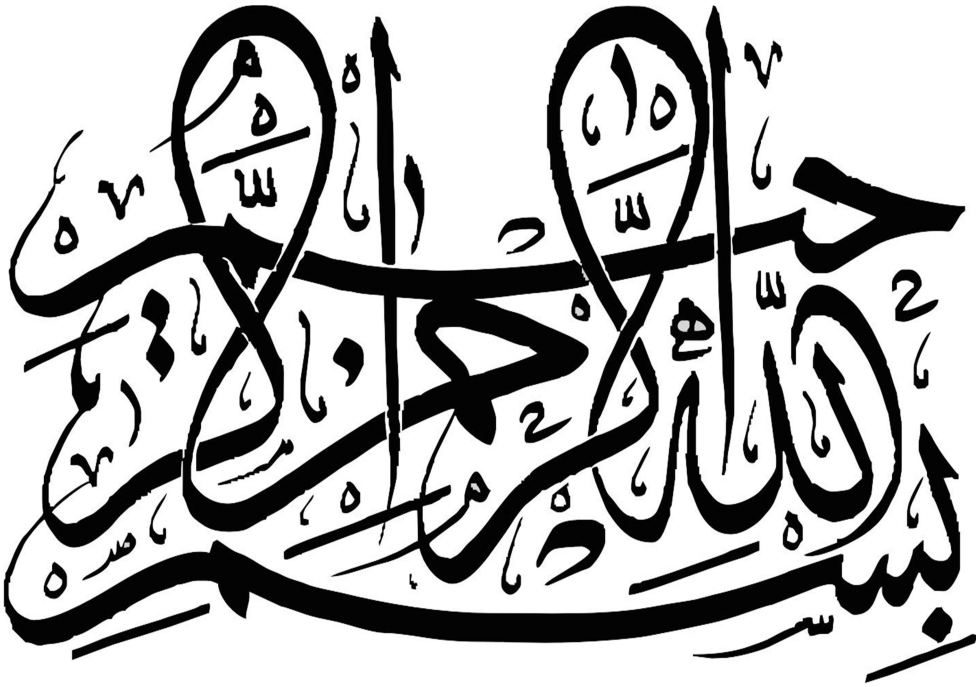

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی زراعت

بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیک گیاه جو بهاره به محلول‌پاشی سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم

نگارنده: راضیه نودهی

استاد راهنما

دکتر مهدی برادران فیروزآبادی

اساتید مشاور

دکترحسین میرزایی‌مقدم

دکتر احمد غلامی

دی ماه ۱۳۹۸

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم و آنان که وجودمان وامدار وجودشان است.

تقدیم به:

پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه عزتمندانه با قدرت و شکیبایی در عرصه زندگی به پیش روم و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر و عطوفت است. تقدیم به آنان که از نگاه- شان صلابت از رفتارشان محبت و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین، بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللهَ عزّ و جلّ " : از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از غفلت هایم گذشته اند و از خواهران و برادر عزیزم که در تمام عرصه های زندگی یار و یاور من بوده اند بی نهایت سپاسگزارم.

از استاد فرهیخته و صبورم ؛ جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم ؛ از اساتید محترم جناب آقایان دکتر حسین میرزایی مقدم و دکتر احمد غلامی که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید سپاسگزارم. از اساتید فرزانه ، جناب آقایان دکتر مصطفی حیدری و دکتر حمید عباس دخت که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با تقدیر و تشکر شایسته از سرکار خانم دکتر مرضیه نودهی برای تمام حمایت های مشفقانه ایشان در مسیر این پژوهش

از دوستان گرامی و عزیزم خانم ها معصومه طباطبایی، مینو کروجی، سمانه عباس آبادی و ملیحه عباسی که صمیمانه در مسیر اجرای پایان نامه از هیچ کمکی دریغ نکردند تقدیر و تشکر می کنم.

و در نهایت امید است که این خردترین، توانسته باشم بخشی از زحمات همه کسانی که در این مسیر یاری رساندند را سپاس گویم.

تعهدنامه

اینجانب راضیه نودهی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیک گیاه جو بهاره به محلول‌پاشی سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم تحت راهنمائی دکتر مهدی برادران فیروزآبادی متعهد می شوم.

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

تـاریـخ

امضای دانـشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

امروزه پژوهش‌هایی درخصوص محلول‌پاشی عناصر به‌ویژه سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم برای کاهش اثرات نامطلوب محیطی نظیر ورس در غلات و بهبود رشد و نمو آن‌ها صورت گرفته است. به همین منظور آزمایشی در جهت مطالعه تأثیر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف عناصر سیلیکات سدیم، کلریدکلسیم و سولفات پتاسیم بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه جو آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. تیمارها شامل محلول‌پاشی سیلیسیم از منبع سیلیکات سدیم در سه سطح صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل اول، کلسیم از منبع کلرید کلسیم در سه سطح صفر، ۶ و ۱۲ میلی‌مولار به‌عنوان عامل دوم و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم در دو سطح صفر و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل سوم بودند. محلول‌پاشی با غلظت‌های مورد نظر قبل از گل‌دهی انجام شد. نتایج نشان داد افزایش عملکرد دانه جو حاصل از کاربرد همزمان سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر توأم با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار چشمگیر و معادل ۶۵ درصد نسبت به شاهد بود. همچنین محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم موجب بهبود صفاتی از قبیل قطر ساقه، کلروفیل کل، مقدار کلسیم در ساقه، درصد پروتئین دانه و مقاومت برشی ساقه نسبت به شاهد گردید. برهم‌کنش سیلیکات سدیم ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نیز تأثیر مثبت بر برخی از صفات زراعی و فیزیولوژیک نظیر وزن خشک سنبله، قطر ساقه، عملکرد دانه، مقدار کاروتنوئید و آنتوسیانین برگ، میزان سیلسیم، درصد پروتئین دانه و مقاومت خمشی ساقه داشت. این ترکیب تیماری مقاومت خمشی ساقه را به‌طور متوسط ۶۵ درصد افزایش داد. محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم موجب بهبود اکثر صفات زراعی و فیزیولوژیک داشت. ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار در حضور و عدم حضور سولفات پتاسیم موجب افزایش بسیاری از صفات مهم مانند تعداد دانه در سنبله، کلروفیل کل، قند محلول برگ، میزان کلسیم ساقه، درصد پروتئین دانه و مقاومت خمشی ساقه شد. به‌طوری که تحت تأثیر این ترکیب تیماری میزان کلسیم ساقه از ۳/۵ میلی‌اکی والان در لیتر در گیاهان شاهد به ۷/۴۰ میلی‌اکی والان در لیتر افزایش یافت. همچنین درصد پروتئین دانه جو به‌طور چشمگیری بهبود یافت. به‌طور کلی در محدوده‌ی آزمایش انجام شده، سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار تأثیر بیشتری بر صفات مورد بررسی داشتند.

کلمات کلیدی: اجزای عملکرد، غلات، سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم، سولفات پتاسیم

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه و کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کلیات ۷

۱-۲-۱- جو ۷

۱-۲-۱-۱-اهمیت ۷

۱-۲-۱-۲- گیاه‌شناسی ۸

۱- ۲-۱-۳- ارزش غذایی دانه ۸

۱-۲-۱-۴- سازگاری جو ۹

۱-۲-۱-۵- نیاز غذایی ۱۰

فصل دوم: بررسی منابع ۱۳

۲-۱- محلول‌پاشی ۱۴

۲-۲- سیلیسیم ۱۵

۲-۲-۱- نقش سیلیسیم در سلامتی ۱۵

۲-۲-۲- نقش سیلیسیم در گیاهان ۱۶

۲-۲-۳- علائم کمبود سیلیس در گیاهان ۱۷

۲-۲-۴- تأثیر سیلیسیم بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان ۱۸

۲-۲-۵- تأثیر سیلیسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی ۱۹

۲-۳-کلسیم ۲۱

۲-۳-۱- نقش کلسیم در سلامتی ۲۱

۲-۳-۲- نقش کلسیم در گیاهان ۲۱
۲-۳-۳- علائم کمبود کلسیم در گیاهان ۲۳
۲-۳-۴- تأثیر کلسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی ۲۵
۲-۳-۵- تأثیر کلسیم بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان ۲۶
۲- ۴- پتاسیم ۲۷
۲-۴-۱-نقش پتاسیم در سلامتی ۲۷
۲-۴-۲- نقش پتاسیم در گیاهان ۲۷
۲-۴-۳- علایم کمبود پتاسیم در گیاهان ۲۸
۲-۴-۴- تأثیر پتاسیم بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان ۲۹
۲-۴-۵- تأثیر پتاسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی ۳۱
۲-۵- ورس ۳۱
۲-۵-۱- اثر عناصر سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم بر خوابیدگی ساقه ۳۳
فصل سوم: مواد و روش‌ها ۳۵
۳- ۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش ۳۶
۳- ۲- خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی ۳۶
۳- ۳- مشخصات طرح آزمایشی ۳۷
۳- ۴- عملیات اجرایی ۳۸

۳- ۵- داشت ۳۹
۳- ۶- اعمال تیمار ۴۰
۳- ۷- نمونه‌برداری جهت صفات زراعی و مورفولوژیک ۴۰
۳- ۸- صفات زراعی و مورفولوژی ۴۰
۳-۸-۱- صفات مرتبط با ساقه ۴۰
۳-۸-۲- وزن خشک برگ، ساقه ، غلاف و سنبله ۴۰
۳-۸-۳- شاخص سطح برگ ۴۱
۳-۸-۴- زاویه برگ پرچم ۴۱
۳-۸-۵- تعداد پنجه در بوته ۴۱
۳-۸-۶- عملکرد و اجزای عملکرد ۴۱
۳-۹- صفات فیزیولوژیک ۴۲
۳- ۹-۱- میزان کلروفیل و کاروتنوئید ۴۲
۳-۹-۲- محتوای نسبی آب برگ (RWC) ۴۳

۳-۹-۳- پایداری غشای پلاسمایی برگ ۴۳
۳-۹-۴- محتوای قندهای محلول برگ ۴۴
۳-۹-۵- میزان آنتوسیانین ۴۵
۳-۹-۶- فلاونوئید ۴۵
۳-۹-۷- درصد و عملکرد پروتئین دانه ۴۶
۳-۹-۸- پتاسیم ساقه ۴۷
۳-۹-۹- کلسیم ساقه ۴۸
۳-۹-۱۰- سیلیسیم ساقه ۴۹
۳-۱۰- مقاومت خمش و برش ۴۹
فصل چهارم: نتایج و بحث ۵۳
۴-۱- تجمع ماده خشک برگ، ساقه، غلاف و سنبله ۵۴
۴-۱-۱- وزن خشک برگ ۵۴
۴-۱-۲- وزن خشک ساقه ۵۶
۴-۱-۳- وزن خشک غلاف ۵۸
۴-۱-۴- وزن خشک سنبله ۵۸
۴-۲- شاخص سطح برگ ۶۰
۴-۳- قطر ساقه ۶۱
۴-۴- ضخامت دیواره ساقه ۶۲
۴-۵- زاویه برگ پرچم ۶۳
۴-۶- طول ساقه ۶۴
۴-۷- تعداد پنجه در بوته ۶۵

۴-۸- عملکرد و اجزای عملکرد ۶۶
۴-۸-۱- تعداد سنبله در بوته ۶۶
۴-۸-۲- تعداد دانه در سنبله ۶۶
۴-۸-۳- وزن هزار دانه ۶۸
۴-۸-۴- عملکرد ۷۰
۴-۹- رنگدانه‌های برگ ۷۲
۴-۹-۱- کلروفیل a ۷۳
۴-۹-۲- کلروفیل b ۷۳
۴-۹-۳- کلروفیل کل ۷۴
۴-۹-۴- کاروتنوئید ۷۵
۴-۱۰- مقدار نسبی آب برگ ۷۸
۴-۱۱- پایداری غشاء پلاسمایی برگ ۷۹
۴-۱۲- میزان فلاونوئید برگ ۸۰
۴-۱۳- غلظت آنتوسیانین ۸۱
۴-۱۴- قند محلول برگ ۸۲
۴-۱۵- مقدار پتاسیم در ساقه ۸۴
۴-۱۶- مقدار کلسیم در ساقه ۸۴
۴-۱۷- میزان سیلیسیم ساقه ۸۶
۴-۱۸- درصد پروتئین دانه ۸۷
۴-۱۹- عملکرد پروتئین ۸۹
۴-۲۰- صفات مکانیکی ۹۲

۴-۲۰-۱- مقاومت خمشی ساقه ۹۳
۴-۲۰-۲- مقاومت برشی ساقه ۹۵
۴-۲۱- نتیجه‌گیری ۹۷
۴-۲۲- پیشنهادات ۹۹
پیوست ۱۰۱
منابع ۱۱۳

فهرست شکل‌ها

شکل صفحه

شکل ۳-۱- نقشه کشت طرح آزمایشی مورد استفاده ۳۸

شکل ۳-۲- منحنی استاندارد قند محلول در طول موج ۴۸۳ نانومتر ۴۴

شکل ۳-۳-.استوانه‌های طلقی حاوی نمونه..... ۵۱

شکل ۳-۴- پروپ ۳ نقطه آزمایش خمش..... ۵۱

شکل ۳-۵- طرح‌واره فک برشی ۵۲

شکل ۳-۶- فک برشی متصل به دستگاه آزمون مواد..... ۵۲

شکل ۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۵۵

شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۵۶

شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۵۷

شکل ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۵۸

شکل ۴-۵- مقایسه میانگین وزن خشک سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۶۰

شکل ۴-۶- مقایسه میانگین وزن خشک سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۶۰

شکل ۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۶۱

شکل ۴-۸- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۶۲

شکل ۴-۹- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت‌تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی عناصر سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۶۳

شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین ضخامت دیواره ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۶۴

شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین زاویه برگ پرچم تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۶۶

شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۶۷

شکل ۴-۱۳- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۶۸

شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله تحت‌تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی عناصر سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۶۸

شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۷۰

شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۷۰

شکل ۴- ۱۷- مقایسه میانگین عملکرد تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۷۲

شکل ۴- ۱۸- مقایسه میانگین عملکرد تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۷۲

شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۷۴

شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۷۶

شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۷۸

شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت‌تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۷۸

شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۷۹

شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم..... ۸۰

شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین غلظت آنتوسیانین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۸۲

شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین غلظت آنتوسیانین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم وسولفات پتاسیم..... ۸۳

شکل ۴- ۲۷- مقایسه میانگین قند محلول تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۸۴

شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین قند محلول تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۸۴

شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین مقدار کلسیم در ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۸۷

شکل ۴-۳۰- مقایسه میانگین میزان سیلیسیم ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۸۸

شکل ۴-۳۱- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۹۰

شکل ۴-۳۲- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۹۰

شکل ۴-۳۳- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۹۱

شکل ۴-۳۴- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم ۹۲

شکل ۴-۳۵- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۹۲

شکل ۴-۳۶- مقایسه میانگین مقاومت خمشی تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۹۴

شکل ۴- ۳۷- مقایسه میانگین مقاومت برشی تحت‌تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی عناصر سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۹۶

فهرست جداول

جدول صفحه

جدول ۱-۱- مواد غذایی موجود در جو (گرم در ۱۰۰گرم دانه) ۹

جدول ۱- ۲- املاح معدنی و ویتامین‌های موجود در جو (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم دانه) ۹

جدول ۳-۱- خصوصیات خاک محل آزمایش ۳۶

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات تجمع ماده خشک در برگ، ساقه، غلاف و سنبله جو تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم وسولفات پتاسیم ۱۰۲

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ، ساقه، غلاف و سنبله تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۰۳

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات شاخص سطح برگ، قطر ، ضخامت دیواره و طول ساقه و زاویه برگ جو تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۰۴

جدول پیوست ۴- میانگین مربعات تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد جو تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۰۵

جدول پیوست ۵- مقایسه میانگین قطر ساقه، تعداد پنجه در بوته و تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول-پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۰۶

جدول پیوست ۶- میانگین مربعات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۰۷

جدول پیوست۷- مقایسه میانگین کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۰۸

جدول پیوست ۸- میانگین مربعات محتوی نسبی آب برگ، پایداری غشاء پلاسمایی،آنتوسیانین، فلاونوئید و قند محلول تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۰۹

جدول پیوست ۹- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی، پروتئین دانه، آنتوسیانین و قند محلول تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۱۰

جدول پیوست ۱۰- میانگین مربعات میزان پتاسیم ، کلسیم و سیلیسیم ساقه و درصد و عملکرد پروتئین تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۱۱

جدول پیوست ۱۱- مقایسه میانگین میزان پتاسیم، کلسیم، سیلسیم و عملکرد پروتئین تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول-پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۱۲

جدول پیوست ۱۲- مقایسه میانگین مربعات مقاومت خمشی و برشی ساقه تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۱۳

جدول پیوست ۱۳- مقایسه میانگین مقاومت خمشی ساقه جو تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم ۱۱۴

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

امنیت غذایی یکی از نیازهای اساسی هر جامعه است که هرگز نمی‌توان آن را نادیده گرفت. افزایش روزافزون جمعیت انسان‌ها در جهان به‌گونه‌ای است که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به حدود ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید و مشکلات ناشی از افزایش گسترده آسیب به محیط زیست به دلیل شیوه‌های نامناسب کشاورزی، تغییرات الگوی کشت، کشت در مناطق حاشیه‌ای، تغییرات اقلیمی و... به زودی امنیت غذایی جهان را به مخاطره می‌اندازد (گلیک، ۲۰۱۴). شایان ذکر است که این تغییرات به‌وجود آمده سبب کاهش عملکرد در بسیاری از غلات مهم مانند گندم، ذرت، برنج و جو شده است (کارمن و روبرتو، ۲۰۱۰). غلات، به‌عنوان ماده اصلی غذایی و از محصولات عمده و استراتژیک کشاورزی محسوب می‌شوند و در امنیت غذایی مردم جهان نقش اساسی دارند (نصابیان وهمکاران، ۱۳۹۳).

جو (*Hordeum vulgare* L.) از مهمترین گونه‌های زراعی غلات است که دامنه وسیعی از سازگاری را به محیط‌های مختلف از خود نشان می‌دهد. سطح زیر کشت این گیاه در ایران حدود ۱/۶ میلیون هکتار با تولید سالیانه حدود سه میلیون تن است که از نظر آماری دومین گیاه زراعی کشت شده بعد از گندم می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۶). این گیاه به دلیل ارتباط مستقیم با غذای انسان و همچنین استفاده از مالت جو در صنایع و نیز کاربرد در داروسازی، تهیه نوشابه‌های الکلی و غیرالکلی و ارتباط غیرمستقیم با غذای انسان مانند استفاده به‌عنوان غذای دام و در نهایت تأمین پروتئین مورد نیاز جامعه بسیار حائز اهمیت است (مخلصیان و همکاران، ۱۳۹۳). خوابیدگی بوته (ورس) نیز یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد دانه در مورد غلات می‌باشد. در تراکم-های بالای گیاهی، خوابیدگی بوته سبب از بین رفتن ساختمان طبیعی سایه‌انداز گیاهی و کاهش میزان فتوسنتز و ماده خشک آن می‌گردد (هیتاکا و کوبایاشی، ۱۹۹۲).

