک می‌شود، بر طبق نتایج این آزمایش کاربرد کلسیم باعث کاهش در نشت الکترولیت‌ها می‌شود که این امر در نهایت باعث افزایش در مقدار عملکرد بیولوژیک ذرت می‌شود (جدول ۴-۴)، همچنین نتایج شکل ۴-۲ نشان داد افزایش در تعداد دانه در بوته در نهایت باعث افزایش در عملکرد بیولوژیک می‌شود که این رابطه صعودی و معنی‌دار می‌باشد، که شیب این افزایش برابر $30/9$ افزایش کیلوگرم در هکتار عملکرد بیولوژیک به ازای افزایش یک عدد دانه در بوته ذرت می‌باشد.





شکل ۴-۲- رابطه بین عملکرد بیولوژیک با صفات اندازه گیری شده

۴-۷- نتیجه گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد اثر تنش کم آبیاری و منابع کلسیم بر صفاتی از جمله ارتفاع بوته و قطر ساقه ذرت اثر معنی داری داشت. براساس نتایج این آزمایش با کاربرد کلسیم چه از منبع سیلیکات کلسیم و چه از منبع کلسیم کلراید ارتفاع بوته ذرت به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد اثر منابع کلسیم، کم آبیاری و اثر متقابل کم آبیاری و منابع کلسیم بر رنگیزه‌های فتوسنتزی ذرت معنی دار بودند. نتایج نشان داد کاربرد کلسیم به صورت سیلیکات کلسیم اثر مطلوب‌تری نسبت به کاربرد کلسیم کلراید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت، در حالی که تنش کم آبیاری باعث کاهش بیشتر در رنگیزه‌های فتوسنتزی ذرت شد اما کاربرد کلسیم این خسارت را تقلیل داد. این امر را می‌توان به اثر مثبت کلسیم بر محتوای نسبی آب برگ، هدایت الکتریکی و مقدار پرولین گیاه توجیه کرد. به طوری که با کاربرد کلسیم محتوای نسبی آب برگ ذرت افزایش پیدا کرد و از طرف دیگر نشت الکترولیت‌ها یا هدایت الکتریکی در برگ ذرت کاهش یافت. همچنین استفاده از کلسیم باعث افزایش کارکرد پرولین در سلول شد که این امر در نهایت اثر مثبت بر مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی ذرت داشت.

نتایج این آزمایش همچنین نشان داد تیمار تنش کم آبیاری و کاربرد کلسیم اثر معنی داری بر اجزای عملکرد دانه و عملکرد دانه ذرت داشت. به طوری که با کاربرد کلسیم از منابع مختلف تعداد دانه در بوته به طور متوسط ۳۰ درصد افزایش نشان داد و وزن هزار دانه نیز با کاربرد کلسیم به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. بیشترین عملکرد دانه ذرت در تیمارهای کلسیم کلراید ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب و سیلیکات کلسیم ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی داری با هم نداشتند. کمترین عملکرد دانه نیز با مقدار ۳۶۹۶ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۱۶ رو آبیاری و عدم کاربرد کلسیم مشاهده شد. همچنین براساس نتایج این آزمایش باید بیان کرد که کاربرد کلسیم در

وهله اول باعث افزایش در صفاتی همچون کلروفیل‌ها، محتوای نسبی آب برگ، پرولین و از همه مهمتر اجزای عملکرد دانه ذرت شد. در مرحله بعد افزایش در این صفات، افزایش عملکرد دانه ذرت را به همراه داشت که این امر می‌تواند بسیار حایز اهمیت باشد. به طور کلی براساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد کاربرد کلسیم می‌تواند اثر مثبتی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ذرت داشته باشد که در نهایت با بهبود این صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه نیز افزایش پیدا می‌کند و براساس نتایج این آزمایش کاربرد ۳ کیلوگرم در هزار لیتر آب سیلیکات کلسیم نسبت به سایر تیمارهای آزمایش مناسب‌تر بود.