از میان عناصر غذایی که با خوابیدگی بوته ارتباط مستقیم دارند، می‌توان به سیلیس اشاره کرد. اثرات سودمند کاربرد عناصر در خاک، برای بهبود رشد گیاهان، بیشتر از دو هزار سال است که در کشاورزی شناخته شده است (مارچنر، ۱۹۸۵). اگرچه سیلیس به‌عنوان یک عنصر ضروری در تغذیه گیاهان عالی مورد توجه قرار نگرفته است، ولی ثابت شده است که جهت رشد و نمو سالم بسیاری از گونه‌های گیاهی، به‌ویژه غلات مفید است (کوزوبریوخوف و همکاران، ۲۰۰۸). تمامی عناصر برای رشد مهم هستند و کمبود هر عنصر در محیط رشد، اثر نامطلوب بر جای می‌گذارد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۲). سیلیس دومین عنصر فراوان پوسته زمین بعد از اکسیژن است (کورالس و همکاران، ۱۹۹۷) و به‌طور کلی نقش‌های متعددی را به این عنصر ارتباط داده‌اند که از آن جمله می‌توان به بهبود توازن مواد غذایی،کاهش سمیت مواد معدنی، بهبود خصوصیت مکانیکی بافت‌های گیاه و افزایش مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده اشاره کرد (چریف و همکاران، ۱۹۹۴ و کورالس وهمکاران، ۱۹۹۷). تحقیقات نشان داده است که سیلیس تنش‌های غیرزنده شامل تنش‌های شیمیایی (شوری، سمیت فلزات سنگین) و تنش‌های فیزیکی (خشکی، دمای بالا، یخزدگی و اشعه ماوراءبنفش) را کاهش می‌دهد (چن و همکاران، ۲۰۱۱؛ گاگونانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ احمد و همکاران، ۲۰۱۱ و کیم و همکاران، ۲۰۱۱). نقش سیلیس در کاهش خسارات اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در غلات به اثبات رسیده است. در پژوهش‌های صورت گرفته به اثرات مفید سیلیس در زمان بروز تنش‌های محیطی اشاره شده است. این عنصر با افزایش در فعالیت آنزیم‌های ضداکسنده و بالا رفتن محتوای اسمولیت‌ها، نقش مهمی را در ایجاد تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان ایفا می‌کند (لئو و همکاران، ۲۰۰۹ و لی و همکاران، ۲۰۱۰).

در کشور ما در بیشتر موارد توصیه کودها بدون توجه به نیاز گیاه صورت می‌گیرد و به تغذیه صحیح گیاه اهمیت داده نمی‌شود. اشکالی که در توصیه کودها وجود دارد این است که تا گیاه زراعی نشانه‌های کمبود را نشان ندهدکودی مصرف نمی‌شود که این اندیشه‌ای نادرست است زیرا در این شرایط عملکرد پایین می‌آید و کیفیت محصول کاهش می‌یابد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). علاوه بر نوع کود و زمان مصرف آن، روش مصرف

نیز نقش مهمی در افزایش واکنش گیاه دارد (پارسا و باقری، ۱۳۸۷). محلول‌پاشی عناصر غذایی از مؤثرترین روش‌های تأمین مواد غذایی است و تأثیر بیشتری نسبت به روش‌های کاربرد خاکی به‌ویژه در شرایط نامطلوب خاک دارد (اردال و همکاران، ۲۰۰۴). در شرایط مزرعه که فاکتورهای تأثیرگذار روی جذب مواد غذایی بی‌ثبات و متغیر هستند، کوددهی برگی یک امتیاز محسوب می‌شود (موحدی دهنوی و همکاران، ۲۰۰۹). تاکنون مهم-ترین استفاده از برگ‌پاشی در کاربرد ریزمغذی‌ها بوده است (موحدی دهنوی و همکاران، ۲۰۰۹).

یکی از عناصر مهم و ضروری برای گیاه کلسیم است. مشکل اصلی کمبود کلسیم انتقال آن در داخل گیاه می‌باشد، در این راستا، تغذیه برگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با تغذیه برگی می‌توان عناصر غذایی را مستقیماً در اختیار شاخ و برگ یا میوه قرار داد (نلسن، ۲۰۰۵). در بعضی از موارد به خصوص زمانی‌که پدیده ناسازگاری مواد از طریق ریشه اشکال ایجاد می‌کند، تغذیه برگی اهمیت زیادی پیدا می‌کند (نلسن، ۲۰۰۵). کلسیم از جمله مهم‌ترین عناصر مربوط به مقاومت و استحکام دیواره سلولی شناخته می‌شود (ملکوتی و طباطبایی، ۱۹۹۸). پیوند کلسیم به‌صورت پکتات در تیغه‌های میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت گیاهی ضروری است. تخریب پکتات‌ها به‌وسیله آنزیم پلی‌گالاکتروناز صورت می‌گیرد. زمانی که کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آن‌ها ممانعت می‌شود (ساریخانی و همکاران، ۲۰۱۰). تحقیقات نشان داده است که محلول‌پاشی کلسیم نقش مهمی در بهبود استحکام سلول‌های گیاهی و تأخیر در فرآیند پیری ایفا می‌کند (فرگوسن، ۱۹۸۴). به‌طور کلی کلسیم مقاومت اندام‌های گیاهی را در برابر صدمات مکانیکی، شکستگی، آفات و بیماری‌ها و در نهایت مقاومت گیاه را نسبت به خوابیدگی بوته افزایش می‌دهد. کلسیم در ساخت آنزیم‌های گیاهی دخالت دارد و این عنصر موجب رشد طولی ریشه و شاخه‌ها می‌گردد (پیرمرادیان، ۱۳۷۶). کلسیم نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کند. این عنصر با اتصال به فسفولیپیدها، لایه‌های چربی را پایدار می‌کند و در نهایت موجب یکپارچگی ساختار غشاءهای سلولی می‌شود. نقش عمده کلسیم از نظر کمی در ترکیب ساختار تیغه میانی دیواره سلولی است. کلسیم وقتی با جزء اسیدی پکتین‌های ژله مانند پیوند برقرار

می‌کند نمک غیرمحلولی را تشکیل می‌دهد و بدین ترتیب ساختاری که قبلا نیمه سیال بود به‌صورت سخت در می‌آید. کلسیم همچنین نقش مهمی در تنظیم نفوذپذیری انتخابی غشاء سلولی دارد. وقتی گیاه در محیط فاقد کلسیم رشد می‌کند غشاهای سلولی تراوا می‌شوند و کارآیی خود را در جلوگیری از انتشار آزاد یون‌ها از دست می‌دهند (مجتهدی و لسانی، ۱۳۸۴). کلسیم همانند یک هورمون موجب تنظیم فعالیت‌های مختلف سلول‌های گیاهی می‌گردد. یکی از نقش‌های آن تنظیم و فعال نمودن پمپ پروتئینی است که در جذب و حرکت عناصر غذایی در ریشه و سایر سلول‌های گیاهی دخالت دارد. این عنصر همچنین از طریق بهبود کار سلول‌های روزنه‌ای و نیز تولید نوعی پروتئین به‌عنوان پروتئین تنش گرمایی، موجب تحمل گیاه در برابر دماهای بالا می‌گردد (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۷۷). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داد که کاربرد کلسیم اثر نامطلوب تنش‌های غیر-زیستی از جمله شوری (کایا و همکاران، ۲۰۰۲)، خشکی (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۱)، گرما (جیانگ و هونگ، ۲۰۱۶) و کادمیوم (سوزوکی، ۲۰۰۵) را در گیاهان کاهش می‌دهد. اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش-های غیرزیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، انباشت اسمولیت‌ها، بهبود محتوای 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 شد (کورتیکا و همکاران، ۲۰۰۸).

پتاسیم دومین عنصر پرمصرف پس از نیتروژن است که به مقدار زیادی در بافت‌های گیاهی یافت می‌شود (لستر و همکاران، ۲۰۰۵). اگرچه پتاسیم از اجزاء تشکیل دهنده‌ی مولکول‌های آلی یا ساختار گیاه نیست و در گیاه به‌صورت یون آزاد می‌باشد، ولی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی دخالت دارد. این عنصر در رشد، تولید محصول، بهبود کیفیت وکاهش اثرات سوء تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاه نقش اساسی دارد (لستر و همکاران، ۲۰۰۵). پتاسیم علاوه بر ایفای نقش در تنظیم روزنه‌ها و کنترل تعرق و فتوسنتز، در فسفوریلاسیون (لستر و همکاران، ۲۰۰۶)، افزایش سرعت فتوسنتز کلروپلاست (لین و همکاران، ۲۰۰۴)، انتقال

مواد ساخته شده گیاهی از بافت‌های منبع به بافت‌های مخزن، فعالیت‌های آنزیمی، حفظ آماس سلول و مقاومت به تنش‌ها مؤثر است (لستر و جیفون، ۲۰۰۹). نیاز پتاسیم برای رشد مطلوب گیاه در حدود ۲ تا ۵ درصد وزن خشک بخش‌های رویشی، میوه‌های گوشتی و غده‌هاست (خلدبرین و اسلام‌زاده، ۱۳۸۰). کمبود پتاسیم سبب کاهش شدید در تثبیت CO_2 فتوسنتزی و اختلال در توزیع و بهره‌وری مواد فتوسنتزی می‌شود (ککماک، ۲۰۰۵). فقدان پتاسیم به‌طور بارزی منجر به تولید گیاهان کوتاه قامت با ساقه‌های ضعیف می‌شود که به آسانی ورس می‌کند (جوما، ۲۰۰۶). ملکوتی و طباطبایی (۱۳۷۷) نقش برجسته‌ای برای پتاسیم در فیزیولوژی و افزایش عملکرد برنج قائل هستند و این نقش را شامل افزایش اندازه و وزن دانه، افزایش عملکرد محصول نسبت به بقیه عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر، افزایش مقاومت به شرایط آب و هوایی نامطلوب، افزایش مقاومت گیاه به بیماری‌هایی نظیر بلاست، زنگ، لکه برگی، پوسیدگی ساقه و افزایش استحکام ساقه و در نتیجه کاهش ورس می‌دانند. مطالعات بسیاری نشان داد که محلول‌پاشی پتاسیم روی گیاه سبب افزایش رشد رویشی، کیفیت میوه، عملکرد و عمر انبارداری میوه در پیاز (گونامه و همکاران، ۲۰۱۱)، زیتون (حجازی و همکاران، ۲۰۱۱)، فلفل شیرین (ال‌بسیونی و همکاران، ۲۰۱۰) و گوجه فرنگی (تابر، ۲۰۰۶)می‌شود.

همان‌گونه که تأکید شد یکی از مشکلاتی که گیاهان خانواده غلات به‌ویژه گیاه جو را تهدید می‌کند، خوابیدگی ساقه است. این مشکل معمولاً به دلیل مصرف بالای نیتروژن و عدم رعایت تراکم مناسب کاشت توسط کشاورزان بروز می‌یابد که عملکرد این گیاهان را به شدت کاهش می‌دهد و گاهی برداشت مکانیزه آن‌ها را غیرممکن می‌سازد. این تهدید نه‌تنها درآمد کشاورز را کاهش می‌دهد بلکه به دلیل اهمیت استراتژیک خانواده غلات مشکلاتی را برای کشور رقم خواهد زد. لذا ضرورت دارد تحقیقاتی در زمینه کاهش ورس و صدمه ناشی از آن به‌ویژه از طریق افزایش استحکام ساقه انجام شود. با توجه به مطالبی که در خصوص مزایای عناصر سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم در خصوص تقویت ساختار ساقه و نیز خصوصیت ضدتنشی این عناصر بیان شد اینگونه

استنباط می‌شود که کاربرد این عناصر ممکن است در نیل به هدف مذکور مؤثر باشد. لذا در این تحقیق سعی شد که تأثیر این عناصر در قالب ترکیبات تیماری بر گیاه جو مورد بررسی قرار گیرد.

اهداف پژوهش:

۱- بررسی ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف عناصر سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم از لحاظ تأثیرگذاری بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گیاه جو

۲- بررسی تأثیر عناصر سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم بر استحکام ساقه جو

۳- یافتن بهترین غلظت عناصر سیلیسیم وکلسیم از لحاظ تأثیرگذاری بر رشد و عملکرد گیاه جو

۱-۲- کلیات

۱-۲-۱- جو

۱-۲-۱-۱- اهمیت

جو (*Hordeum vulgare* L.) از خانواده گندمیان، گیاهی علفی، تک لپه‌ای، یک‌ساله و یکی از غلات دانه ریز مهم است. طی سال‌های گذشته تولید جهانی این غله بیش از صد وچهل میلیون تن گزارش شده است. درحالی‌که بر اساس آمار رسمی خوار و بار سازمان ملل (فائو، ۲۰۱۶) ایران با ۳/۲ میلیون تن بعد از ایالات متحده در جایگاه هشتم قرار گرفت. همچنین گیاه جو با توجه به نقشی که در تغذیه انسان و دام دارد تولید آن اهمیت ویژه‌ای دارد (خدابنده، ۱۳۷۴). همچنین دانه غلات به‌خصوص جو به‌عنوان منبع غالب تأمین انرژی در جیره نشخوارکنندگان در اغلب نقاط دنیا به‌ویژه کشور ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. علی‌رغم درصد کم پروتئین دانه جو، به دلیل میزان مصرف زیاد این ماده در جیره غذایی دام، تأمین قسمت قابل توجهی از پروتئین جیره را به خود اختصاص می‌دهد (کمپلینگ، ۱۹۹۱).

۱-۲-۱-۲- گیاه‌شناسی

ریشه جو مانند گندم افشان است و تا حدود ۴۰ سانتی‌متری در اطراف پراکنده می‌شود. ساقه جو مانند سایرگندمیان، از میان‌گره‌های توخالی تشکیل شده است. از محل گره‌های واقع در سطح خاک ریشه و ساقه‌های ثانویه (پنجه) تولید می‌کند که این پنجه‌ها در جوهای دو ردیفه بیش‌تر از جوهای شش ردیفه است (در شرایط یکسان رشد). ارتفاع ساقه جو برحسب شرایط محیطی، بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر است. این ساقه بین ۵ تا ۱۰ برگ دارد که به‌طور متناوب در دو طرف ساقه قرار گرفته‌اند. برگ جو هم مانند سایر گندمیان، دارای غلاف، پهنک، زبانک و گوشواره است. غلاف علاوه بر انجام فعالیت فتوسنتزی، در استحکام ساقه نیز نقش دارد. در امتداد ساقه، محور سنبله قرار دارد. سنبله از مجموع سنبلچه‌ها و هر سنبلچه از یک گلچه تشکیل شده است. دانه، داخل گلچه تشکیل می‌گردد. پوشینک‌های داخلی و خارجی گلچه، هنگام رسیدن دانه به آن چسبیده و حتی موقع برداشت هم جدا نمی‌شوند. زمانی که دانه به تدریج رطوبت خود را از دست می‌دهد، حجم آن کم می‌شود و پوشینک داخلی چین می‌خورد. میزان این چین‌خوردگی، مرغوبیت محصول جو را نشان می‌دهد. بدین ترتیب که هرچه چین‌ها بیشتر باشد به‌همان اندازه پوشینک نازک‌تر است و در نتیجه بهتر می‌توان از این نوع دانه جو در صنایع تخمیر استفاده نمود چون نرم‌تر است (خدابنده، ۱۳۷۴).

۱-۲-۱-۳- ارزش غذایی دانه

ساختمان شیمیایی دانه جو به عوامل متعددی همچون رقم، نوع گیاه و شرایط محیطی بستگی دارد و به‌طورکلی شامل قندها، پروتئین، لیپید و خاکستر می‌باشد. کربوهیدرات‌ها ترکیبات اصلی دانه جو می‌باشند که بیش از ۸۰ درصد وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهند. بیشترکربوهیدرات‌های موجود در جو لخت را نشاسته تشکیل می‌دهد و سایرکربوهیدرات‌ها شامل پنتوزان، بتاگلوکان، سلولز و میزان کمی از تک قندی‌ها و دو قندی‌ها می‌باشد. جو لخت از نظر میزان بتاگلوکان درسطح پایین‌تری قرار دارد و حداکثر مقدار آن به حدود ۱۶ درصد می‌رسد. در حالی‌که میزان آن در جوهای معمولی بین ۳۰ تا ۳۵ درصد می‌باشد. بخش اعظم سلولز در دانه و

پوسته جو قرار دارد که به‌وسیله آسیاب نمودن کاهش می‌یابد. دانه جو معمولاً بین ۲ تا ۴ درصد لیپید دارد که مهمترین آن تری‌گلیسیریدها هستند که به میزان ۱/۷۹ تا۱/۷۳ درصد از کل لیپیدها را شامل می‌شود. ۷۷ درصد لیپیدها در آندوسپرم ذخیره شده‌اند. میزان پروتئین در جو متفاوت و از ۸ درصد در جو معمولی تا ۲۰ درصد در جو لخت متغیر است. ارزش غذایی جو بالاتر از ذرت است. درصد فیبر پایین و پروتئین بالای آن از مزیت‌های این گیاه می‌باشد (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۴). برخی از خصوصیات مرتبط با ارزش غذایی دانه جو در جدول ۱-۱ و ۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۱- مواد غذایی موجود در جو (گرم در ۱۰۰ گرم دانه)

آب	پروتئین	کربوهیدرات	لیپید
۱۱	۸	۷۸	ناچیز

جدول۱-۲- املاح معدنی و ویتامین‌های موجود در جو (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم دانه)

کلسیم	فسفر	آهن	سدیم	پتاسیم	ویتامین B_1	ویتامین B_2	ویتامین B_3
۱۶	۱۸۹	۲	۳	۱۶۰	۱۲	۵	۳

۱-۲-۱-۴- سازگاری

جو یکی از سازگارترین غلات است. این گیاه نسبت به گندم در برابر خشکی مقاوم‌تر است و بنابراین در آب و هوایی که آب، موجب محدودیت تولید غلات می‌شود، جو می‌تواند بیشترین محصول را تولید کند. در شرایط دیم هم عملکرد جو بهتر از گندم و چاودار می‌باشد. تولید جو در انواع زمین‌ها با بارندگی سالیانه ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر امکان‌پذیر است. جو نسبت به دمای بالا (بیش از ۳۲ درجه سانتی‌گراد) مقاوم است. ولی در شرایط آب و هوای مرطوب، در برابر دمای بالا بسیار حساس است. دانه جو نسبت به گندم برای جوانه زدن به رطوبت

کمتری نیاز دارد. در مواردی که پس از جوانه زدن دانه، گیاه به دلیل کمبود رطوبت خشک شود، با فراهم شدن شرایط مساعد رطوبتی، گیاه رشد مجدد خود را با شدت بیشتری آغاز می‌نماید. جو از لحاظ مقاومت به سرما، نسبت به گندم در ردیف پایین‌تری قرار می‌گیرد. بنابراین به نظر می‌رسد که کشت جوی پاییزه در مناطق سردسیر چندان اطمینان بخش نباشد. در مقایسه با سایر غلات، جو نسبت به شوری خاک، چه در مرحله جوانه-زنی و چه در مراحل دیگر مقاوم‌تر است. جو در شرایط آب هوایی مساعد، در خاک حاصلخیز که قابلیت نگه‌داری آب در آن زیاد و سبک باشد و همچنین در خاک‌هایی که pH آن‌ها بین ۷ تا ۸ باشد، تولید می‌شود. بهترین خاک برای این گیاه خاک‌های لیمونی است و در این خاک‌ها جو بهترین نتیجه را می‌دهد. حساسیت جوهای پاییزه در مقابل خاک بیش از جوهای بهاره می‌باشد زیرا سیستم ریشه آن‌ها گسترده تر و قوی تر است (عبدالرحمانی و همکاران، ۲۰۰۷).

۱-۲-۱-۵- نیاز غذایی

مصرف ریز مغذی‌ها علاوه بر نقشی که در افزایش عملکرد کیفی و کمی محصولات کشاورزی دارند، در سلامتی انسان و دام که از مواد اولیه گیاهی استفاده می‌کنند نیز تأثیر به‌سزایی دارند و این به دلیل وارد شدن این عناصر به قسمت‌های خوراکی گیاهانی مانند گندم، جو، حبوبات و قسمت‌های سبز این گیاهان است که به-عنوان غذای روزمره مصرف می‌شود. لذا یکی از راه‌های ساده و اقتصادی برای نیل به خودکفایی و جامعه‌ای سالم و تندرست، اضافه کردن عناصر ریزمغذی به خاک و یا مصرف آن به‌صورت محلول‌پاشی می‌باشد تا به این ترتیب علاوه بر افزایش تولید، غلظت عناصر ریزمغذی را در محصولات کشاورزی افزایش داد (قادری و ملکوتی، ۱۳۸۷).

جو هم مانند سایر گیاهان خانواده گندمیان، مراحل رشد مختلفی دارد که زمان هر مرحله تحت تأثیر عوامل مختلف قرار می‌گیرد. یکی از عوامل مؤثر در رشد گیاه، خاک و البته استفاده از کود می‌باشد. نیازهای غذایی جو مشابه گندم است. پایین بودن میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، می‌تواند عملکرد جو را محدود نماید. البته استفاده از موادغذایی به منظور تولید حداکثر محصول، باید بر مبنای آب قابل مصرف برای گیاه باشد. همچنین

برای تولید جو به عنوان خوراک دام، میزان کود مصرفی معمولاً بیشتر از کود مصرفی برای گیاه جو است که برای مصارف دیگر از جمله فراورده‌های تخمیری کشت می‌شود. میزان مصرف کودهای شمیایی برای جو با توجه نوع اقلیم متفاوت است و بین ۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منابع مختلف، ۲۵ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل، ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم، می‌تواند عملکرد جو را به نحو مطلوبی افزایش دهد. همچنین افزودن ۵ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار کلسیم و ۳ تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد می‌تواند عملکرد گیاه را بهبود بخشد (بی‌نام، ۱۳۹۶).

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- محلول‌پاشی

کوددهی برگی در محلول‌پاشی عناصر غـذایی روی بـرگ‌هـا و ساقه‌های گیاه و جذب آن‌ها از این مکان‌ها است (کوپر، ۲۰۰۳). کاربرد برگی می‌تواند دسترسی گیاهان به عناصر غذایی را برای به‌دست آمدن عملکرد بالا تضمین کند. از دید اکولـوژیکی، کـوددهی برگـی قابل‌قبول‌تر است چون مقادیر کمتر عناصر غذایی برای مصرف سریع به‌وسیله گیـاه، فـراهم مـی‌شـود (استمپر و همکاران، ۱۹۹۸). محلول‌پاشی روی گیاهان که تغذیه برگی نیز نامیده می‌شود در برخی موارد از مصرف عناصر در خاک بهتر و مفیدتر است. مانند شرایط آهکی یا قلیایی خاک‌های زراعی که کود مصرفی در خاک تثبیت و غیرقابل استفاده برای گیاه می‌گردد. بنابراین در مزرعه که فاکتورهای تأثیرگذار روی جذب موادغذایی، بی‌ثبات و متغیر هستند، کوددهی برگی یک امتیاز محسوب می‌شود (موحدی دهنوی و همکاران، ۲۰۰۹). این روش بهره‌وری از عناصر غذایی را سریع‌تر و رفع کمبودهای مشاهده شده را در مدتی کمتر نسبت به تیمارهای امکان‌پذیر می‌کند. برای کارایی بیشتر، دو یا سه برگ‌پاشی در فواصل کوتاه زمانی لازم است، به‌ویژه وقتی که کمبود موجب توقف شدید رشد گیاه شده باشد (ملکوتی و ریاضی همدانی، ۱۳۷۱). مشکل اصلی در محلول‌پاشی سوختگی برگ است. اگر فشار اسمزی محلول برگ‌پاشی شده بیش از فشار اسمزی شیره سلولی باشد، آب از نسوج گیاهی خارج و سوختگی حاصل می‌گردد (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳). محلول‌پاشی بهتر است در صبح یا عصر که شدت نور خورشید کمتر است، صورت پذیرد. دمای محیط باید کمتر از ۲۹ درجه سانتی‌گراد باشد. در حالی‌که رطوبت نسبی بالاتر از ۷۰ درصد مطلوب است. هنگام محلول‌پاشی نباید سرعت باد زیاد باشد و به‌منظور تأثیر بیشتر، توصیه می‌شود پس از محلول‌پاشی، مزرعه یا باغ آبیاری شوند. اسیدیته محلول نیز باید کنترل شود و معمولاً مقدارمطلوب آن بین ۶ تا ۸ بیان می‌شود (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۹ و خوش‌گفتارمنش، ۱۳۸۶).

اپستین (۱۹۹۹) اظهار داشت که محلول‌پاشی سیلیس سبب بهبود رشد و نمو چندین گونه گیاهی شامل برنج، نیشکر، گندم و خیار شد. سان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که سه بار محلول‌پاشی برنج با نیترات

پتاسیم از نظر عملکرد و هزینه بهتر از مصرف خاکی این نوع کود است. جایاراج و چاندراساخاران (۱۹۸۹) که محلول پاشی برنج در مرحله آغازش خوشه، مرحله چکمه‌زنی و مرحله ۵۰ درصد گلدهی با کلرور پتاسیم به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد دانه و بهبود کیفیت آن می‌شود. نارانگ و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که تقسیط کلرور پتاسیم به صورت مصرف خاکی و محلول‌پاشی، عملکرد بیشتری را نسبت به مصرف تمام کود در خاک می‌شود، تولید می‌کند. نتایج تحقیقات محققین حاکی از تأثیر مثبت کاربرد محلول‌پاشی کلسیم به دلیل افزایش جذب این عنصر در تنش‌های محیطی می‌باشد (کپدویل و همکاران، ۲۰۰۵). استفاده از کلسیم به صورت محلول‌پاشی روی گیاه به دلیل افزایش کارایی جذب عناصر روش مناسبی می‌باشد (بنزو و کورتز، ۲۰۱۲).

۲-۲- سیلیسیم

۲-۲-۱- نقش سیلیسیم در سلامتی انسان

سیلیسیم به‌عنوان یک ماده معدنی زیباکننده شناخته شده است و مزایای بسیاری برای سلامتی انسان دارد. این ماده نه‌تنها می‌تواند بافت‌های همبند و استخوان‌ها را تقویت کند بلکه در مراقبت از ناخن‌ها، مو و پوست بسیار مفید است. این ماده همچنین نقش بسیار مهمی در جلوگیری از آرتروز، بی‌خوابی، اختلالات پوستی و سل بازی می‌کند. سیلیسیم دومین عنصر در دسترس است که در پوسته زمین یافت می‌شود و یکی از مهم‌ترین عناصری است که در دستگاه‌های مرتبط با فناوری و نیمه رساناها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیلیس یک ماده معدنی حیاتی مورد نیاز برای بدن است که برای داشتن مفاصل قوی و انعطاف پذیر، پوستی درخشنده و استخوان‌های قوی بسیار ضروری است. این ماده همچنین باید در رژیم غذایی افراد حضور داشته باشد. زیرا مزایای کلی ویتامین D، گلوکزامین و کلسیم را افزایش می‌دهد(ریلی، ۲۰۱۴).

۲-۲-۲- نقش سیلیسیم در گیاهان

سیلیسیم دومین عنصر فراوان پوسته زمین بعد از اکسیژن است (آدریس و همکاران، ۲۰۱۵). دی‌اکسید سیلیسیم در برگیرنده ۵۰ تا ۷۰ درصد توده خاک است. درنتیجه همه‌ی ریشه‌ی گیاهان در خاک مقداری سیلیس در بافت خود دارند. با این وجود، سیلیسیم یک عنصر اساسی برای رشد گیاه تلقی نشده است (ما، ۲۰۱۰). از آن جایی‌که فراوانی این عنصر به دلیل نشانه‌های قابل مشاهده در طبیعت، کمبود یا سمی بودن آن آشکار نیست به‌نظر می‌رسد فیزیولوژیست‌های گیاهی آن را نادیده می‌گیرند (ژائو و همکاران، ۲۰۰۶). این در حالی است که جیان‌فنگ و همکاران (۱۹۸۹) نشان دادند که کاربرد سیلیسیم طی رشد زایشی و در مرحله گلدهی گیاه برنج بیشترین تأثیر را در افزایش وزن هزاردانه، عملکرد و تعداد سنبله دارد. مالی و همکاران (۲۰۰۸) اثرات سیلیسیم در غلظت‌های مختلف را روی رشد دانه، تولید ماده خشک و تغذیه معدنی لوبیای چشم بلبلی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلیسیم در مقادیر کم به‌طور معنی‌داری تعداد دانه، وزن تر و خشک دانه، عملکرد نسبی ریشه و ساقه، غلظت‌های نیتروژن، فسفر و کلسیم را افزایش داد. مطالعات ما (۲۰۱۰) نشان داد که سیلیس نقش مهمی در مقاومت به تنش‌های محیطی دارد. ذخیره سیلیس به شکل ژل سیلیکا در ساقه غلات سبب استحکام آن‌ها می‌شود و در نتیجه موجب کاهش ورس خواهد شد. فلاح (۲۰۱۲) گزارش کرد که مصرف سیلیسیم به صورت کود باعث افزایش تحمل گیاه برنج نسبت به ورس می‌شود. سیلیسیم، سمیت آهن و منگنز را در گیاه برنج کاهش می‌دهد (مارچنر، ۱۹۸۵). کودهای سیلیکاتی می‌توانند آلودگی‌های زیستی را کاهش دهند و با کاهش جذب فلزات در گیاهان از طریق مکانیزم‌های زیر به گیاهان کمک می‌کنند.

۱- افزایش توانایی ریزوسفر گیاه برای اکسیداسیون فلزات (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). ۲- واکنش بین یون‌های سیلیکات و فلزات و تشکیل رسوب (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۷ و ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). ۳- افزایش pH گیاه (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۵). سیلیس در گیاهان به‌صورت اسید منوسیلیسیلیک و نیز اسید اورتوسیلیسیلیک به‌وسیله انتشار و نیز به‌وسیله تأثیر فشار تعرقی ریشه از طریق جریان توده‌ای جذب می‌شود (الوید و گرین،

۱۹۷۹). ما و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند کـه، سیلیس درون آونـد آبکـش بـه شکل مونوسیلیک جذب شده و توسط ژن Lsi6 کنتـرل مـی‌شـود. یوگنـدرا و همکـاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که، مصرف توأم نیتروژن و سیلیس بر رشد گیاه برنج مؤثر اسـت. فـلاح و الیاسی (۲۰۱۲) نتیجه گرفتند که، بـا افـزایش مصـرف سیلیس در گلـدان، غلظت سیلیس برگ افزایش یافت و تأثیر سیلیس در آزمایش‌های گلدانی بیشـتر از آزمـایش مزرعـه‌ای بود. همچنین با مصرف کود سیلیکاته وزن خشک کل و عملکرد برنج رقم طارم هاشمی افزایش یافت. در گیاهانی مانند برنج، سیلیسیم با افـزایش حجـم و اسـتحکام فضـای سرشار از هوا در ریشه‌ها و ساقه‌ها و در نتیجه افزایش جابجایی اکسیژن از ساقه‌ها به ریشه‌های غرقـاب، قدرت اکسیدکنندگی ریشه‌ها را نیز افزایش می‌دهد (سونت، ۱۹۹۷). همچنین سیلیس موجب ضخیم‌تر شدن ساقه گل ژربرا (*Gerbera hybrid* L.) شد که این نقش مثبت سیلیسیم سبب استحکام ساقه این گیاه شد (کامنیدو و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۲-۳- علائم کمبود سیلیس در گیاهان

در اثر کمبود این عنصر گیاه به انواع بیماری‌ها حساس می‌شود. مثلاً دانه برنج دارای لکه قهوه‌ای می‌شود. هر چه نسبت Sio_2/N بزرگتر باشد گیاه سالم‌تر است.

قابلیت جذب سیلیس با افزایش pH خاک کاهش می‌یابد. یعنی هرچه محیط قلیایی‌تر گردد جذب آن مشکل می‌گردد. کمبود سیلیس بیشتر در خاک‌های شنی، باتلاقی و مردابی به‌وجود می‌آید. همچنین مصرف زیاد علف-کش‌ها اختلالاتی در جذب سیلیس توسط گیاه به‌وجود می‌آورد لذا باید از مصرف بیش از حد علف‌کش‌ها خود-داری کرد. در اثر کمبود سیلیسیم برگ‌ها و ساقه‌ها نرم و پژمرده و درنتیجه موجب افزایش ورس می‌شود. کاهش فعالیت فتوسنتزی، کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد، افزایش حساسیت به بیماری‌ها مانند بلاست برنج و یا لکه قهوه‌ای، در کمبود شدید سیلیسیم دیده می‌شود. گیاهان مبتلا به کمبود سیلیسیم به شدت به ورس حساس می‌باشند (مشهدی جعفرلو و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین کمبود سیلیسیم سبب افتادگی برگ‌ها در برنج و لکه برگی در نیشکر می‌شود (الوید و گرین، ۱۹۷۹).

۲-۲-۴- تأثیر سیلیسیم بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان

در شرایط مزرعه، به‌ویژه در حالی‌که کشت غلات وجود دارد سیلیس می‌تواند از راه غیرمستقیم، میزان رشد و تولید را افزایش دهد (مشهدی جعفرلو و همکاران، ۱۳۹۰). سیلیس در گیاه برنج سبب افزایش رشد از طریق افزایش تعداد پنجه، سطح برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی برگ‌های پایین می‌شود (الوید و گرین، ۱۹۷۹) به‌طور کلی سیلیس از طریق افزایش تعداد کل خوشه‌چه در خوشه، درصد خوشه‌چه‌های پر شده، وزن هزار دانه و کاهش خوابیدگی (ورس)، موجب افزایش عملکرد دانه برنج می‌شود. (چومینگ و همکاران، ۱۹۹۹). سیلیس در گیاه برنج به‌کندی حرکت می‌کند و به‌نظر می‌رسد که جذب سیلیس توسط برنج بعد از مرحله پنجه‌دهی و یا بعد از طویل شدن ساقه شروع می‌شود (کاتو و همکاران، ۱۹۹۰). این عنصر موجب رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک می‌شود و تعرق را کاهش می‌دهد، بر کیفیت و عملکرد دانه اثر می‌گذارد (آگاریا و همکاران، ۱۹۹۳). سیدلر فاطمی و همکاران (۱۳۸۹) اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی رقم سلوا را در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد که شاخص‌های عملکرد و محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش شوری کاهش و با کاربرد سیلیسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. میاکی و همکاران (۱۹۸۶) اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم هوکاواشه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلیسیم نقش مهمی در گلدهی گیاه می‌کند و وزن خشک گیاه، مقدار تولید و عملکرد کلی میوه نیز در گیاهان دریافت‌کننده سیلیسیم، نسبت به شاهد بالاتر بود. مالی و همکاران (۲۰۰۸) اثرات سیلیسیم در غلظت-های مختلف را بر رشد دانه، تولید ماده خشک و تغذیه معدنی لوبیای چشم بلبلی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلیسیم در مقادیر کم به‌طور معنی‌داری تعداد دانه، وزن تر و خشک دانه، عملکرد نسبی ریشه و ساقه، غلظت‌های نیتروژن، فسفر و کلسیم را افزایش داد. رامـــرو و همکـــاران (۲۰۰۶) نشان دادند که سـیلیکون سـبب افـزایش رشـد گیـاه گوجـه فرنگی تحت تنش شـوری مـی‌گـردد. طـی ایـن بررسی رقم مانی میکر گوجه فرنگی تحت دو تیمار صفر و ۸۰ میلی‌مولار NaCl همـراه بـا صفر و ۵/۲ میلی‌مولار سیلیس کشت

گردید. نتایج آزمایش نشان داد که اختلاف معنی‌داری در میزان آب جذب شده توسط گیاه طی تیمارهای مختلف وجود نداشت، ولی محتوای آب گیاه در نمونه‌هایی که در معرض NaCl قرار گرفته بودند در اثر اعمال سیلیسیم بیشتر از گیاهانی بود که فاقد سیلیسیم بودند. آن‌ها بیان داشتند که سیلیکون در نگهداری آب سلول دخیل است و همین امر موجب ایجاد تحمل و افزایش رشد گیاه در شرایط تنش می‌گردد.

۲-۲-۵- تأثیر عنصر سیلیسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی

سیلیسیم یک عنصر مفید برای غلات است ولی وظیفه فیزیولوژیکی آن به‌خوبی شناخته نشده است. این عنصر برای توسعه برگ‌های قوی، ساقه و ریشه مورد نیاز است (مشهدی جعفرلو و همکاران، ۱۳۹۰). به دلیل خواص فیزیولوژیکی مفید سیلیسیم در محصولات باغی و زراعی، مصرف آن روز به روز در حال افزایش است (فرانتز و همکاران، ۲۰۰۸). سیلیس به‌عنوان یک عنصر مفید اثرات مثبت مختلفی شامل کاهش اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی و نیز کاهش تبخیر و تعرق دارد (محقق و شیروانی، ۱۳۹۴). سیلیسیم باعث افزایش ۵۲ درصدی سطح برگ‌های اطلسی ایرانی در مقایسه با شاهد شد (بیات و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین گزارش شده است که کاربرد سیلیس سبب افزایش شاخص کلروفیل گل داوودی (سیوانسون و همکاران، ۲۰۱۳) و تحریک تولید کلروفیل و حفاظت از سیستم‌های فتوسنتزی می‌شود (کیپینگ، ۲۰۰۹).

سیلیسیم در گیاهان معمولاً مسئول بهبود ساختار گیاهی و برگ، و همچنین فرآیندهای متابولیکی مانند تبادلات گازی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و سیستم آنتی‌اکسیدانی (لی و همکاران، ۲۰۱۰) می‌باشد، که نتیجه آن کارایی بهتر در ارتباط با رشد و نمو و پارامترهای عملکردی است. لی و همکاران (۲۰۰۷) اثر سیلیسیم را بر میزان تحمل به خشکی گیاه ذرت تحت شرایط گلخانه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش آنان نشان داد که تحت شرایط تنش ملایم و شدید، تیمار سیلیکون سبب افزایش عملکرد گردید، همچنین در تیمار سیلیکون محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های ضداکسند پراکسیداز،

سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافت (حاتوری و همکاران، ۲۰۰۵ و مقصودی و همکاران، ۲۰۱۳). در آزمایشی دیگر روی گیاه سورگوم، سیلیس موجب افزایش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی و میزان فتوسنتز، افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ و نیز افزایش کارایی فتوسیستم ‖ شده است و به این ترتیب توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از تابش خورشید بالا رفته است (یوردانوف و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین کاربرد سیلیسیم محلول جهت تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز (روبیسکو) در برگ لازم است. این آنزیم سوخت‌وساز دی‌اکسیدکربن را تنظیم می‌کند و در تثبیت دی‌اکسیدکربن توسط گیاهان نقش مهمی دارد (ژائو و همکاران، ۲۰۰۹ و سانوبه و همکاران، ۲۰۰۶). به همین دلیل غلظت بیشتر این آنزیم می‌تواند منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه شود (مقصودی و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج پژوهش‌های متعدد حاکی از آن است که کاربرد سیلیس سبب افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی از جمله خشکی گردیده است (مقصودی و همکاران، ۲۰۱۳، مقصودی و همکاران، ۲۰۱۶، کامیندو و همکاران،۲۰۰۹، ژئو و همکاران ۲۰۰۹). سیلیس در القای کاهش میزان تعرق و ممانعت از مسیرهای فرعی تعرق و کاهش جذب و انتقال سدیم شرکت می‌کند. افزایش جذب و انتقال پتاسیم از ریشه به اندام‌های هوایی جو از طریق تحریک القای سیلیس در ATPase غشاء پلاسمایی ریشه تحت تنش شوری انجام می‌گیرد (لیانک و همکاران، ۲۰۰۷). اضافه کردن سیلیس نفوذپذیری غشاء پلاسمایی سلول‌های برگ را کاهش می‌دهد و به‌طور معنی‌داری ساختار فوقانی کلروپلاست‌ها را که خسارت زیادی در اثر کلرید سدیم با ناپدید شدن غشاء دولایه و فرو ریختن گرانا در غیاب سیلیس متحمل شده‌اند را بهبود می‌بخشد (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۷). سیلیس سیستم آنتی اکسیدانی در گیاهان را تحریک می‌کند، یون‌های فلزات سمی را با خود ترکیب یا رسوب می‌دهد، در فرآیندهای جذب تأثیرگذار است و جای‌گذاری یون‌های فلزی درون گیاه را انجام می‌دهد (پاولویک و همکاران، ۲۰۱۳). در گیاه جو نیز کاربرد سیلیسیم تحت شرایط شوری بر روند جوانه‌زنی بسیار موثر بوده و مقدار فتوسنتز و محتوای کلروفیل برگ را افزایش داده است (ماتیچنکوف و همکاران،

۲۰۰۴). تیمار سیلیسیم تحمل گیاه را به سمیت منگنـز، آهـن، آلومینیـوم و فلـزات سنگین افزایش می‌دهد (کورالس و همکاران،۱۹۹۷ و ژئو و همکاران، ۲۰۰۶).