۴-۸- پیشنهادات

- استفاده از ترکیبات کلسیم در سایر مراحل رشدی به خصوص مرحله پرشدن دانه و بررسی اثر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت
- بررسی استفاده از ترکیبات کلسیم در سایر گیاهان زراعی دانه‌ای
- بررسی غلظت‌های مختلف کلسیم بر جوانه زنی و خصوصیات گیاهچه ذرت
- ارزیابی کارایی سایر ترکیبات کلسیم مانند کود های نانو کلسیم و اثرات آن بر گیاهان زراعی

منابع

- تاجبخش، م. ۱۳۹۰. ذرت: زراعت، اصلاح آفات و بیماری‌های آن. نشر احرار. ۱۳۴.
- حسینی، م. و ن. ع. کریمیان. ۱۳۸۴. تأثیر گچ و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی گیاه ذرت. مجله علوم کشاورزی. ۱۵(۸): ۲۱-۱۱.
- خواجه‌پور، م. ۱۳۹۳. زراعت غلات. انتشارات جهاد دانشگاهی. ۴۸۶ ص.
- دریکوند، ط.، مدرس ثانوی، م.، و آقاعلیخانی، م. ۱۳۹۸. تأثیر سیلیکات پتاسیم، کلسیم کلرید و نانو سیلیس بر پاسخ صفات مورفولوژیک ذرت شیرین به رژیم‌های آبیاری. دومین همایش بین‌المللی افق‌های نوین در علوم پایه و فنی و مهندسی، تهران. ۸ ص.
- شیبانی عمله، م. ۱۳۹۳. تأثیر کربنات کلسیم و سطوح مختلف آبیاری بر برخی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ذرت سینگل کراس ۷۰۴. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان ۸۷ صفحه.
- صادقی، ف. ۱۳۹۵. زراعت و اصلاح ذرت. انتشارات پردیسان. ۲۴۷ ص.
- علیخانی، م.، محمدی، خ. ۱۳۹۲. ذرت شیرین (رهیافت‌های به‌زراعی و به‌نژادی). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. ۲۳۳ ص.
- کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، ا.، ظریفی، ح.، گلدانی، م. ۱۳۸۹. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). جلد دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۴۹ ص.
- کافی، م.، ا. برزویی، م.، صالحی، ا.، کمندی، ا.، معصومی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. مطبوعات جهاد دانشگاهی مشهد. ۵۸۴ ص.
- گالشی، س. ۱۳۹۴. اثر تنش‌های محیطی بر گیاهان (خشکی - شوری - گرمایی - غرقابی) (جلد ۱). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۸۸ ص.
- گالشی، س.، راحمی‌کاریزکی، ع.، برزگر، ا.، ترابی، ب.، رسام، ق. ۱۳۸۸. تنش و مدیریت آن در گیاهان. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۲۰ ص.

موحدی دهنوی، م. و. مدرس ثانوی. ۱۳۸۵. اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف روی و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم پاییزه تحت تنش خشکی در منطقه اصفهان مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد. ۱۰: صفحه ۱۳.

Aguayo, E., Escalona, V. H. and Artés, F. ۲۰۰۸. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. *Postharvest Biology and Technology*. ۴۷: ۳۹۷-۴۰۶.

Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, N. A., Wani, M.R., Kazi, A. G. and Tran, L. S. ۲۰۱۵. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. *Plos One*. ۱۰ (۱): ۱-۱۷.

Alexieva, V. Sergiev, I. Mapelli, S. and Karanov, E. ۲۰۰۱. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*. ۲۴: ۱۳۳۷-۱۳۴۴.

Al-Yousif, A.A. and Al-Miahy, M.Z. ۲۰۰۷. Effect of calcium on *Ziziphus jujube* sp. fruit growth and their resistance to jujube fruit Fly (*Carpomyia incompleta*). *Journal of Kerbela University*. ۵(۴): ۱۰۶-۱۱۳.