۲-۳-کلسیم

۲-۳-۱- نقش کلسیم در سلامتی انسان

کلسیم فراوان‌ترین ماده معدنی در بدن است. وجود کلسیم برای تنگ و گشاد شدن رگ‌ها، انعقاد خون، انقباض و عملکرد صحیح عضلات، انتقال پیام‌های عصبی توسط سیستم اعصاب، ترشح هورمونی و عملکرد صحیح سلول‌های بدن ضروری است. با اینکه فقط یک درصد از کل کلسیم بدن برای موارد فوق مصرف می-گردد، با این حال بدن به شدت بر کنترل میزان کلسیم خون و سرم نظارت می‌کند. تغییرات شدید کلسیم خون و سرم بسیار خطرناک است و می‌تواند سبب شرایط حادی مانند گرفتگی شدید عضلات و حتی مرگ شود. باقیمانده ۹۹ درصد کلسیم بدن در استخوان‌ها و دندان‌ها وجود دارد که برای استحکام و عملکرد آن‌ها ضروری است. از آنجا که بدن قابلیت تولید کلسیم را ندارد، در صورت عدم مصرف کافی کلسیم در رژیم غذایی، بدن از ذخیره استخوانی خود برای ثابت نگاه داشتن کلسیم خون و سرم استفاده می‌کند. پس عدم مصرف کلسیم کافی می‌تواند به دندان‌ها آسیب بزند و نیز موجب پوکی استخوان‌ها یا استئوپوروزیس شود (بیگلرزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۳-۲- نقش کلسیم در گیاهان

کلسیم چندین نقش مجزا در گیاهان عالی دارد، که این نقش‌ها می‌توانند به چهار بخش اصلی، تاثیر بر دیواره سلولی، اثر بر آنزیم‌ها، اثر بر پوست و اثر متقابل بین کلسیم و فیتوهورمون‌ها تقسیم شوند. ، اگرچه اثر بر آنزیم‌ها و اثر متقابل بین فیتوهورمون‌ها ممکن است عمل مشابهی به نظر برسد (بارکر و پیلبام، ۲۰۰۵). کلسیم در اتصال پلی ساکاریدها و پروتئین‌های تشکیل دهنده دیواره سلولی نقش دارد (مارچنر، ۱۹۸۵). کلسیم

کوفاکتور آنزیم‌های آمیلاز و ATP-ase است و در پایداری و مقاومت مکانیکی دیواره سلولی و فعالیت نرمال بسته‌شدن روزنه‌ها نقش دارد. همچنین به‌عنوان پیام‌رسان ثانویه در گیاه، به سیگنال‌های محیطی و هورمون‌ها واکنش نشان می‌دهد (بارکر و پیلبام، ۲۰۰۵). این عنصر به فعالیت اکسین کمک می‌کند و در تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها، جوانه‌زنی و رشد لوله گرده نقش دارد (فاگریا، ۲۰۰۹). کلسیم اثر تحریکی در نمو تارهای کشنده دارد. همچنین در بهبود و نمو گل‌دهی، بلوغ و انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به میوها مؤثر است (مارچنر، ۱۹۸۵).

کلسیم یک عنصر ضروری برای گیاه است که بین ۰/۲ تا ۰/۵ درصد وزن خشک برگ را تشکیل می‌دهد. و نقش مهمی را در ساختمان دیواره گیاه و اعضای سلولی ایفا می‌کند (سوپنجانی و همکاران ، ۲۰۰۵). تحقیقات نشان داده که محلول‌پاشی کلسیم نتایج مناسبی در بهبود استحکام سلول گیاهی و تأخیر در فرایند پیری ایفا می‌کند (فرگوسن، ۱۹۸۴؛ کانوی ، ۱۹۸۷). افزایش عمر گل‌ها به‌وسیله جلوگیری از سنتز اتیلن توسط کلسیم انجام می‌شود (الاد و کریشنر، ۱۹۹۲). کلسیم در جوانه‌زدن دانه گرده و رشد لوله گرده در بسیاری از خانواده-های گیاهی نقش اساسی دارد. اهمیت کلسیم را به دخالت آن در تشکیل دیواره سلولی نسبت داده اند. ولی نقش آن در پلاسمالما نیز به همان اندازه مشهود است. واضح است که انجام همزمان این وظایف با یکدیگر مغایرتی ندارند. تیمار کلسیم سبب به تأخیر افتادن کاهش پروتئین و فسفولیپید در اعضای سلولی و افزایش فعالیت ATP آز در گلبرگ‌ها می‌شود (ملکوتی و سوری، ۲۰۰۱). نفوذ کلسیم به داخل میوه سبب کاهش تنفس، تولید اتیلن و در نتیجه نگهداری و استحکام میوه و تثبیت فعالیت ACC اکسیداز می‌گردد (کانوی، ۱۹۸۷). به‌طور کلی کلسیم مقاومت اندام‌های گیاهی را در برابر صدمات مکانیکی، شکستگی، آفات و بیماری‌ها افزایش می‌دهد و از طرف دیگر در ساخت آنزیم‌های گیاهی دخالت دارد و همچنین موجب رشد طولی ریشه و شاخه‌ها نیز می‌گردد (پیرمرادیان، ۱۳۷۶). نقش عمده کلسیم از نظر کمی در ترکیب ساختار تیغه میانی دیواره سلولی است. کلسیم وقتی با جزء اسیدی پکتین‌های ژله مانند پیوند می‌یابد نمک غیرمحلولی را تشکیل می‌دهد

و بدین ترتیب ساختاری که قبلاً نیمه سیال بود به‌صورت سخت در می‌آید. کلسیم همچنین نقش مهمی در تنظیم نفوذپذیری انتخابی غشاء سلولی دارد. وقتی گیاه در محیط فاقد کلسیم رشد می‌کند غشاهای سلولی تراوا می‌شوند و کارایی خود را در جلوگیری از انتشار آزاد یون‌ها از دست می‌دهند (ساتر، ۱۳۸۴). کمبود کلسیم در میوه‌ها موجب کاهش عمر پس از برداشت و اختالالات فیزیولوژیکی آنها می‌گردد. کلسیم در بهبود و کیفیت، سفتی پوست و عمر انباری میوه مؤثر است. (لستر و گراسک، ۲۰۰۴). پیوند کلسیم به‌صورت پکتات در تیغه‌های میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت گیاهی ضروری است (روگر، ۲۰۰۶). تخریب پکتات‌ها به‌وسیله پلی گالاکتوروناز‌ها صورت می‌گیرد. زمانی که کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آن‌ها جلوگیری می-شود (رمضانیان و همکاران، ۲۰۰۹).

کلسیم یکی از عناصر غـذایی پرمصـرف اسـت کـه در خاک و گیاه غیر متحرک و جذب آن توسط ریشـه و انتقـال آن در آوند چوب تحت تأثیر جریان تعرقی گیاه می‌باشد. کلسیم برای تقسیم سلولی، تشکیل و استحکام دیواره‌هـای جدید سلولی، جلوگیری از تخریب غشاء پلاسمایی و عدم تراوش مواد به بیرون از سلول، به تأخیر انداختن پیری و افزایش عمر انبـارداری محصولات کشاورزی ضـروری اسـت (وایت و بردلی، ۲۰۰۳). کلسیم همـراه بـا پتاسیم در نفوذپذیری، آب‌گیری، حفظ فشار آماس و کـارکرد سـلول و بـه‌طـورکلی کیفیـت محصولات گیاهی، خاصـیت انبـارداری و بازارپسندی آن‌ها نقـش‌اساسی دارد (موئز اردلان و سوابقی فیروزآبادی، ۱۳۷۶).

۲-۳-۳- علائم کمبود کلسیم در گیاهان

علائم کمبود کلسیم ابتدا در نقاط مریستمی و برگ‌های جوان ظاهر می‌شود در صورتی که علائم سمیت ابتدا در برگ‌های پیر مشاهده می‌گردد (نعیم و خان، ۲۰۰۶). در خاک‌های قلیایی معمولاً کمبود کلسیم وجود ندارد. بنابراین کمبود آن در گیاه، در این خاک‌ها، به دلیل حرکت ضعیف آن در گیاه است. کمبود کلسیم در برگ ها معمولاً زمانی رخ می‌دهد که میزان تعرق بسیار پایین باشد. علائم کمبود عمدتاً در بخش‌هایی از قبیل شاخه-

های جوان که آوند چوبی کمی دارند، دیده می‌شود. بنابراین فشار ریشه‌ای در طول دوره‌هایی که تعرق صورت نمی‌گیرد (شب‌ها) باید به اندازه کافی بالا باشد تا کلسیم کافی را برای بخش‌های جوان (با تعرق کم) فراهم نماید. در کمبود کلسیم، برگ‌های جوان به دلیل از هم پاشیدگی سلول‌ها و مرگ بافت‌ها جمع می‌شود (مرکریو، ۲۰۰۷) و به سمت پائین پیچ می‌خورند (فاگریا، ۲۰۰۹). گاهی کمبود کلسیم در محلول غذایی منجر به سمیت آمونیوم و تجزیه بافت‌آوندی ساقه اصلی گیاه می‌شود (مایلز و جونز، ۱۹۹۶). میزان بالای آمونیوم، جذب کلسیم یا انتقال آن را در داخل گیاه کاهش می‌دهد (بابادائی سامانی، ۱۳۸۷). کمبود کلسیم همیشه توسط علائم خارجی مشخص نمی‌شود و در بسیاری از اوقات گیاهان فقط با کمبود رشد مواجه می‌شوند. در کمبود کلسیم رشد بافت‌های مریستمی متوقف می‌شود و در ادامه بافت‌ها از بین می‌روند. برگ‌های جوان کلروز نشان می‌دهند و برگ‌های پیر برعکس اغلب به رنگ سبز تیره درمی‌آیند و پهنک برگ در آن‌ها بزرگتر می‌گردد. آسیب ناشی از کمبود کلسیم در سلول‌های جوان باعث نرم شدن و تغییر رنگ دیواره سلول‌ها می‌شود و سپس اجزای تشکیل دهنده دیواره سلولی حل می‌شود و ماده قهوه‌ای رنگی به‌وجود می‌آید که در فضای داخل سلولی تجمع می‌کند و آوندها را مسدود می‌نماید و بدین وسیله از انتقال مواد جلوگیری می‌کند. بعد از این مرحله آسیب‌های ثانویه مانند خم شدن و آویزان شدن قسمت بالایی ساقه و قهوه‌ای شدن رگبرگ‌های جوان ظاهر می‌شوند (حق پرست تنها، ۱۳۷۱). کمبود کلسیم موجب نمو جوانه جانبی و در نتیجه توقف نمو جوانه انتهایی می‌شود (حسن‌دخت، ۱۳۸۶). کمبود این عنصر از روی تشکیل ناقص و از هم پاشیدگی قسمت انتهایی گیاه قابل تشخیص است. کلسیم در این حالت نمی‌تواند از انساج مسن‌تر خارج گردد و مورد استفاده و رشد قسمت‌های جدید قرار گیرد. لازم به یادآوری است که کمبود کلسیم در گیاهان به‌ندرت آن هم در خاک‌های خیلی اسیدی و اشباع مشاهده می‌گردد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۳-۴- تأثیر کلسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی

اثر مثبت کلسیم در بهبود تحمل به تنش‌های غیرزیستی به تنظیم روابط آبی، فعالیت سیستم‌های آنتی-اکسیدانی، انباشت اسمولیت‌ها، بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و تعادل تغذیه‌ای نسبت داده شده (جیانگ و هونگ، ۲۰۰۱) 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 شد (کورتیکا و همکاران، ۲۰۰۸). در آفتابگردان برگ‌پاشی کلسیم از طریق بهبود وضعیت آبی گیاه، میزان کلروفیل، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌ها موجب بهبود رشد و عملکرد تحت تنش کم‌آبی شد (ابراهیم و همکاران، ۲۰۱۶). کاربرد خارجی کلسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین و همچنین کاهش جذب کادمیوم، بوته‌های باقلا را به تنش کادمیوم متحمل نمود (صدیقی و همکاران، ۲۰۱۲).

عوامل مهم داخلی زیادی تولید زیست توده گیاهی را کنترل می‌کنند. وجود کلسیم برای انجام فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی ضروری است. کلسیم انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه را تسهیل می‌کند. به-علاوه، این عنصر غذایی، بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی مانند تقسیم، توسعه و تمایز سلولی، پایداری و یک-پارچگی غشاء و دیواره سلولی و فعالیت برخی آنزیم‌ها را تنظیم می‌کند که تمامی این موارد در نهایت موجب بهبود رشد می‌شوند (خان و نعیم، ۲۰۰۶). کلسیم نقش مهمی در سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی ایفا می‌کند. مشخص شده که این عنصر غذایی، در شرایط نامطلوب محیطی، با پایداری ساختار غشاء سلولی موجب ممانعت از خسارت به غشاء و نشت مواد از سلول می‌شود. برای حفاظت غشاء پلاسمایی در مقابل آسیب‌های ناشی از تنش‌های مختلف، حضور کلسیم در محیط بیرونی، جایی که می‌تواند جذب یون‌ها تنظیم شود، ضروری است (مورنو و همکاران، ۲۰۱۳). کلسیم همچنین یک پیام‌رسان ثانویه در مسیر انتقال پیام است که فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی تنظیم می‌کند. اهمیت نقش پیام‌های کلسیم در هدایت تغییرات محیطی به واکنش گیاه بسیاری از محرک‌های خارجی ثابت شده است (لی و همکاران، ۲۰۰۳).

نقش مثبت کلسیم در بهبود جذب عناصر غذایی دخیل در ساختمان کلروفیل یکی از دلایل افزایش مقدار کلروفیل تحت تیمار کلسیم است. (احمد و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش مقدار کلروفیل گونه‌های مختلف گیاهی در اثر کاربرد کلسیم درشرایط مختلف، توسط محققان زیادی تأیید شده است (چیانگ و یانگ، ۲۰۰۱، تولایی و همکاران، ۲۰۰۸، خان و نعیم، ۲۰۰۶ و ابراهیم، ۲۰۱۶)

۲-۳-۵- تأثیر کلسیم بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان

سانگ و فوجییاما (۱۹۹۶) بر اثرات مثبت عناصر در گیاهان تأکید داشته‌اند. از جمله این عناصر یون کلسیم و پتاسیم می‌باشد که اثرات قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان دارند و موجب رشد و نمو بهتر گیاهان می‌شوند (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۸). کلسیم نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاه ایفا می‌کند. این عنصر با اتصال به فسفولیپیدها، لایه‌های چربی را پایدار کرده و در نهایت موجب یک‌پارچگی ساختار غشاهای سلولی می‌شود (سوزوکی، ۲۰۰۵). مطابق تحقیقات معدنی‌پور (۱۳۹۶)، به خوبی مشخص که کاربرد کلسیم از طریق افزایش شاخص سبزینگی، محتوای آب نسبی، سطح برگ و زیست توده تولیدی موجب افزایش عملکرد دانه سویا شد. نتایج سایر تحقیقات نیز نقش مثبت کلسیم را در بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد گلرنگ، سویا و آفتابگردان تأیید کرده است (ابراهیم، ۲۰۱۶؛ جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۶ و خیاط و همکاران، ۲۰۰۹). گیاهان به دلیل اثر مثبت کلسیم بر فراهمی و جذب عناصر غذایی می‌توانند تعداد و سطح برگ بوته را افزایش دهند که این امر منجر به دریافت بیشتر نور برای فتوسنتز می‌شود. این اثر مثبت کلسیم در افزایش سطح برگ به نقش این عنصر غذایی در تقسیم و توسعه سلولی نسبت داده شده است (خلیفا و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۴- پتاسیم

۲-۴-۱- نقش پتاسیم در سلامتی انسان

پتاسیم را می‌توان از جمله مهم‌ترین عناصر و ضروری‌ترین آن‌ها برای سلامت بدن به‌شمار آورد. پتاسیم به‌همراه سدیم یکی از مهم‌ترین پمپ‌های بدن به نام پمپ سدیم-پتاسیم را تشکیل می‌دهند. پتاسیم سومین ماده فراوان در بدن می‌باشد و یکی از مواد معدنی چندکاره است که در اندام‌های مختلف مثل قلب، کلیه‌ها، مغز و بافت‌های عضلانی کاربرد دارد. این ماده نقش مهمی در هیدراته کردن بدن بازی می‌کند و با همکاری سدیم در حمایت از عملکرد سلولی بدن نقش مؤثر دارد. مصرف پتاسیم سبب کاهش عصبانیت و در نتیجه افزایش شادابی و تحرک در فرد می‌شود. هر سلول می‌تواند سدیم را از سلول به خارج و پتاسیم را به داخل سلول منتقل کند، بر همین اساس اگر سدیم از درون سلول به خارج منتقل نشود آب در سلول جمع شده و سبب تورم یا پارگی آن می‌شود. این فرآیند برای فعالیت‌های ماهیچه‌ای و عصبی اهمیت ویژه‌ای دارد و به همین علت است که کمبود پتاسیم ابتدا بر ماهیچه‌ها و اعصاب اثر می‌گذارد. فقدان پتاسیم همچنین سبب کاهش سطوح گلیکوژن ذخیره شده می‌شود و این امر می‌تواند موجب ضعف و خستگی شدید ماهیچه‌ای شود (گنجی و همکاران، ۱۳۸۶).

۲-۴-۲- نقش پتاسیم در گیاهان

عنصر پتاسیم، به‌عنوان عنصر کیفیت در گیاهان مطرح است و جزء عناصر ضروری به‌شمار می‌رود که بعد از نیتروژن پرمصرف‌ترین عنصر مورد نیاز گیاهان است. به دلایل مختلفی همچون، نوع و میزان رس‌های خاک، مقدار ماده آلی، آبشویی و ... میزان پتاسیم قابل جذب در خاک برای رشد بهینه گیاهان کافی نمی‌باشد و نیاز به تأمین پتاسیم برای تولید انبوه ضروری به نظر می‌رسد (ملکوتی، ۱۳۷۸). مقدار متوسط پتاسیم پوسته خاک در حدود ۲/۳ درصد و عمده پتاسیم در ۱۵ سانتی‌متری قشر سطحی خاک قرار گرفته‌است. از آن‌جایی که بیشتر

مناطق کشور ایران خشک و نیمه خشک است و به دلیل وجود کانی‌های خاص مانند میکا، رس، ایلیت و . . . معمولاً خاک‌ها غنی از پتاسیم می‌باشند. ولی در اثر بهره‌برداری مداوم از خاک‌ها و برداشت پتاسیم فراوان توسط محصولات کشاورزی و عدم رواج مصرف کودهای پتاسیمی، پتاسیم خاک رو به کاهش است و در بیشتر مناطق کشور کمبود پتاسیمی وجود دارد (ملکوتی، ۱۳۷۹). گیاهانی مانند یونجه، نیشکر، پیاز، گل‌کلم، ذرت، زیتون، سیب زمینی، چغندرقند، توتون، گوجه فرنگی، شبدر، هویج و... به میزان پتاسیم بیشتری نیاز دارند. به‌طور کلی پتاسیم موجود در خاک به سه صورت، پتاسیم به‌عنوان یک عنصر ساختمانی در کانی‌های خاک، پتاسیمی که جذب سطحی می‌شوند و به‌صورت قابل تبادل توسط کلوئیدهای خاک مانند کانی‌های رسی و مواد آلی موجود می‌باشد و پتاسیم موجود در محلول خاک مشاهده می‌شود (اشرف و همکاران، ۲۰۰۲). پتاسیم دارای نقش‌های مهمی در گیاه است که به‌عنوان مثال افزایش مقاومت گیاهان در برابر سرمازدگی، آفات، بیماری‌ها و شوری، افزایش راندمان آبیاری و بازدهی کود نیتروژن، افزایش خاصیت انبارداری به‌خصوص در گل‌های زینتی، افزایش غلظت کلروفیل و عمل کربن‌گیری در گیاه، افزایش تعداد و قطر دسته‌های آوندی و در نتیجه افزایش تعرق گیاه و کاهش خوابیدگی (ورس)، تشکیل و انتقال نشاسته، قند و چربی‌ها، ساخت پروتئین‌ها، متابولیسم گیاه و تعادل بار الکتریکی غشاهای سلولی و فعال سازی آنزیم‌ها می‌شود (لیونل جردن و سیلوان، ۲۰۰۴). پتاسیم به راحتی در سراسر گیاه حرکت می‌کند و به مقادیر بالایی در بخش‌های فعال و درحال رشد گیاهان وجود دارد. مقدار مورد نیاز گیاهان به پتاسیم متفاوت بوده و ممکن است گیاه در یک مرحله از رشد فیزیولوژیکی نیاز به جذب پتاسیم بیشتری از مرحله دیگر داشته باشد (استگروپ و کلاسن، ۲۰۰۰). میزان پتاسیم به شکل محلول در خاک بسیار محدود است، به‌طوری‌که قسمت عمده آن‌ها به شکل تثبیت‌شده در بین خاک‌دانه‌ها قرار دارد (ملکوتی، ۱۹۹۹). در گیاهانی که پتاسیم به‌میزان کافی وجود دارد، فعالیت روزنه‌ها به‌خوبی کنترل می‌گردد. مکانیسم باز و بسته شدن روزنه‌ها به جریان پتاسیم وابسته می‌باشد. ورود فعال پتاسیم به سلول روزنه موجب باز شدن روزنه‌ها و خروج پتاسیم از سلول باعث بسته شدن روزنه می‌گردد. در اکثر گونه‌ها مکانیسم باز و بسته

شدن روزنه‌ها به یون پتاسیم وابسته است و سایر کاتیون‌های تک ظرفیتی نمی‌توانند وظیفه یون پتاسیم را بر-عهده بگیرند (دانشیان و همکاران، ۲۰۰۲).

۲-۴-۳- علائم کمبود پتاسیم در گیاهان

کمبود پتاسیم فوراً به نشانه‌های قابل دیدن منجر نمی‌شود. ابتدا فقط کاهشی در میزان رشد ایجاد می‌شود و در ادامه کمبود یا تشدید آن زردی و سوختگی رخ می‌دهد. نشانه‌های کمبود پتاسیم عموماً از برگ‌های مسن‌تر شروع می‌شود، زیرا این برگ‌ها یون پتاسیم را در اختیار برگ‌های جوان‌تر قرار می‌دهند. در اغلب گونه‌های گیاهی، زردی و سوختگی ازحاشیه و نوک برگ‌ها شروع می‌شود. گیاهانی که کمبود پتاسیم در آن‌ها وجود دارد معمولاً از شادابی‌کمتری برخوردار می‌باشند و در شرایط کم‌آبی به سهولت پژمرده می‌گردند. در این گیاهان مقاومت به خشکی کم است و حساسیت بیشتری نسبت به شوری، حمله بیماری‌های قارچی مشاهده می‌گردد (هوچینگ و همکاران، ۲۰۰۷). مهمترین علائم کمبود پتاسیم شامل کاهش رشد گیاه، زردی و سوختگی انتهایی در برگ‌های مسن، کاهش استحکام ساقه گیاه، حساسیت بیشتر نسبت به شوری و بیماری‌ها، مختل شدن فعالیت‌های ناشی از اثر اسمزی مانند باز و بسته شدن روزنه‌ها، مختل شدن ساخت پروتئین‌ها به دلیل از دست رفتن زیرواحدهای ریبوزومی و کاهش فعالیت آنزیم‌ها می‌باشد (دوبرمن، ۲۰۰۴)

۲-۴-۴- تأثیر پتاسیم بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان

استفاده از پتاسیم می‌تواند مانع از کاهش سرعت رشد در شرایط تنش گردد، که ناشی از نقش آن در پایداری آنزیم‌ها و پروتئین‌ها می‌باشد (مظفری و همکاران، ۱۳۸۳). پتاسیم در برنج نقش‌های متعددی به عهده دارد که از آن جمله می‌توان به افزایش وزن و اندازه دانه، افزایش واکنش به سایر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر، ایجاد مقاومت در برابر شرایط نامساعد اقلیمی، بیماری‌ها، آفات و افزایش استحکام ساقه اشاره کرد (ملکوتی، ۱۹۹۹). متوالی و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی مقایسه‌ای مصرف خاکی و محلول‌پاشی پتاسیم در

برنج مشاهده کردند که تعداد پنجه، عملکرد شلتوک، کاه و کلش و همچنین، نسبت دانه به کاه و کلش که به طور معنی‌داری افزایش یافت. پتاسیم جذب شده درزمان پنجه‌زنی از طریق افزایش تعداد دانه در خوشه، درصد دانه‌های پر و وزن هزار دانه سبب افزایش عملکرد برنج می‌شود. جذب مداوم پتاسیم تا رسیدن دانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (جونسکرا و همکاران، ۲۰۰۶). در یک آزمایش دیگر در پنجاب هندوستان، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار سبب افزایش تعداد پنجه‌ها و وزن هزاردانه و در نتیجه عملکرد دانه گندم شد (بوشارنیکف و مچینکف، ۲۰۰۸). آزمایش‌های انجام‌شده در چین نشان داد کاربرد ۱۱۲ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار عملکرد دانه برنج را افزایش می‌دهد (بائو، ۱۹۸۵). نتایج تحقیقات انجام شده در مناطق مختلف نشان داده است که میانگین پاسخ برنج به کاربرد پتاسیم در بنگلادش، چین، هندوستان و فیلیپین به ترتیب ۷/۶، ۹/۳، ۶/۴ و ۴/۶ کیلوگرم شلتوک به ازای هر کیلوگرم کابرد پتاسیم بود و در شالیزارهای مازندران ۳ الی ۲۳ کیلوگرم شلتوک بود (ملکوتی وداوودی، ۱۳۸۰). پتاسیم موجب افزایش درصد خوشه‌چه‌های پرشده در هر خوشه شد و کمبود آن موجب عقیمی دانه‌های گرده در مرحله آبستنی و در نتیجه کاهش تعداد خوشه‌چه‌های پرشده گردید (ددتا و میخائیلسن، ۱۹۸۵). صدیقی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردندکه وزن بیشتر سنبله گندم در زمان گرده افشانی، به دلیل اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به سنبله نسبت به ساقه است. هم چنین، اکثر اختلاف ارقام از نظر وزن خشک سنبله در زمان گرده‌افشانی، ناشی از اختلاف در تعداد گلچه بارور در ۱۵ تا ۹۵ روز قبل از گرده‌افشانی و افزایش تعداد گلچه بارور در سنبله است، پس با افزایش تعداد دانه، وزن سنبله هم افزایش می‌یابد. این نتایج با محلول‌پاشی پتاسیم که موجب افزایش درصد دانه‌های پر و وزن دانه می‌شود، مطابقت دارد، زیرا پتاسیم کمک می‌کند تا برگ پرچم از نظر فیزیولوژیکی مدت طولانی‌تری فعال بماند و پرشدن دانه بهتر انجام گیرد (مارچنر، ۱۹۸۵). برای به‌دست آوردن یک عملکرد مطلوب، تأمین عنصر پتاسیم برای جو ضروری است. گیاه جو در مرحله ساقه رفتن بیشتر از سایر مراحل به پتاسیم نیاز دارد. در این مرحله روزانه ۳/۵ تا ۸ کیلوگرم در هکتار پتاسیم جذب می‌نماید. مصرف کودهای پتاسیمی این نیاز را جبران می‌کند. به‌علاوه کاه جو منبع با ارزشی است که حدود ۸۵ درصد پتاسیم جذب شده در گیاه در آن قرار می‌گیرد. از انواع

متداول پتاسیم مورد استفاده در گیاهان می‌توان به سولفات پتاسیم و کلرید پتاسیم اشاره نمود (ملکوتی، ۱۳۷۹).

۲-۴-۵- تأثیر پتاسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی

پتاسیم یک عنصر سیتوپلاسمی ضروری است (مانوز و همکاران، ۱۹۹۳). نتایج تحقیقات عابدی باباعربی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که گیاهانی که با عناصر روی و پتاسیم محلول‌پاشی شده بودند، دارای میزان بالاتری از کلروفیل a (۲۵/۲ درصد)، پرولین (۸۷/۸ درصد) و قندهای محلول کل (۹۹/۵ درصد) نسبت به تیمارهای بدون محلول‌پاشی بودند. نصری و همکاران (۲۰۰۸) اعلام داشتند که با افزایش کاربرد پتاسیم جذب نیتروژن بهبود و جذب پتاسیم و فسفر در کلزا تحریک می‌شود. وبریک و همکاران (۲۰۰۵) اعلام کردند کاربرد پتاسیم در لوبیا موجب افزایش کلروفیل‌کل، میزان فتوسنتز و درصد پروتئین دانه گردید. پتاسیم جزو عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاه است. که در گیاه بیش ترنقش کاتالیزور دارد و کمبود آن، مقاومت گیاه را در برابر آفات و بیماری‌ها کاهش می‌دهد. وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت‌های گیاهی اهمیت خاصی دارد (ملکوتی، ۱۹۹۹).در مورد تجمع پتاسیم در هنگام تنش اسمزی، نتایج زیادی گزارش شده است (شابالا و همکاران، ۲۰۰۰؛ کیدامبی و همکاران، ۱۹۹۰). پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه‌ای گیاه سویا نقش ایفا می‌کند (روز و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۵- ورس

تغییرات مورفولوژیکی گیاهان در برابر تنش‌های مکانیکی ممکن است نقش مهمی در سازگاری و اکوفیزیولوژی آن‌ها، خصوصاً در مناطق بادخیز ایفا کند. اثر نیروی باد روی گیاهان دارای شدت و ضعف است و در واقع پاسخ گیاهان به نیروی باد یک پاسخ پویا است (گاردینر و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر اثر نیروی جاذبه بر اندام‌های گیاهی، نیروی باد نیز می‌تواند با جابجا کردن برگ‌ها و ساقه‌ها نیروی مضاعفی را بر گیاه

تحمیـل کنـد. در هوای آرام بر اثر وزن گیاه و همچنین معماری و شکل قرارگیری برگ‌ها و ساقه‌ها نوعی فشار مکانیکی روی گیاه وجود دارد. گیاه به این مقدار فشار سازگار است و ساختار داخلی ساقه و مورفولوژی گیاه برای تحمل این فشار و جلوگیری از خمیـدگی و حفـظ سـاختار سلولی تکامل یافته است (فورنیر و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر این گیاه بـرای به حداکثر رساندن جذب نور نیـاز بـه حفـظ آرایـش هوایی برگ‌ها دارد (مولیا و همکاران، ۲۰۰۹). که در این راستا فشار آماس بافت‌های چوبی و استحکام دهنده نقش نگهداری گیاه در هوا را بر عهده دارند (مولیا و همکاران، ۲۰۰۹ و فورنیر و همکاران، ۲۰۱۴). به‌طور کلی معمول‌ترین و آشکارترین پاسـخ‌هـای گیاهان به تنش‌هـای مکـانیکی کـاهش ارتفـاع سـاقه، کاهش سطح برگ، افزایش قطر ساقه و کاهش وزن تر و خشـک مـی‌باشـند (انتن و همکاران، ۲۰۰۶). خمش و یا شکست ساختاری که موجب تغییر زاویـــه ســـاقه غـــلات از حالـــت عمـــودی می‌شـــود، خوابیدگی گفته می‌شود (پینوز و همکاران، ۱۹۷۳). خوابیدگی می‌توانـد در نتیجه خمیدگی ساقه یا در نتیجه خروج ریشه از خـاک رخ دهـد(ننان و اسپنسر اسمیت، ۱۹۷۵). بسـیاری از گیاهـان زراعـی ازجمله گندم و جو به‌طور ویژه به خوابیـدگی ناشـی از بـاد حساسـیت دارند. خوابیـدگی مـانع از جریـان آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیـاه و مـانع از جریان مـواد حاصل از آسیمیلاسیون به ریشه‌ها یا دانه‌های درحـال توسعه می‌شود که در نتیجه آن پر شدن دانه‌هـا مختـل می‌شوند (کاشیواجی و همکاران، ۲۰۰۵). افزایش مقدار رطوبت ناشی از ورس در یـــک جامعـــه گیـــاهی، شـــرایط رشـــد قـــارچ‌هـــا و گستردگی بیماری‌ها را فراهم می‌کند که هرکدام عامـل محدودکننده در تشکیل و کیفیت دانـه هسـتند (کنو، ۱۹۹۵). مطالعـات استاپر و فیشر (۱۹۹۰) در مـورد آثار خوابیـدگی روی عملکرد در شرایط طبیعی و شرایط مصنوعی کـاهش تا ۸۰ درصد را در عملکرد گندم نشـان داده‌انـد (استاپر و فیشر، ۱۹۹۰). خواجه‌احمدعطاری و همکاران (۱۳۷۸) عوامل مؤثر در ورس را که روی هم باعث کاهش عملکرد و نامرغوبی کیفیت دانه می‌شود. عواملی نظیر زیادی میزان نیتروژن در خاک، تراکم زیاد بوته در واحد سطح، افزایش تعداد روزهای ابری در دوره‌ی رشد رویشی، وزش بادهای شدید به‌خصوص بعد از آبیاری مزرعه، بارش تگرگ، عدم استحکام ساقه و ضخامت کم آن گزارش نمودند. اگر ورس در مراحل گیاهچه‌ای یا رویشی رخ دهد گیاهان

ممکن است دوباره وضعیت قائم خود را به‌دست آورند که یک واکنش ژئوتروپیک منفی است و موجب گردن غازی شدن یا انحنای ساقه‌های پایینی می‌شود. کاهش نور روی ساقه‌هایی که رشد فعالی دارند سبب طویل شدن سلول‌ها و در نتیجه قائم شدن ساقه‌ها می‌شود (کروک و انوز،۱۹۹۶). در ذرت و سورگوم، سیستم‌های ریشه‌ای وسیع و قوی و ساقه‌های جوان تنومند مانع از ورس در مراحل اولیه رشد گیاه می‌شوند. عمل ورس در ارقام در حال مسن شدن این گیاهان در آخر فصل، بعد از بلوغ فیزیولوژیکی بیشتر شایع است. در این زمان وزن دانه حداکثر است و ساقه گیاهان به دلیل انتقال کربوهیدرات‌ها از منبع به مخزن ضعیف شده است و به دلیل توقف فتوسنتز در حال جایگزینی نیست. ساقه‌های بیمار، صدمه دیده و هوا دیده ممکن است بعد از بلوغ فیزیولوژیکی، ورس را در این گیاهان افزایش دهند. زیرا آن‌ها اغلب در مزرعه خشک می‌شوند (مولیا و همکاران، ۲۰۰۹). جو در مقابل ورس از دیگر غلات به‌ویژه گندم حساس‌تر است، همچنین جوهای پاییزه حساسیت بیشتری نسبت به جوهای بهاره در مقابل ورس دارند، زیرا جوهای پائیزه پنجه بیشتری تولید می‌کنند و ارتفاع ساقه آن‌ها زیادتر است. استفاده از مقادیر زیاد کود نیتروژن اثر بسیار زیادی در بالا بردن شدت ورس دارد (پینوز، ۱۹۷۳). ورس مانعی برای تولید عملکرد بالای دانه می‌باشد و بیانگر محدودیت شدید برای افزایش پتانسیل عملکرد می‌باشد. شناخت مکانیزم‌هایی که در نتیجه وقوع خوابیدگی باعث کاهش عملکرد می‌شوند، می‌توانند در توصیف و پیش‌بینی کاهش عملکرد پس از خوابیدگی مفید باشند. با این حال مطالعات اندکی در مورد آگاهی از مکانیزم‌های افزایش عملکرد در پی خوابیدگی درغلات انجام شده است (بری، ۲۰۱۲). شدت خسارت خوابیدگی بسته به اینکه در چه مرحله‌ای از رشد گیاه روی دهد متفاوت است و ممکن است ۲۰ تا ۳۰ درصد محصول را از بین ببرد (لافان، ۱۹۹۹).

۲-۵-۱- اثر عناصر سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم بر خوابیدگی ساقه

از میان عناصر غذایی که با خوابیدگی بوته ارتباط دارند، می‌توان سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم را نام برد. با توجه به بررسی‌های انجام شده ورس عامل مهمی در کاهش عملکرد (به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با بروز

بیماری‌های قارچی و مشکلات برداشت) می‌باشد. مصرف سیلیسیم جرم واحد طول ساقه را افزایش می‌دهد که این افزایش سبب مقاومت گیاه به ورس خواهد شـــد. با کاربرد سیلیسیم، ارتفاع بوته به‌صورت آرام و کند افزایش می‌یابد که در مقاومت به ورس نیز اهمیت دارد (اسدی و همکاران،۱۳۹۱). مستقیم بودن برگ‌ها عاملی مهم است که بر جذب نور از سوی گیاهان اثر می‌گذارد. مستقیم بودن برگ، با افزایش مصرف ازت کاهش می-یابد ولی سیلیس سبب مستقیم بودن برگ‌ها می‌شود و به‌این ترتیب اثرات منفی مصرف زیاد نیتروژن را بر جذب نور، به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. به همین ترتیب اثرات منفی افزایش مصرف نیتروژن بر استحکام ساقه و حساسیت ساقه به خوابیدن بر سطح خاک، به‌وسیله‌ی سیلیس خنثی می‌شود (مشهدی جعفرلو و همکاران، ۱۳۹۰). سیلیس موجب بهبود ارتفاع گیاه، طول میانگره، وزن تر، حرکت خمش و مقاومت به شکستگی در گیاه برنج می‌شود و شاخص ورس که از نسبت حرکت خمش به مقاومت به شکستگی به‌دست می-آید را نیز افزایش می‌دهد و همچنین باعث افزایش مقاومت به خوابیدگی بوته در گیاه برنج می‌گردد (فلاح، ۲۰۰۸). کلسیم نیز از جمله مهم‌ترین عناصر مربوط به مقاومت و استحکام دیواره سلولی شناخته می‌شود (ملکوتی و طبابایی، ۱۳۷۷). در کمبود کلسیم ریشه‌ها نسبت به قارچ پوسیدگی ریشه حساس تر می‌شوند و این حساسیت و اثرات آن روی ساقه ، به افزایش تمایل گیاه به ورس منجر می‌شود (مرکریو، ۲۰۰۷).

بررسی ملکوتی (۱۳۷۹) حاکی از این است که کمبود پتاسیم موجب ضعیف شدن بافت‌های ساختمانی گیاه می‌شود و در نتیجه گیاه را در مقابل عواملی مانند باد و باران مستعد به ورس می‌کند. پتاسیم برای تشکیل سلول‌های جدید و انجام فعالیت‌های آنزیمی که متابولیسم پروتئین و کربوهیدرات‌ها را کنترل می‌کند مورد نیاز می‌باشد. مطالعات پرینود (۱۹۹۰) روی گندم نشان دهنده این است که پتاسیم سبب استحکام ساقه می‌گردد در نتیجه این عنصر سبب کاهش ورس در گندم و همچنین سایر غلات می‌باشد.