Amuthavalli, P., Anbu, D. and Sivasankaramoorthy, S. ۲۰۱۲. Effect of calcium chloride on growth and biochemical constituents of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under salt stress. *International Journal of Research in Botany*. ۲(۳): ۹-۱۲.

Arshi, A., Ahmad, A., Aref, I.M. and Iqbal, M. ۲۰۱۰a. Calcium interaction with salinity-induced effects on growth and metabolism of soybean (*Glycine max* L.) cultivars. *Journal of Environmental Biology*. ۳۱(۵) ۷۹۵-۸۰۱.

- Arshi, A., Ahmad, A., Aref, I.M. and Iqbal, M. ۲۰۱۰. Effect of calcium against salinity-induced inhibition in growth, ion accumulation and proline contents in *Cichorium intybus* L. Journal of Environmental Biology. ۳۱(۶) ۹۳۹-۹۴۴.
- Ashraf, M. and M. R. Foolad. ۲۰۱۷. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. Environmental and Experimental Botany. ۵۹: ۲۰۶-۲۱۶.
- Barakat, N.A.M. ۲۰۱۱. Ameliorative effects of Ca^{2+} on the growth, metabolism, cationic status and cell wall degrading enzymes of induced salinity stress *Vicia faba* L. Journal Stress Physiology biochemistry. ۷: ۳۶۹-۳۸۶.
- Cachoro, P., Ortiz, A., and Cerda, A. ۲۰۱۴. Implication of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. Plant and Soil. ۱۵۹: ۲۰۵-۲۱۲.
- Castaneda, P. and Perez, L.M. ۱۹۹۶. Calcium ions promote the response of citrus lemon against fungal elicitors or wounding. Phytochem. ۴۲: ۵۹۵ - ۸.
- Cha-um, S., Pal Singh, H., Samphumphuang, T. and Kirdmanee, C. ۲۰۱۲. Calcium-alleviated salt tolerance in indica rice (*Oryza sativa* L. spp. indica). Physiological and morphological changes. Australian Journal Crop Science. ۶(۱):۱۷۶-۱۸۲.
- Delauney, A. J. and Verma, D. P. S. ۱۹۹۳. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. The Plant Journal. ۴: ۲۱۵-۲۲۳.

- Duran, R.E., Coskun, Y. and Savaskan, C. ۲۰۱۱. The examination of Na-Ca effect on some qualitative and quantitative characters in durum wheat plants. *African Journal of Biotechnology*. ۱۰(۶۴): ۱۴۰۱۳-۱۴۰۲۳.
- Fahimi, H. and Haji Boland, R. ۱۹۹۶. Responses of barley plants to effects of sodium-calcium in saline conditions. *Journal of Science, University of Tehran*. ۲۲(۱): ۴۳-۵۶.
- Garg, B. Kathju, S. and Burman, U. ۲۰۰۱. Influence of water stress on water relations, photosynthetic parameters and nitrogen metabolism of moth bean genotypes. *Biologia Plantarum*. ۴۴: ۲۸۹-۲۹۲.
- Girija, C., Smit, B.N. and Swamy, P. ۲۰۰۲. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis Hypogaea* L.). *Environmental Experimental Botany*. ۴۷: ۱-۱۰.
- Goorgi, M., Zahedi, M. and Khoshgoftarmanesh, A.H. ۲۰۱۰. Effect of potassium and calcium on safflower response mto salinity due to sodium chloride in aquatic environment. *Journal of Agricultural Science and Technology. Waterand Soil Science*. ۱۴(۵۳): ۱-۷.
- Grattan, S.R. and Grieve, C.M. ۱۹۹۴. Mineral Nutrient Acquisition and Response of Plants Grown in Saline Environments. In: Pessarakli, M. (Ed.). *Hand Book of Plant and Crop Stress*, Marcel Dekker Inc. New York, USA, Pp: ۲۰۳-۲۲۶.
- Hare, P. and Cress, W. ۱۹۹۷. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant growth regulation*. ۲۱: ۷۹-۱۰۲.

- Hawkins, H. J. and Lewis, O. A. M. ۱۹۹۳. Combination effect of NaCl salinity, nitrogen from and calcium concentration on the growth. Ionic content and gaseous exchange properties of *mTriticum aestivum* L. cv. Gamtoos. New Phytologist. ۱۲۴: ۱۶۷-۱۷۰.
- Hong, Z. Lakkineni, K. Zhang, Z. and Verma, D. P. S. ۲۰۰۰. Removal of feedback inhibition of Δ^1 -pyrroline- δ -carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. Plant Physiology. ۱۲۲: ۱۱۲۹-۱۱۳۶.
- Hopkins WG. ۱۹۹۹. Introduction to plant physiology. Second ed., Wiley, New York.
- Ibarra-Caballero, J., Villanueva-verduzco, C., Molina-Galan, J. and Sanchez-De-Jimenez, E. ۱۹۸۸. Proline accumulation as a symptom of drought stress in maize: A tissue differentiation requirement. Journal of Experimental Botany. ۳۹: ۸۸۹-۸۹۷.
- Ibrahim, M. F. M., Faisal, A. and Shehata, S. A. ۲۰۱۶. Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. American- Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. ۱۶ (۴): ۶۷۷-۶۹۳.
- Jackson, S. D. ۱۹۹۹. Multiple signaling pathways control tuber induction in potato. Plant Physiology. ۱۱۹: ۱-۸.
- Jiang, Y. and Huang, B. ۲۰۰۱. Effect of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool season grasses. Journal of Experimental Botany. ۵۲ (۳۵۵): ۳۴۱-۳۴۹.

- Kader, M.A. and Lindberg, S. ۲۰۱۰. Cytosolic calcium and pH signaling in plants under salinity stress. *Plant Signaling and Behavior*. ۵ (۳):۲۳۳-۲۳۸.
- Kanmegne, G. and Omokolo, N.D. ۲۰۰۳. Changes in phenol content and peroxidase activity during in and fruit quality during long-term storage of "Rocha" pear: effects of maturity and storage conditions. *Journal of Food Quality*. ۲۳(۱): ۱-۲۰.
- Kaya, C., Ak, B.E., Higgs, D. and Murillo-Amador, B. ۲۰۰۲. Influence of foliar applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt stress conditions. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. ۴۲(۵): ۶۳۱-۶۳۶.
- Kaya, C., H. Kirnak, D. Higgs and Saltali, K. ۲۰۰۳. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*. ۹۳:۶۵-۷۴.
- Kerepesi, I. and Galiba, G. ۲۰۰۰. Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science*. ۴۰: ۴۸۲-۴۸۷.
- Khalifa, R.K.M., Omaima, M.H. and Abd-El-Khair, H. ۲۰۰۹. Influence of foliar spraying with boron and calcium on productivity, fruit quality, nutritional status and controlling of blossom end rot disease of Anna apple trees. *World Journal of Agricultural Sciences*. ۵(۲): ۲۳۷-۲۴۹.
- Khayyat, M., Rajaei, S., Sajjadinia, A., Eshghi, S. and Tafazoli, E. ۲۰۰۹. Calcium effects on changes in chlorophyll contents, dry weight and micronutrients of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants under salt-stress conditions. *Fruits*. ۶۴: ۵۳-۵۹