فصل سوم

موادو روش ها

۳-۱- زمان و مشخصات محل اجرای آزمایش

آزمایش در اسفند ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، واقع در شهر بسطام (کیلومتر ۸ جاده شاهرود-آزادشهر) اجرا شد. شهر بسطام در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۱۵۴ میلی‌متر، متوسط حداقل و حداکثر دمای سالیانه آن به‌ترتیب ۹/۶- و ۳۹ درجه سانتی‌گراد و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق سرد و خشک به‌شمار می‌رود. بارندگی بیشتر در فصول پاییز و زمستان و با پراکنش نامنظم رخ می‌دهد.

۳-۲- خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی

به‌منظور تعیین بافت خاک، وضعیت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و تشخیص خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، قبل از انجام عملیات آماده‌سازی و اجرای طرح، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در سه نقطه مختلف در هر تکرار نمونه‌گیری صورت گرفت. سپس خاک‌ها با هم مخلوط و در نهایت یک نمونه یک کیلوگرمی به‌عنوان نماینده تمام سطح مزرعه به آزمایشگاه منتقل شد. ه نتایج به‌دست آمده در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. مطابق اطلاعات کسب شده بافت خاک لومی رسی تعیین شد.

جدول ۳-۱- خصوصیات خاک محل آزمایش

پارامتر های اندازه گیری شده	مقدار	واحد
شن	۲۰/۲	درصد
لای	۴۹/۱	درصد
رس	۳۰/۷	درصد
کربن آلی	۰/۴	درصد
نیتروژن	۰/۱	درصد
پتاسیم	۲۸۰	پی پی ام
فسفر	۱۰	پی پی ام
هدایت الکتریکی	۱/۵	دسی‌زیمنس بر متر
اسیدیته اشباع	۷/۸	-

۳-۳- مشخصات طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل محلول‌پاشی عنصر مهم سیلیسیم از منبع سیلیکات سدیم در سه سطح صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل اول، کلسیم از منبع کلرید کلسیم در سه سطح صفر، ۶ و ۱۲ میلی‌مولار به‌عنوان عامل دوم و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم در دو سطح صفر و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل سوم بودند. در مجموع در هر تکرار ۱۸ ترکیب تیماری وجود داشت و تعداد کل کرت‌های آزمایشی ۵۴ کرت بود (شکل ۳-۱).

تکرار۱	a_3 b_3 c_2	a_1 b_3 c_1	a_3 b_1 c_2	a_3 b_2 c_1	a_3 b_3 c_1	a_2 b_3 c_2	a_1 b_1 c_1	a_1 b_3 c_2	a_1 b_1 c_2	a_1 b_2 c_1	a_2 b_2 c_2	a_1 b_2 c_2	a_2 b_2 c_1	a_2 b_3 c_1	a_3 b_2 c_2	a_2 b_1 c_2	a_3 b_1 c_1	a_2 b_1 c_1
تکرار۲	a_2 b_3 c_2	a_1 b_3 c_2	a_3 b_2 c_2	a_1 b_1 c_1	a_2 b_3 c_1	a_1 b_3 c_1	a_2 b_2 c_1	a_1 b_1 c_2	a_3 b_3 c_2	a_3 b_1 c_2	a_1 b_2 c_1	a_3 b_2 c_1	a_2 b_1 c_2	a_3 b_3 c_1	a_2 b_2 c_2	a_2 b_1 c_1	a_1 b_2 c_2	a_3 b_1 c_1
تکرار ۳	a_1 b_1 c_2	a_2 b_3 c_1	a_3 b_2 c_1	a_3 b_1 c_2	a_1 b_1 c_1	a_2 b_2 c_2	a_1 b_3 c_2	a_3 b_1 c_1	a_2 b_3 c_2	a_3 b_3 c_1	a_1 b_2 c_2	a_2 b_1 c_1	a_3 b_2 c_2	a_2 b_2 c_1	a_1 b_2 c_1	a_3 b_3 c_2	a_1 b_3 c_1	a_2 b_1 c_2

شکل۳-۱- نقشه کشت طرح آزمایشی مورد استفاده

محلول‌پاشی سیلیکات سدیم (میلی‌گرم در لیتر): a_1 (صفر)، a_2 (۱۵۰) و a_3 (۳۰۰)

محلول‌پاشی کلرید کلسیم(میلی‌مولار): b_1 (صفر)، b_2 (۶) و b_3 (۱۲)

محلول‌پاشی سولفات پتاسیم(میلی‌گرم در لیتر): c_1 (صفر) و c_2 (۲۰)

۳-۴- عملیات اجرایی

برای انجام این آزمایش با مساعد شدن شرایط آب و هوایی و گاورو شدن زمین در نیمه دوم اسفند ۱۳۹۶ آماده‌سازی زمین صورت گرفت. در ابتدا زمین مورد نظر توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس اقدام به تسطیح زمین گردید. در پایان به وسیله فاروئر، جوی و پشته‌هایی به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در ایجاد گردید و سپس جوی‌های آبیاری، یکی برای ورود آب به مزرعه و دیگری برای خروج زه‌آب تعبیه شدند. آزمایش در کل شامل ۵۴ کرت بود. در هر کرت آزمایشی ۱۰ خط کاشت به طول ۴ متر با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱ سانتی‌متر قرارگرفت. ۶ ردیف وسط جهت اعمال تیمارها و اندازه‌گیری صفات استفاده شد. در این

پژوهش از بذرهای جو تیپ بهاره رقم ریحان استفاده شد. این رقم در سال ۱۳۷۲ پس از طی مراحل مقایسه عملکرد و سازگاری به نام رقم ریحان نام‌گذاری و برای کشت در مناطق معتدل معرفی گردید. این رقم پر-محصول و زودرس و مناسب برای مناطقی با زمستان ملایم و بهار کوتاه می‌باشد. متوسط عملکرد آن در آزمایشات مختلف ۷ تا ۸ تن در هکتار گزارش شده است و حداکثر عملکرد ۱۰ تا ۱۱ تن در هکتار ثبت شده است. ارتفاع رقم ریحان متوسط بوده و تا ۹۰ سانتی‌متر گزارش شده است. زودرس و نیمه مقاوم به ریزش است (قزوینی و همکاران، ۱۳۸۱).

کاشت بذرها در تاریخ ۲۴ و ۲۵ اسفند ۱۳۹۶ به‌صورت دستی و طبق نقشه کاشت در عمق ۲ تا ۳ سانتی-متری صورت گرفت، قابل ذکر است که هیچ‌گونه کودی قبل از کاشت به زمین داده نشد.

۳-۵- داشت

عملیات داشت در طی فصل رشد به‌صورت مداوم انجام پذیرفت. وجین علف‌های هرز در کل دوره رشد به-صورت دستی انجام شد و مزرعه تا پایان دوره رشد عاری از علف‌های هرز بود. هیچ‌گونه بیماری و حشره-ای که آفت جو باشد در مزرعه مشاهده نشد، بنابراین به مبارزه شیمیایی نیازی نبود. آبیاری مزرعه به روش جوی و پشته و اولین آبیاری‌ه بلافاصله پس از کاشت انجام شد. آبیاری‌ها هر ۸ روز یک بار انجام می‌شد و در نهایت در پایان دوره رشد ۱۱۵ روز پس از کاشت برداشت به‌صورت دستی صورت گرفت.

۳-۶- اعمال تیمارها

محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلریدکلسیم و سولفات پتاسیم با غلظت‌های مورد نظر طی یک مرحله، قبل از گلدهی، متقارن با ۵۵ روز پس از کاشت، هنگام غروب و در هوای ملایم انجام شد به‌طوری که برگ‌ها کاملاً خیس شدند.

۳-۷- نمونه‌برداری جهت صفات زراعی و مورفولوژیک

۱۰ روز پس از محلول‌پاشی نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری صفات زراعی و مورفولوژیک آغاز گردید. بوته‌ها پس از حذف اثر حاشیه به‌نحوی انتخاب می‌شدند که بتوانند تا حد زیادی خصوصیات کرت مربوطه را نشان دهند. بوته‌های مورد نظر از سطح خاک و از ناحیه طوقه قطع و جهت تعیین برخی صفات به آزمایشگاه منتقل شدند.

۳-۸- صفات زراعی و مورفولوژیک

۳-۸-۱- صفات مرتبط با ساقه

ارتفاع ساقه اصلی در ۳ بوته از هر کرت بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و پس از میانگین‌گیری ثبت گردید. قطر ساقه نیز با استفاده از کولیس دیجیتال روی ۱۰ بوته اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها محاسبه گردید.

۳-۸-۲- وزن خشک برگ، ساقه، غلاف ساقه و سنبله

به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک بوته‌ها در زمان پر شدن سنبله کامل، ۵ بوته به‌عنوان نمونه از هر کرت برداشته شد. نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه به ۴ بخش برگ، ساقه، غلاف ساقه و سنبله تفکیک شدند. اجزاء تفکیک شده به طور مجزا و به منظور تعیین ماده خشک، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی-

گراد در آون قرار گرفتند. پس از آن، پاکت‌ها به مدت ۲۰ تا ۲۵ دقیقه در هوای آزمایشگاه قرار گرفتند تا با محیط به تعادل دمایی برسند و در نهایت با ترازوی حساس به دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. مقادیر به دست آمده بر حسب گرم در مترمربع محاسبه گردید.

۳-۸-۳- شاخص سطح برگ

سطح برگ بوته‌ها توسط دستگاه سنجش سطح برگ اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ محاسبه گردید. شاخص سطح برگ، شامل نسبت سطح برگ محصول به سطح زمینی است که محصول روی آن سایه می‌اندازد. از آن‌جا که تشعشع خورشیدی به‌طور یکنواخت روی سطح زمین پخش می‌شود. لذا LAI یک معیار تقریبی از مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشیدی برای آن قابل دسترس می‌باشد.

۳-۸-۴- زاویه برگ پرچم

برای اندازه‌گیری زاویه برگ پرچم در مرحله ۲۰ روز پس از محلول‌پاشی به‌طور تصادفی تعداد ۳ بوته انتخاب گردید و زاویه برگ با استفاده از نقاله نسبت به افق اندازه‌گیری شد.

۳-۸-۵- تعداد پنجه در بوته

به‌منظور تعیین تعداد پنجه در بوته در ۹۰ روز پس از کاشت به‌صورت تصادفی تعداد ۴ بوته انتخاب و به‌همراه ریشه از خاک خارج گردید. پس از انتقال به آزمایشگاه تعداد پنجه در بوته ها شمارش و ثبت گردید.

۳-۸-۶- عملکرد و اجزای عملکرد

در تاریخ ۲۰ تیر ۱۳۹۷ (۱۱۵ روز پس از کاشت) از هر کرت آزمایشی ۵۰ سانتی‌مترمربع با در نظر گرفتن حاشیه و به منظور تعیین عملکرد برداشت گردید. عملکرد بر حسب تن در هکتار برآورد گردید. اجزای عملکرد در یک گیاه زراعی مؤلفه‌های میزان تولید نهایی گیاه می‌باشند و در هر گیاه زراعی دارای اجزای خاص خود

است. در انتهای دوره‌ی رشد به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد ۴ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه تعداد سنبله در گیاه، تعداد دانه درسنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد.

۳-۹- صفات فیزیولوژیک

۳-۹-۱- میزان کلروفیل و کاروتنوئید

جهت اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید ۱۰ روز بعد از محلول‌پاشی و یک روز قبل از آبیاری، نمونه‌گیری از برگ سبز انجام شد و اندازه‌گیری با استفاده از روش پروچازکا و همکاران (۱۹۹۸) و بدون لهیدگی صورت گرفت. طبق این روش ۰/۰۱ گرم بافت تازه برگ توزین و به قطعات کوچک خرد شد. به نمونه‌ها ۶ میلی‌لیتر دی‌متیل‌سولفوکسید اضافه گردید. محلول حاصل به مدت ۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب گرم قرار گرفت و سپس نمونه‌ها از حمام آب گرم خارج شدند و پس از سرد شدن میزان جذب نوری آن‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل Jenway 6305 ساخت کشور آلمان، خوانده شد. و محتوای کلروفیل و کاروتنوئید طبق روابط ۳-۱ تا ۳-۳ محاسبه گردید.

$$Chl_a(_{\mu g/ml}) = (12.25\ A_{663})_(2.25\ A_{645}) \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

$$Chl_b(_{\mu g/ml}) = (20.31\ A_{645})_\ (4.19\ A_{663}) \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

$$Carotenoids\ (1000\ A_{470})_\ (1.9\ chl\ a)_(63.14\ chl\ b)/214 \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

پس از جایگزین کردن داده‌ها در روابط بالا، اعداد به‌دست آمده در$1000 \times v/w$ ضرب گردید تا اعداد بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌دست آیند. V حجم محلول کلروفیلی بر حسب میلی‌لیتر و W وزن تر برگ بر حسب گرم می‌باشد.

۳- ۹-۲- محتوای نسبی آب برگ (RWC)

به‌منظور تعیین مقدار آب نسبی برگ، حدود ۱۵ روز پس از محلول‌پاشی از هرکرت سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب و از هر بوته یک برگ جوان و کاملاً رشدیافته قطع گردید. برگ‌ها بلافاصله درون پوشش‌های پلاستیکی و در داخل یخدان به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از توزین با ترازو با دقت ۰/۰۰۱گرم (وزن‌تر)، به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر و در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (کرامر، ۱۹۸۳). سپس برگ‌ها از آب مقطرخارج و آب روی آن‌ها با دستمال گرفته و خشک گردیدند و دوباره توزین شدند (وزن اشباع)، در نهایت نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید (وزن خشک). محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۳-۴ محاسبه شد.

رابطه (۳-۴) ۱۰۰×{(وزن خشک- وزن اشباع)/(وزن خشک- وزن تر)}= محتوای نسبی آب برگ

۳-۹-۳- پایداری غشای پلاسمایی برگ

برای تعیین شاخص پایداری غشاء پلاسمایی اقدام به نمونه‌گیری تعدادی برگ هم‌سن از هر ترکیب تیماری گردید، از نمونه برگ‌های تهیه شده به اندازه ۰/۰۱ گرم به‌صورت قطعات کوچک و هم‌اندازه جدا گردید، سپس این قطعات به فالکن‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و ۳۰ دقیقه درحمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (C1) قرار داده شدند. به همین ترتیب سری دوم فالکن‌ها آماده‌سازی گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (C2) قرارگرفتند. پس از خنک شدن، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هدایت الکتریکی نمونه‌ها توسط دستگاه مربوطه اندازه‌گیری شد و از طریق رابطه ۳-۵ میزان پایداری غشای پلاسمایی محاسبه گردید (سایرام و سریواساوا، ۲۰۰۱).

رابطه (۳-۵) $1- (C1/C2) \times 100$ = شاخص پایداری غشاء پلاسمایی

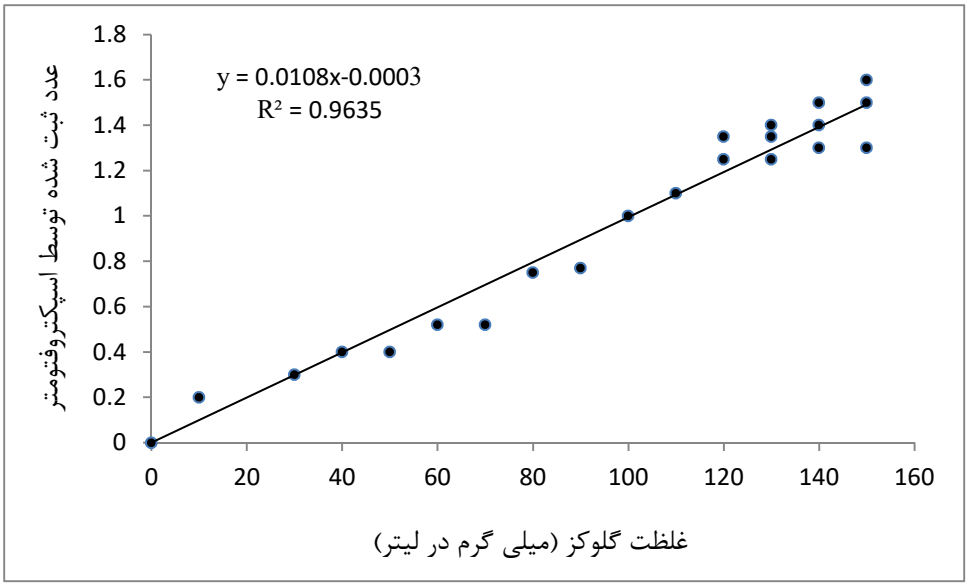
۳-۹-۴- محتوای قندهای محلول برگ

به‌منظور استخراج کربوهیدرات‌های غیرساختمانی ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه خوب پودر شده در فالکن ۱۵ میلی‌لیتری ریخته، ۸ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی-گراد در حمام آب گرم قرار داده شد. سپس لوله‌های حاوی نمونه‌ها خارج و پس از سرد شدن به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. روشناور لوله‌ها جدا و عمل استخراج سه بار تکرار شد. به روشناور جمع شده به ترتیب ۳/۵ میلی‌لیتر سولفات روی ($ZnSO_4$) ۵ درصد و ۳/۵ میلی‌لیتر هیدروکسید باریم ($Ba(OH)_2$) ۰/۳ نرمال جهت حذف رنگیزه‌ها اضافه گردید و دوباره ۲۰ دقیقه در ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. روشناور در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید و ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل جهت تعیین قند محلول به روش فنل اسید سولفوریک مورد استفاده قرار گرفت.

بر اساس روش فنل اسید سولفوریک روی ۲ میلی‌لیتر محلول برداشته شده از محلول به‌دست آمده، ابتدا ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ با فشار اضافه گردید. افزودن اسید سولفوریک با جوشش و تولید بخار سوزاننده و حرارت بالا همراه است. لذا این کار بایستی زیر هود و در ظرف مناسب انجام گیرد. بسته به غلظت قند موجود در نمونه رنگ گلبهی کم‌رنگ تا پررنگ ایجاد می‌شود. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه خنک شدند، سپس میزان جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. محلول شاهد با افزودن ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به ۲ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه گردید.

منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌هایی با غلظت صفر تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر گلوکز خالص و تکرار کلیه مراحل روش فنل اسید سولفوریک روی ۲ میلی‌لیتر از آن‌ها به‌منظور تبدیل مقادیر ثبت شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر به غلظت موجود در محلول در همان روز رسم گردید. معادله حاکم بر منحنی استاندارد $ABS=Ac + b$ می‌باشد که در آن ABS مقدار جذب، C غلظت قند موجود در محلول و a و b اعداد ثابت

هستند.