- Khoshgofarmanesh, A.H. ۲۰۱۰. Advanced concepts in plant nutrition. Isfahan University of technology press. ۲۶۹.
- Kleinhenz, M. D. and J. P. Palta. ۲۰۰۲. Root zone calcium modulates the response of potato plants to heat stress. *Physiology Plantarum*. ۱۱۵: ۱۱۱-۱۱۸.
- Kumar, D. and Minhas, J. S. ۲۰۰۱. Effect of calcium nitrate as foliar nutrient on potato crop grown under heat stress. *Journal Indian Potatoto*. ۲۸: ۱۲۷-۱۲۸.
- Kumar, P., S. Rawal, D. Kumar, R. Kumar, N. Saini, R. Chand and Sandhu, K. S. ۲۰۱۵. Influence of calcium dose and time of application on tuber yield and processing quality of potato (*Solanum tuberosum*). *Annals of Agricultural Sciences*. ۳۶: ۲۸-۳۷.
- Kurtyka, R., Małkowski, E., Kita, A. and Karcz, W. ۲۰۰۸. Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. *Polish Journal of Environmental Studies*. ۱۷ (۱): ۵۱-۵۶.
- Lauchli, A. ۲۰۱۰. Calcium salinity and the plasma memberane. In: Eds. Leonard, R.T. and Hepler, P. K. Calcium in plant growth. Pp: ۲۶-۳۵. The American Society of Plant Physiologists. Rockville. M.D.
- Leser, G. E. and Grusak, M. A. ۱۹۹۹. Postharvest application of calcium and magnesium to honey dew and netted muskmelons: effects on tissue ion concentrations, quality, and senescence. *Journal of American Society for Horticultural Science*. ۱۲۴: ۵۴۵-۵۵۲.
- Leshem, Y.Y., Haramaty, E., Liuz, D., Mali, K.Z., Safer, Y. and Riotman, L. ۲۰۱۷. Effect of stress nitric oxide: interaction between chlorophyll

- fluorescence, galactolipid fluidity and lipoxygenase activity. *Plant Physiology and Biochemistry*. ٣٥: ٥٧٣-٥٧٩.
- Lester, G. E., Jifon, J. L. and Makus, D. J. ٢٠١٠. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: melon (*Cucumis melo* L.) case study. *Plant and Soil*. ٣٣٥: ١١٧-١٣١.
- Levent Tun, A., C. Kayab, M. Ashraf, H. Altunlu, I. Yokas and Yagmur, B. ٢٠٠٧. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. ٥٩: ١٧٣-١٧٨.
- Li, R. H. Guo, P. G. Michael, B. Stefania, G. and Salvatore, C. ٢٠٠٦. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*. ٥: ٧٥١-٧٥٧.
- Liu, X.M., Zhang, F.D., Zhang, S.Q., He, X.S., Fang, R., Feng, Z. and Wang, Y. ٢٠٠٥. Responses of peanut to nano-calcium carbonate. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*. ١١: ٣-٩.
- Ma, X. L., Y. J. Wang, S. L. Xie, C. Wang, and Wang, W. ٢٠٠٧. Glycinebetaine application ameliorates negative effects of drought stress in tobacco. *Russian Journal of Plant Physiology*. ٥٤: ٤٧٢-٤٧٩.
- Mahajan, B. V. C. and Sharma, R. C. ٢٠٠٠. Effect of pre-harvest applications of growth regulators and calcium chloride on physic-chemical characteristics and storage life of peach (*Prunus persica* Batsch) cv. Shan-e-Punjab. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*. ٢٩: ٤١-٤٣.

- Makela, P., P. Peltonen-Sainio, K. Jokinen, E. Pehu, H. Setälä, R. Hinkkanen, and Somersalo, S. ۲۰۱۶. Uptake and translocation of foliar applied glycinebetaine in crop plants. *Plant Science*. ۱۲۱: ۲۲۱-۲۳۰.
- Mao, Y.M., Shen, L.Y., Wei, W., Wang, X.L., Hu, Y.L., Xu, S.S. and Mao, L.L., ۲۰۱۴. Effects of foliar applications of boron and calcium on the fruit quality of 'Dongzao' (*Zizyphus jujuba* Mill.), In XXIX International Horticultural Congress on Horticulture, Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC۲۰۱۴): III ۱۱۱۶: ۱۰۵-۱۰۸.
- Mathers, A. C. ۲۰۱۰. Effect of ferrous sulfate and sulfuric acid on grain sorghum yield. *Agronomy Journal*. ۶۲:۵۵۵-۵۵۶.
- Mirzai S., Rahimi A., Dashti, H. and Madah Hosseini, S.H. ۲۰۱۲. Ameliorating effect of using Calcium and Potassium in ammi. *Iranian Journal of Agricultural Research*. ۱۰(۱):۱۸۹-۱۹۷.
- Moghbeli, T. and M. J. Arvin. ۲۰۱۳. Growth and fruit yield of cantaloupe cultivars and their response to polyethylene mulch and ethephon application. *Iranian Journal of Horticultural Science*. ۱۳ (۴): ۴۰۵-۴۱۶.
- Mokhtari A., Abrisham Chi P., and Ganjali A. ۲۰۰۸. Effect of Calcium on improvement of salinity-induced damage on tomato seed germination (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal of Agricultural Sciences and Technology. Special for Horticulture Sciences*. ۱(۲۲): ۱۸۹-۱۹۹.
- Mokhtary, I., Abrishamchi, P., and Ganjali, A. ۲۰۱۰. Ameliorative effects of CaCl_2 and CaSO_4 on growth, content of soluble proteins, soluble sugars, proline and some mineral nutrients (Na^+ , K^+) in leaves of *Lycopersicon esculentum* var Mobile under salt stress. *Iranian Journal of Biotechnology*. ۲۳: ۶۲-۷۲.

- Mozafari M., and Kalantari Kh. ۲۰۰۵. The effect of Calcium ion on changes growth, accumulation of nutrient elements and electrophoretic pattern of polypeptides in *Descurainia sophia* under salt stress. Iran Biology Magazine. ۱۸(۱): ۲۴-۳۵.
- Munns, R. ۲۰۱۲. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environment. ۳۵:۲۳۹-۲۵۰.
- Munns, R. and Schachtman, D.P. ۱۹۹۳. Plant responses to salinity significance in relation to time. International Crop Science. ۱: ۷۴۱-۷۴۵.
- Murata, M.R., Zharare, G.E. and Hammes, P.S. ۲۰۰۸. Pelleting or priming seed with calcium improves groundnut seedling survival in acid soils. Journal of Plant Nutrition, ۳۱: ۱۷۳۶-۱۷۴۵. (Journal) Murray, D.R.
- Nedjimi, B. and Daoud, Y. ۲۰۰۹. Ameliorative effect of CaCl₂ on growth, membrane permeability and nutrient uptake in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* grown at high (NaCl) salinity. Desalination, ۲۴۹: ۱۶۳-۱۶۶.
- Nedjimi, B., Y. Daoud, M. Carvajal and M.D. Carmen Martinez-Ballesta. ۲۰۱۰. Improvement in the adaptation of *Lygeum Spartum* L. to salinity in the presence of calcium. Soil Science and Plant Analysis. ۴۱: ۲۳۰۱-۲۳۱۷.
- Nursu'aidah, B.H. ۲۰۱۴. Effects of fertilizer on root nodulation, chlorophyll content and nitrate reductase activity in long bean and mung bean. Master's thesis, University of Malaya. Available at: www.studentsrepo.um.edu.
- Ozgen, S. and J. P. Palta. ۲۰۰۴. Supplemental calcium application influences potato tuber number and size. Horticultural Science. ۴۰: ۱۰۲-۱۰۵.
- Paleg, L.G. and Aspinall, D. ۱۹۸۱. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press.