شکل ۳-۲- منحنی استاندارد قند محلول در طول موج ۴۸۳ نانومتر

۳-۹-۵- میزان آنتوسیانین برگ

برای سنجش میزان آنتوسیانین کل مقدار ۰/۰۲ گرم از بافت تازه گیاهی با ۴ میلی‌لیتر محلول اسیدکلریدریک ۱ درصد و متانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس، محلول به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. فاز رویی برداشته شد. و جذب آن در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین برای عصاره هر نمونه با استفاده از رابطه‌ی ۳-۶ اندازه‌گیری گردید (میتا و همکاران، ۱۹۹۷).

$$A=A_{530_} (0/25\ A_{657})$$ رابطه (۳-۶)

۳-۹-۶- فلاونوئید برگ

برای سنجش فلاونوئید، میزان ۰/۲ گرم از برگ در ۳ میلی‌لیتر اتانول اسیدی (شامل اتانول و اسید

کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱) به‌طور کامل سائیده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سرد شدن محلول، جذب نوری توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۳۰۰ نانومترخوانده شد. برای محاسبه غلظت از ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ مول برسانتی‌متر مربع استفاده شد میزان فلاونوئید عصاره هر نمونه با استفاده از رابطه‌ی ۳-۷ اندازه‌گیری گردید. (کرزک و همکاران، ۱۹۹۸).

$$fla=ABS(100) \times (V/700)$$ رابطه (۳-۷)

fla= میزان فلاونوئید برگ

ABS= عدد خوانده شده از اسپکتروفوتومتر، V= حجم عصاره حاصل از اتانول اسیدی و نمونه

۳-۹-۷- درصد و عملکرد پروتئین دانه

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه ابتدا میزان نیتروژن موجود در دانه اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده ازرابطه موجود پروتئین دانه محاسبه شد. مقدار نیتروژن موجود در نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از دستگاه کجلدال نیمه اتوماتیک مدل Vapodest 45Sساخت شرکت Gerhardt کشور آلمان انجام شد. این دستگاه از دو بخش هضم و تقطیر تشکیل شده است. بخش هضم در این مدل شامل ۱۵ لوله است. برای انجام عمل هضم ۲۵۰ میلی‌گرم از ماده گیاهی خوب پودر شده درون فلاسک‌های شیشه‌ای مخصوص کجلدال ریخته شد و مقدار ۱/۵ گرم سولفات پتاسیم و ۰/۱۵ گرم سولفات مس به‌عنوان کاتالیزور به هر فلاسک اضافه گردید. سپس به هر فلاسک ۱۵میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ افزوده شد و فلاسک‌ها درون اجاق مخصوص قرار داده شدند. دمای اجاق به آرامی تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد رسید. پایان عمل هضم پس از ۲ تا ۲/۵ ساعت و با تبدیل محلول سیاه رنگ درون فلاسک‌ها به محلولی سبز کم‌رنگ مشخص شد. لازم به ذکر است که در سری اول که نمونه‌ها در دستگاه هضم قرار داده شد نیاز به نمونه شاهد نیز بود که نمونه شاهد حاوی مخلوط بالا به جز نمونه گیاه می-

باشد. در مرحله بعد نمونه‌ها برای انجام عمل تقطیر، کاملاً سرد گردیدند. دستگاه دارای ۳ مخزن آب مقطر، سود سوزآور و محلول دریافت‌کننده بود. محلول دریافت‌کننده از ترکیب ۱۰۰ میلی‌لیتر بروموکروزول سبز (۰/۱گرم بروموکروزول سبز در ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل)، ۷۰ میلی‌لیتر متیل قرمز (۰/۱ گرم متیل قرمز در ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل) و ۱۰ لیتر اسید بوریک ۱ درصد تشکیل شده بود. پس از قرارگیری فلاسک‌ها در دستگاه به‌ترتیب ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی‌لیتر سود سوزآور ۴۰ درصد به نمونه‌ها اضافه شد و با فشار بخار آب عمل تقطیر انجام گرفت. طی مرحله تقطیر نیتروژن موجود در نمونه به‌صورت گاز آمونیاک متصاعد و رنگ محلول حاوی نمونه به قهوه‌ای سوخته تبدیل می‌گردد. گاز آمونیاک حاصل به ظرفی حاوی محلول دریافت‌کننده منتقل می-شود و به همراه اسید بوریک، بورات آمونیوم را تشکیل می‌دهدکه معرف‌های موجود در محلول دریافت‌کننده آن را به‌صورت رنگ سبز نمایان می‌سازند. برای انجام عمل تیتراسیون بورات آمونیوم حاصل از محلول دریافت-کننده توسط مقدار کافی از محلول تیتریزول اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال و تا رسیدن به رنگ ارغوانی تیتر شد. به منظور تبدیل مقدار اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال مصرف شده در تیتراسیون به نیتروژن نمونه و تبدیل آن به درصد پروتئین از روابط ۳-۸ و۳-۹ استفاده شد. ضریب تبدیل برای جو ۵/۸۲ در نظر گرفته شد. و برای محاسبه عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب عملکرد در درصد پروتئین آن استفاده گردید (والینگ و همکاران، ۱۹۸۹).

رابطه (۳-۸) درصد نیتروژن نمونه=(۰/۱۴ × A)/ وزن نمونه(گرم)

رابطه (۳-۹) درصد پروتئین نمونه = ضریب تبدیل پروتئین × درصد نیتروژن

A= حجم اسید کلریدریک ۰/۱ مولار مصرفی بر حسب میلی‌لیتر

۳-۹-۸- پتاسیم ساقه

به منظور اندازه‌گیری میزان پتاسیم ۲۰ روز پس از محلول‌پاشی نمونه برداری شد. نمونه‌های خشک شده‌ی گیاهی، با استفاده از آسیاب پودر گردیدند. سپس به مقدار ۱ گرم از بافت خشک در داخل ظرف چینی ریخته و

در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت قرار داده شد. پس از آن به هر کدام از نمونه ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه گردید و پس از قرار گرفتن در حمام آب گرم به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه و صاف شدن توسط کاغذ صافی، به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس نمونه ها با دستگاه فلیم فتومتر مدل CL 378 قرائت شده.

۳-۹-۹- کلسیم ساقه

برای اندازه‌گیری مقدار کلسیم ساقه از روش سوزاندن خشک استفاده شد. برای این منظور مقدار ۲ گرم از نمونه‌های آسیاب شده (۲۰ روز پس از محلول‌پاشی نمونه‌برداری شده بودند) با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد و نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در بوته چینی در کوره الکتریکی به مدت ۵ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از اتمام کار و رسیدن دمای نمونه‌ها به دمای محیط به هر نمونه یک قطره آب مقطر و ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در بن ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا بخار سفید رنگی از آن‌ها خارج شود. پس از اینکه نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور داده شدند به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شدند.

مقدار ۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل از سوزاندن خشک هر نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۵ میلی‌لیتر سود ۴ نرمال در یک فالکون ۵۰ میلی‌لیتری مخلوط شد. یک سر اسپاتول موروکساید به آن اضافه گردید. پس از مشاهده رنگ صورتی روشن تیتراسیون با EDTA ۰/۰۱ نرمال صورت گرفت تا رنگ محلول به بنفش متمایل به آبی تغییر نمود. میزان کلسیم در هرنمونه با توجه به میزان EDTA مصرف شده بر حسب میلی‌اکی والان از رابطه ۳-۱۰ محاسبه شد (غازانشاهی، ۱۳۷۶).

رابطه (۳-۱۰) $meq\ (Ca) = $ EDTA مصرفی × نرمالیته EDTA مصرف شده در تیتراسیون / میزان نمونه (ml) × ۱۰۰۰

۳-۹-۱۰- سیلیسیم ساقه

برای اندازه‌گیری سیلیسیم از روش یوشیدا و همکاران (۱۹۷۶) انجام شد. یک گرم از نمونه خشک گیاهی(۲۰ روز پس از محلول‌پاشی نمونه‌برداری شده بودند) درون ارن مایر ۷۵ میلی‌لیتر ریخته شد. سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید که مخلوطی از ۳ اسید (HNO_3 غلیظ، H_2SO_4 و $HCLO_4$) هرکدام به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر بود به هر نمونه اضافه شد. سپس نمونه‌ها حداقل به مدت ۲ ساعت زیر هود و در دمای اتاق پیش تجزیه شدند. محلول حاصل روی هیتر قرار داده شد و دمای آن به تدریج افزایش یافت تا بخار سفید رنگی از نمونه خارج گردید. عصاره هر نمونه داخل کاغذ صافی واتمن گرید ۴۱ ریخته و در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شود پس از خشک شدن کاغذ صافی درون کروزه چینی قرار داده شد و به مدت ۳ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دید. خاکسترحاصل توزین شد. که درواقع همان سیلسیم خالص به ازای یک گرم نمونه است.

۳-۱۰- مقاومت خمش و برش ساقه

برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی جو نمونه‌برداری از ساقه جو در تاریخ ۱۵ تیر ۱۳۹۷ (۱۱۰ روز پس از کاشت و پس از رسیدگی فیزیولوژیک) به‌طور دقیق و با ایجاد کم‌ترین فشار نسبت به ساقه انجام گردید و پس از کدگذاری، به‌منظور جلوگیری از صدمات ناشی از جا به جایی، نمونه‌ها درون استوانه‌های طلقی از پیش ساخته شده قرار گرفتند (شکل ۳-۳). از هر ترکیب تیماری تعداد ۱۰ نمونه جهت انجام آزمایش مقاومت خمشی و برشی ساقه تهیه شد. قطر ساقه و ضخامت دیواره ساقه در میان‌گره اول و دوم هر نمونه به وسیله‌ی کولیس دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت گردید. همچنین قطر داخلی ساقه با استفاده از رابطه ۳-۱۱ محاسبه گردید. برای انجام دو تست، خمش سه نقطه‌ای و برش از دستگاه آزمون مواد (STM 20) ساخت شرکت سنتام ایران استفاده گردید. برای تست خمش ساقه جو با استفاده از دستگاه آزمون مواد، آزمون خمش سه نقطه ای انجام شد. به‌این منظور پروبی با سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه در دمای محیط، در وسط ساقه جو که روی دو

تکیه‌گاه قرار داده شده بود تا نقطه شکست ساقه بارگذاری شد (شکل ۳-۴). برای این آزمایش از میان‌گره اول ساقه جو استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی (قطر داخلی و خارجی) هر نمونه در برنامه مربوط به آزمایش خمش وارد گردید و سپس نمونه مورد نظر در دستگاه قرار گرفت و میزان نیروی خمش اندازه‌گیری شد. با استفاده از روابط ۳-۱۲ و ۳-۱۳ میزان مقاومت خمشی نمونه محاسبه گردید.

برای انجام آزمایش برش با توجه به ویژگی‌های گیاه جو و با استفاده از اطلاعات مندرج در مقالات مورد مطالعه فکی با استفاده از نرم‌افزار Solidworks طراحی گردید که جزئیات فک مورد نظر در شکل (۳-۵) مشاهده می‌شود و توسط دستگاه‌های مختلف ساخته شد (شکل ۳-۶). آزمایش برش روی میان‌گره دوم انجام شد که برخی از ویژگی‌های فیزیکی (قطر داخلی و خارجی) آن اندازه‌گیری و در برنامه مربوط به آزمایش برش وارد شده بود انجام شد. نیروی برش با سرعت ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه اندازه‌گیری گردید. دستگاه اینسترون همزمـان به رایانه متصل بود و داده‌برداری صورت می‌گرفت. بعد از انجام برش، ضخامت دیواره ساقه در نقطه برش اندازه‌گیری شد. میزان مقاومت برشی ساقه جو با استفاده از رابطه ۳-۱۴ محاسبه گردید.

$$d'=d-2t$$ رابطه (۳-۱۱)

d′= قطر داخلی ساقه (mm)، d= قطر خارجی (mm)، t= ضخامت ساقه (mm)

$$I=\frac{\pi}{4}\left[ab^3-(a-t)^3\times(b-t)^3\right]$$ رابطه (۳-۱۲)

I= گشتاور لختی یا همان گشتاور دوم سطح مقطع ساقه (M^4)

a= بیشترین قطر ساقه (mm)، b= کم‌ترین قطر ساقه (mm)، t= متوسط ضخامت ساقه (mm)

$$\delta=\frac{Fal}{4I}$$ رابطه (۳-۱۳)

δ =مقاومت خمشی (MPa)

F= نیروی خمش (N)، a= قطر ساقه (mm)، l= فاصله بین دو تکیه گاه ثابت(دو نقطه ثابت) که ساقه روی آن قرار داده شده است (mm)، I= گشتاور لختی یا همان گشتاور دوم سطح مقطع ساقه (M^4)

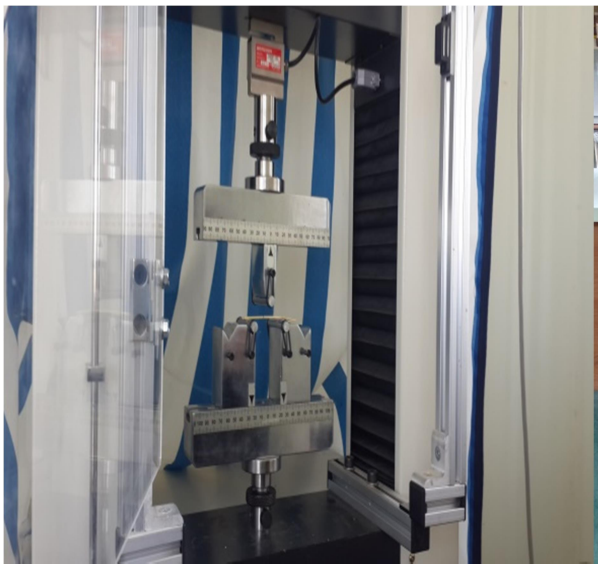
رابطه (۳-۱۴)

$$T_S = \frac{f}{2A}$$

Ts= مقاومت برشی ساقه (MPa)

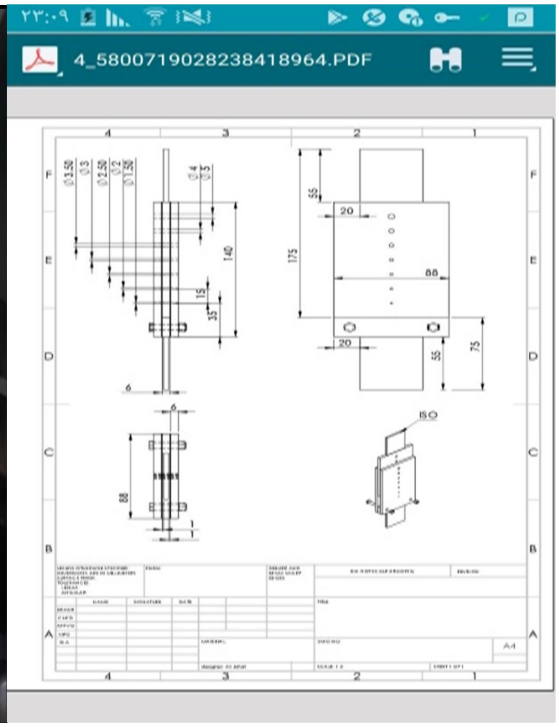
F=نیروی برش (N)، A= ضخامت دیواره نمونه در بخش برش داده شده (mm)

شکل ۳-۳- استوانه های طلقی حاوی نمونه



شکل ۳-۴- پروپ ۳ نقطه آزمایش خمش

شکل ۳-۶- فک برشی متصل به دستگاه آزمون مواد



شکل۳-۵- طرحواره فک برشی

۳-۱۱- تجزیه داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و MSTATC و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار excel انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت پذیرفت.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴-۱- ماده خشک برگ، ساقه، غلاف و سنبله

از بین خصوصیات وابسته به رشد، میزان ماده خشک به دلیل اهمیت بیشتر به عنوان عاملی تعیین‌کننده محسوب می‌شود (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۸۷).

۴-۱-۱- وزن خشک برگ

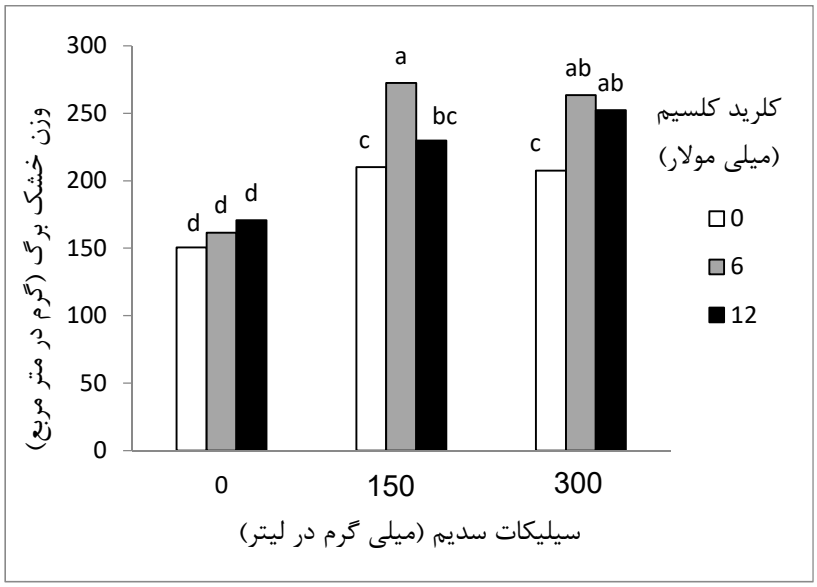
یکی از مطمئن‌ترین روش‌های ارزیابی میزان رشد گیاه اندازه‌گیری وزن خشک می‌باشد. گیاهانی‌که وزن خشک کمتری دارند، توانایی کمتری برای استفاده محیطی داشته اند و یا شرایط نامناسب محیطی سبب کاهش فرآیندهای فیزیولوژیک دخیل در فرآیند اسیمیلاسیون گردیده است (خواجه‌پور، ۱۳۸۹).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های وزن خشک برگ در جدول پیوست ۱ نشان داده شده است. اثرات اصلی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم و اثرات متقابل سیلیکات سدیم درکلرید کلسیم، کلرید کلسیم در سولفات پتاسیم و اثر سه جانبه در سطح احتمال ۱ درصد بر این صفت معنی‌دار شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، وزن خشک برگ در گیاهان شاهد و گیاهان محلول‌پاشی شده با کلرید کلسیم بدون حضور سیلیکات سدیم به‌طور میانگین ۱۶۰ گرم در مترمربع و کمترین مقدار ثبت شده بود. لذا کاربرد کلرید کلسیم به‌تنهایی تأثیری بر این صفت نداشت. سایر تیمارها این صفت را بهبود بخشیدند. مقادیر بالایی از وزن خشک برگ (۲۷۲/۴ گرم در مترمربع) در محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار مشاهده شد که البته با تیمارهای محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با دو سطح ۶ و ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم اختلاف معنی‌داری نداشت. کاربرد سیلیکات سدیم به‌تنهایی و در هردو غلظت نیز مؤثر بود. (شکل ۴-۱).

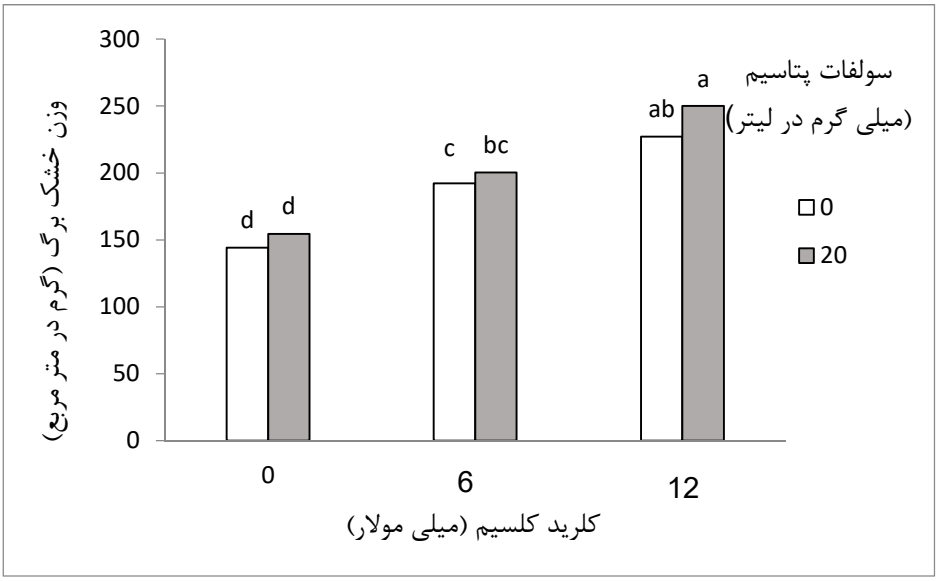
همچنین مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح مختلف محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سولفات پتاسیم نشان دهنده مقادیر پایینی از وزن خشک برگ در گیاهان شاهد و تیمار محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بدون حضور

کلرید کلسیم بود، و سایر ترکیبات تیماری میزان تجمع ماده خشک برگ را بین ۷/۱۳ تا ۷۳/۳۱ درصد افزایش دادند (شکل ۴-۲).