- Palta, J. P. and M. D. Kleinhenz. २००३. Influence of supplemental calcium fertilization on potato tuber size and tuber number. In: Proceedings of XXVI International Horticultural Congress; Potatoes Healthy Food for Humanity (Ed.: Vada, R.Y.). Acta Horticulturae. 619: 329-336
- Ramanjulu, S. and Bartels, D. २००२. Drought-and desiccation-induced modulation of gene expression in plants. Plant, Cell and Environment. 25:141-151 .
- Rawal, S., N. S. Rana and Kumar, D. २००१. Mitigation of heat stress in potato through calcium nutrition. Potato Journal. 34: 111-112.
- Renault S. २००5. Response of red osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings to sodium sulphate salinity: effects of supplemental calcium. Physiological Plantarum. 123: 75-81.
- Roger, G. S. २००6. Development of a crop management program to improve the sugar-content and quality of rockmelons. Horticulture Australia Project Number: Vx00019.
- Ruiz, J. M., Rivero, R. M., Lo'pez-Cantarero, I, and Romero, L. २००३. Role of Ca in the metabolism of phenolic compounds in tobacco leaves (*Nicotiana tabacum* L.). Plant Growth Regulation. 41: 173 – 7.
- Sánchez, F. J. Manzanares, M. De Andres, E. F. Tenorio, J. L. and Ayerbe, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crops Research. 59: 225-235.
- Sánchez-Rodríguez, E. Rubio-Wilhelmi, M. M. Cervilla, L. M. Blasco, B. Rios, J. J. Rosale, M. A. Romero, L. and Ruiz, J. M. २०10. Genotypic

differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*. ۱۷۸:۳۰-۴۰.

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Sakran, A. M., Basalah, M. O. and Ali, H. M. ۲۰۱۲. Effect of calcium and potassium on antioxidant system of *Vicia faba* L. under cadmium stress. *International Journal of Molecular Sciences*. ۱۳: ۶۶۰۴-۶۶۱۹

Sorooshzadeh A., and Amin Panah H. ۲۰۰۵. The effect of Calcium Nitrate on Sodium and Potassium distribution in seedlings of rice under saline conditions. *Iran Biology Magazine*. ۱۸(۲): ۹۲-۱۰۰.

Sprague, H. B. ۲۰۰۲. Hunger Signs in Crops, a Symposium. ۳rd ed., David Mckay Co. Inc., USA.

Suzuki, N. ۲۰۰۵. Alleviation by calcium of cadmium-induced root growth inhibition in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Biotechnology*. ۲۲ (۱): ۱۹-۲۵.

Tahir, M. Fiaz, N. Nadeem, M. and Khalid, F. ۲۰۰۹. Effect of different chelated zinc sources on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Soil and Environment*. ۲۸(۲): ۱۷۹-۱۸۳.

Tawfik, A. A., M. D. Kleinhenz and Plata, J. P. ۱۹۹۶. Application of calcium and nitrogen for mitigating heat stress effects on potatoes. *American Journal of Potato Research*. ۷۳: ۲۶۱-۲۷۳.

Taylor, K. and Brannen, P. ۲۰۰۸. Effects of foliar calcium application on peach fruit quality, shelf-life and fruit rot. In Albion Conference on Plant Nutrition. ۱-۱۱.

- Tuna, A.L., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, L. and Yagmur, B. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 59(2): 173-178.
- Van Rensburg, L. Krüger, G. and Krüger, H. 1993. Proline accumulation as drought-tolerance selection criterion: Its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotiana tabacum* L. *Journal of Plant Physiology*. 141: 188-194.
- Vasquez-Tello, A. Zuily-Fodil, Y. Thi, A. P. and Da Silva, J. V. 1990. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. *Journal of Experimental Botany*. 41: 827-832.
- Verslues, P.E. and Juenger, T.E. 2011. Drought, metabolites, and *Arabidopsis* natural variation: a promising combination for understanding adaptation to water-limited environments. *Current Opinion in Plant Biology*. 14: 240-245.
- Vizhuc, S., Liu, M. and Zhou, J. 2006. Inhibition by nitric oxide of ethylene biosynthesis and lipoxygenase activity in peach fruit during storage. *Postharvest Biological Technology*. 42: 41-48.
- Welch, R. M., W. H. Allaway, W. A. House and Kubota, J.. 1991. Geographic distribution of trace element problems. PP. 31-47. *In*: J. J. Mortvedt *et al.* (Ed.), *Micronutrient in Agriculture*. 2nd ed., SSSA, WI.
- White, P. J. and Broadley, M. R. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*. 92: 487-511.

- Yamada, M., Morishita, H., Urano, K., Shiozaki, N., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. and Yoshida, Y. ۲۰۰۵. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. *Journal of Experimental Botany*. ۵۶ : ۱۹۷۵-۱۹۸۱.
- Yang, W. J., P. J. Rich, J. D. Axtell, K. V. Wood, C. C. Bonham, G. Ejeta, M. V. Mickelbart, and Rhodes, D. ۲۰۱۳. Genotypic variation for glycine betaine in sorghum. *Crop Science*. ۵۳: ۱۶۲-۱۶۹.
- Yarnia M., Heidari Sharifabad, H. and Rahimzadeh Khouei, F. ۲۰۰۵. Effect of calcium carbonate on salinity mresistance of alfalfa cultivars. *Journal of Modern Agricultural Science*. ۱(۲): ۹-۲۱
- Zaman, B., Niazi, B.H., Athar, M. and Ahmad, M. ۲۰۰۵. Response of wheat plants to sodium and calcium ion interaction under saline environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*. ۲: ۷-۱۲.

Abstract

This study investigates the effect of deficit irrigation stress and foliar application of different calcium sources on growth, seed yield, and some quality traits of single cross ۷۰۴ corn implementing a split-plot experiment at Shahrood University of Technology through a completely randomized block design with two factors and ۳ experimental replications in the cropping year of ۲۰۱۹-۲۰۲۰. Experimental treatments include deficit irrigation at three levels of ۸ (control), ۱۲ and ۱۶ days of irrigation intervals as the main factor and treatment of calcium sources including control, calcium chloride in two concentrations of ۱,۰ and ۳ kg per thousand liters of water and calcium silicate in two concentrations of ۱,۰ and ۳ kg per thousand liters of water were considered as sub-treatments. The results showed that the interaction of deficit irrigation and calcium treatment had a significant effect on traits such as seed yield, the components of seed yield (۱۰۰۰-seed weight and number of seeds per plant), relative leaf water content, chlorophyll A, electrolyte leakage, proline and carbohydrate levels. With increasing irrigation level from ۸ to ۱۶ days of irrigation intervals, seed yield and the components of seed yield decreased, but the use of calcium had a significant effect on corn seed yield and the components of seed yield, and also increased them even at drought level. So that the application of calcium increased the number of seeds per plant by ۳۰٪ compared to the control treatment and the weight of ۱۰۰۰ seeds increased significantly with the application of calcium. The

highest corn seed yield was observed in the treatments of calcium chloride ۱,۰ and ۳ kg per thousand liters of water and calcium silicate which were not statistically significant. The lowest seed yield was ۳۶۹۶ kg per hectare ha in ۱۶ days of irrigation and no calcium application. Irrigation treatment increased the amount of proline and soluble carbohydrates in the leaves and also increased the leakage of electrolytes and decreased the amount of chlorophyll and the amount of relative humidity in the leaf tissue. However, the use of calcium to some extent prevented the negative effect of deficit irrigation stress on these traits, especially on land, but the use of ۳ kg per thousand liters of calcium silicate water had a greater effect on these traits. In general, it can be noted that the application of calcium can have a positive effect on the morphological and physiological characteristics of corn under drought stress (deficit irrigation), which ultimately improves seed yield by improving seed yield components and physiological traits. According to the results of this experiment, the application of ۳ kg per thousand liters of calcium silicate water was more appropriate than other experimental treatments.

Keywords: *Corn, Calcium, Photosynthetic Pigments, Seed Yield, Drought Stress.*



agricultural faculty, Agriculture Group

Master Thesis in Agro Technology

**Effect of limited irrigation stress and foliar application of different
sources of on calcium growth yield and some qualitative traits of maize
cultivar single Cros ۷۰۴.**

supervisor

Dr. Mostafa Heydari

Advisor

Dr. Mehdi Baradaran Firozabadi

By

Javad Pahlevan

July ۲۰۲۱