به‌طور کلی در ترکیب سه جانبه سیلیکات سدیم ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر، کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات پتاسیم بالاترین مقدار وزن خشک برگ ثبت شد که نسبت به شاهد ۱۴۸/۵۱ درصد بیشتر بود (جدول پیوست ۲). تجمع ماده خشک به‌عنوان یک صفت مهم برای حصول عملکرد بالا در گیاهان مورد توجه است (ساکسنا، ۱۹۹۰). پیرو گزارش سیدلرفاطمی و همکاران (۱۳۸۸) افزایش غلظت سیلیسیم در محلول غذایی، وزن تر و خشک برگ توت فرنگی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، که این یافته‌ها با نتایج کایا و همکاران (۲۰۰۲) و گائو و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. همچنین کلسیم به‌طور مستقیم در فرآیندهای فتوسنتز دخالت دارد و کمبود آن از طریق کاهش کارایی کربوکسیلاسیون و فتوسنتز موجب کاهش قابل توجه بیوماس گیاهان می‌شود (کوکابی و طباطبایی، ۲۰۱۱). غلظت ۳۵ میلی‌مولار کربنات کلسیم در محلول غذایی موجب افزایش وزن خشک برگ توت فرنگی می‌شود (کایا و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۴-۱- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



شکل ۴-۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

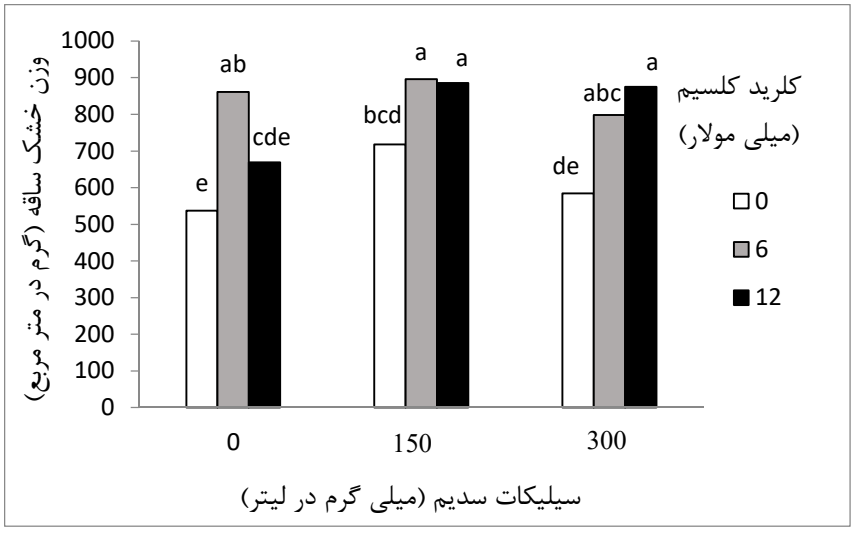
۴-۱-۲- وزن خشک ساقه

ساقه محور اصلی ذخیره است که می‌تواند دانه‌های در حال پر شدن را از طریق انتقال مجدد ذخایر حمایت کند (گیونتا، ۱۹۹۵). لذا وزن خشک بیشتر ساقه می‌تواند صفتی مطلوب باشد.

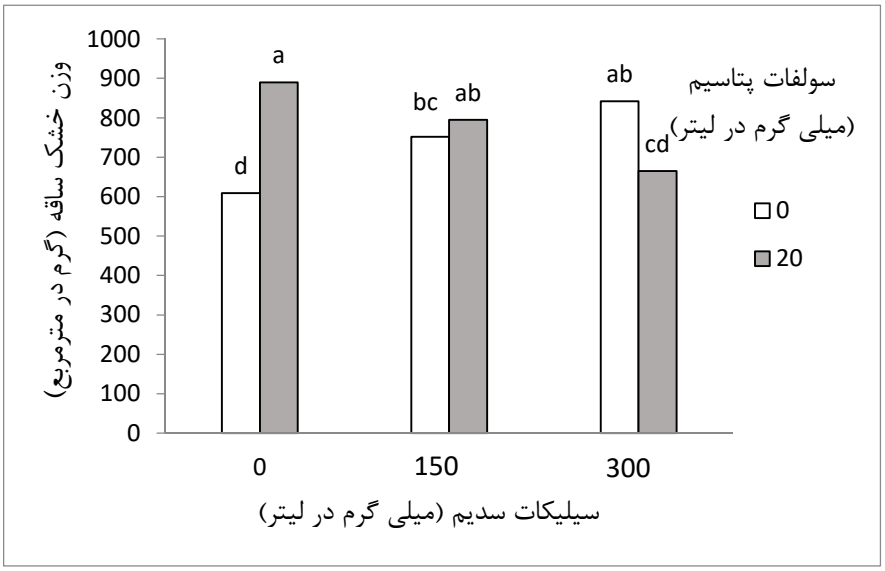
نتایج حاصل از تجزیه واریانس جدول پیوست ۱ نشان داد که اثر اصلی کلریدکلسیم در سطح احتمال ۵ درصد و برهم‌کنش سیلیکات سدیم با کلرید کلسیم و سیلیکات سدیم با سولفات پتاسیم و نیز اثر سه جانبه تیمارها بر وزن خشک ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. ترکیبات تیماری یاد شده از لحاظ تأثیر-گذاری بر وزن خشک ساقه در شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴ مقایسه شده‌اند. ملاحظه می‌گردد محلول‌پاشی کلریدکلسیم ۶ میلی‌مولار در هر سه سطح سیلیکات سدیم و محلول‌پاشی این ماده با غلظت ۱۲ میلی‌مولار همراه با سیلیکات سدیم ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در سطح آماری برتر قرار گرفتند. بیشترین افزایش مشاهده شده نسبت به شاهد مربوط به سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولاربود که ۶۶/۸۱ درصد بیشتر از شاهد بود (شکل ۴-۳).

در گیاهانی که به‌تنهایی با سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر یا با سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شده بودند. وزن خشک ساقه حدود ۸۶۵/۹ گرم در مترمربع به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۴۲ درصد افزایش داشت که البته با محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر و سولفات پتاسیم ۶ میلی‌مولار در یک گروه آماری قرارگرفتند. همچنین نتایج نشان داد که اگر سیلیکات سدیم به‌تنهایی استفاده شود تفاوت معنی‌داری بین دو غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر از لحاظ تأثیرگذاری بر وزن خشک ساقه وجود نخواهد داشت (شکل ۴-۴).

مقایسه ترکیب‌های تیماری سه جانبه نشان داد که کاربرد توأم سیلیکات سدیم ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر، کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار بالاتری از وزن خشک ساقه را نسبت به سایر تیمارها دارا بود که البته با تعدادی از ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول پیوست ۲). مالی و همکاران (۲۰۰۸) اثرات سیلیسیم در غلظت‌های مختلف را بر رشد دانه، تولید ماده خشک و تغذیه معدنی لوبیای چشم بلبلی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سیلیسیم در مقادیر کم به‌طور معنی‌داری تعداد دانه، وزن تر و خشک ریشه و ساقه را افزایش داد. همچنین طی آزمایشی در سورگوم مصرف پتاسیم بالاترین وزن خشک ساقه (۱۰۸/۲۲ گرم در بوته) نشان داده است (صادقی لطف آبادی و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۴-۳- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



شکل ۴-۴- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

۴-۱-۳- وزن خشک غلاف

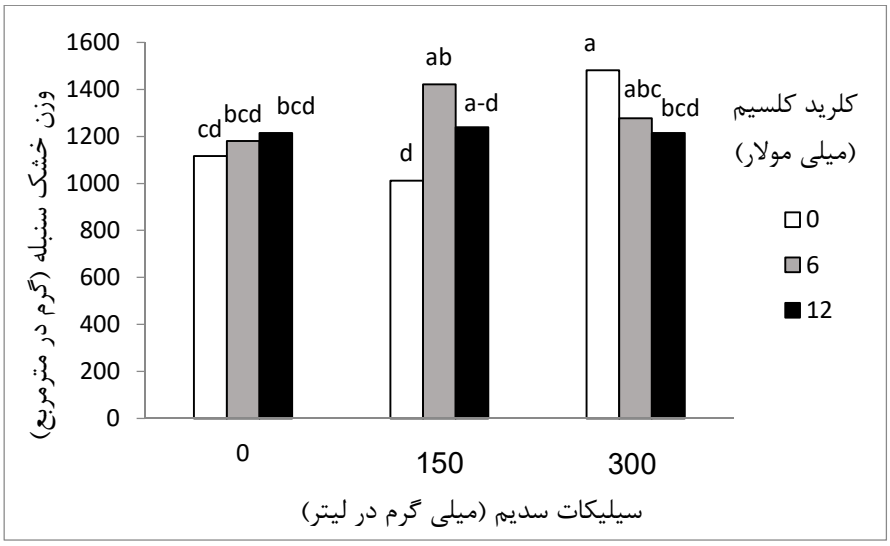
از بین منابع تغییر فقط اثر سه جانبه تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱). وزن خشک غلاف در گیاهان شاهد ۷۵/۱۷ گرم در مترمربع به‌دست آمد. این مقدار با اعمال ترکیبات تیماری مختلف بین ۲۶ تا ۱۸۰ درصد بهبود یافت. بیشترین اثر مربوط به ترکیب تیماری سه جانبه سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بدون حضور کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم بود که ۱۸۰ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد که البته با تعدادی از ترکیبات تیماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول پیوست ۲).

۴-۱-۴- وزن خشک سنبله

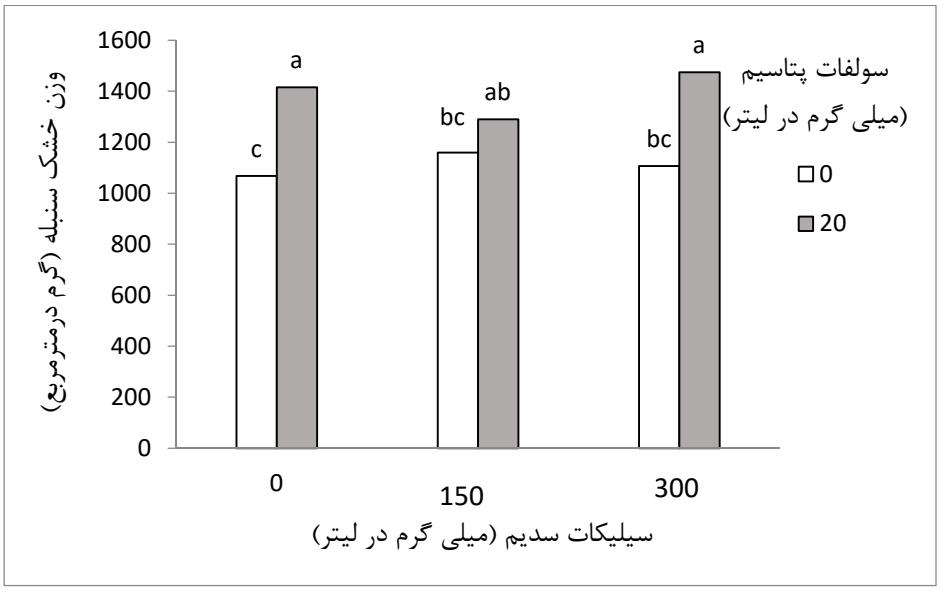
اثر برهم‌کنش سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم ($p <$ ۰/۰۵) و سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم و اثر سه جانبه آن‌ها ($p <$ ۰/۰۱) بر این صفت معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱). نتایج برهم‌کنش محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم نشان داد که کاربرد توأم ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم با ۶ میلی‌مولار کلرید کلسیم و نیز سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در عدم حضور کلرید

کلسیم به‌طور معنی‌داری (به‌طورمتوسط ۳۲ درصد) وزن خشک سنبله را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۴-۵). نتایج درج شده در شکل ۴-۶ بیانگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر وزن خشک سنبله است به‌گونه‌ای که کاربرد این ماده به‌تنهایی یا همزمان با سیلیکات سدیم سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک سنبله گردید. ولدآبادی و علی‌آبادی فرهانی (۱۳۸۷) نیز اعلام کردند که کاربرد پتاسیم روی سه گیاه ذرت، سورگوم و ارزن موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک سنبله و خوشه می‌شود. مقایسه ترکیبات تیماری حاصل از کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم نشان داد که به‌جز محلول‌پاشی سولفات پتاسیم به‌تنهایی که اختلافی با شاهد نداشت، سایر ترکیبات تیماری نسبت به شاهد میزان ماده خشک سنبله را بهبود بخشیدند (شکل۴-۷). مقایسه اثر سه جانبه نشان داد که ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر، کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار و ۲۰ میلی‌گرم سولفات پتاسیم بهترین ترکیب تیماری برای افزایش وزن خشک سنبله بود (جدول پیوست ۲).

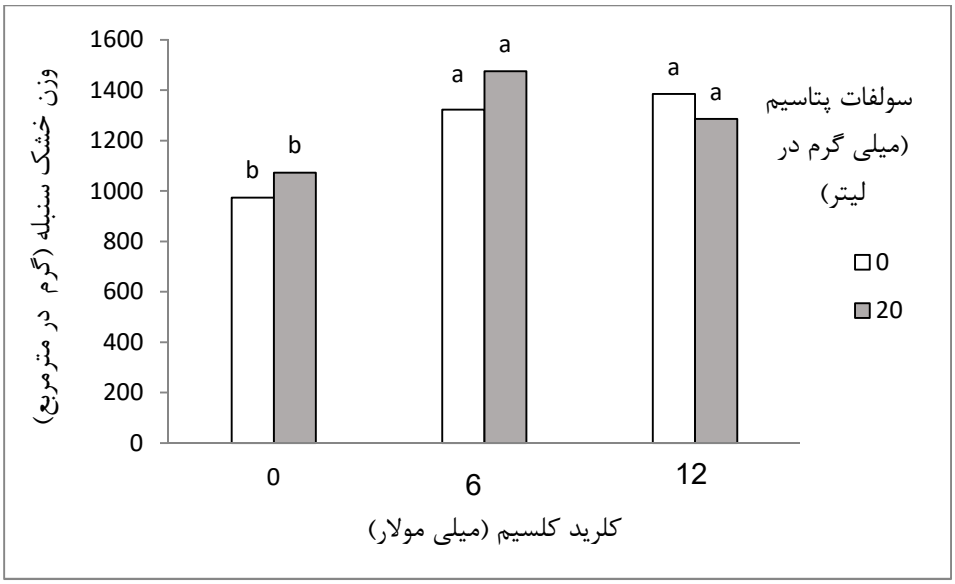
محققان با مطالعه اثر سیلیس بر رشد گیاه برنج دریافتند که افزودن سیلیس طی مرحله زایشی به محلول غذایی برنج موجب افزایش ۲۴/۳ و ۳۰ درصد وزن خشک خوشه و دانه نسبت به شاهد شد (آگاریه و همکاران، ۱۹۹۳). به‌طور کلی مصرف کلسیم به‌صورت محلول‌پاشی اثر مثبتی بر رشد و وزن خشک خوشه در سورگوم داشته است (نجف و میرمعصومی، ۱۳۷۶).



شکل ۴-۵- مقایسه میانگین وزن خشک سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



شکل ۴-۶- مقایسه میانگین وزن خشک سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم



شکل ۴-۷- مقایسه میانگین وزن خشک سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

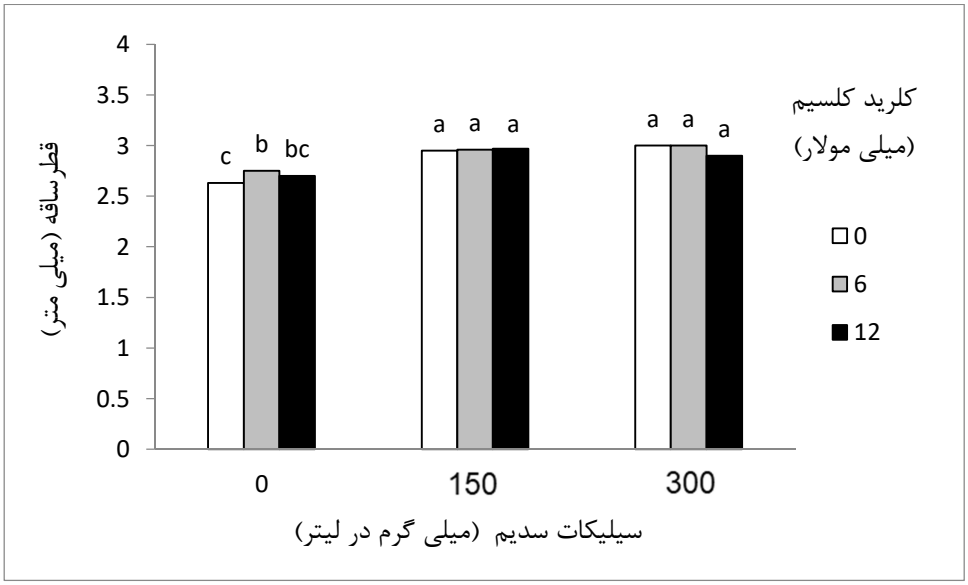
۴-۲- شاخص سطح برگ

یکی از شاخص‌ها در آنالیز رشد، شاخص سطح برگ می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هیچ کدام از منابع تغییر بر شاخص سطح برگ معنی‌دار نشد (جدول پیوست ۳).

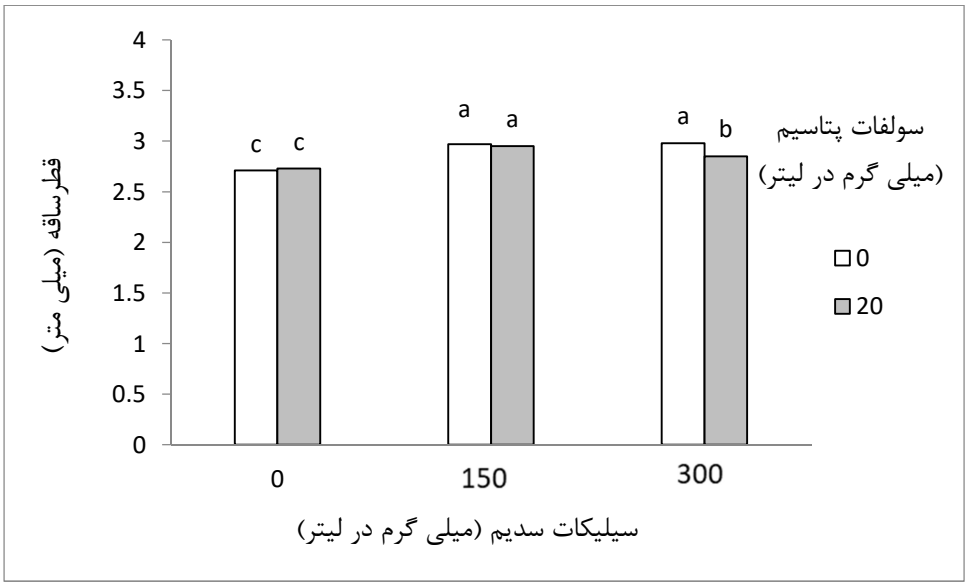
۴-۳- قطر ساقه

صفت قطر ساقه از نظر تأمین استحکام و پایداری گیاه، مقاومت آن در برابر ورس و نیز برخی از بیماری‌های قارچی حائز اهمیت است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تمامی تیمارها و برهم‌کنش آن‌ها به جز اثر اصلی سولفات پتاسیم و اثر متقابل کلرید کلسیم بر سولفات پتاسیم بر قطر ساقه در سطح احتمال ۱ درصد بر این صفت معنی‌دار گردید (جدول پیوست ۳). در بین ۹ ترکیب تیماری مورد مطالعه حاصل از سطوح مختلف سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم، میزان قطر ساقه بین ۲/۶۳ تا ۳ میلی‌متر متغیر بود. قطر ساقه گیاهان شاهد ۲/۶۳ میلی‌متر بود که در اثر همه ترکیبات تیماری به‌طور معنی‌داری بهبود یافت. طوری که مقدار این صفت در گیاهانی که محلول سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم درلیتر را همراه با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار دریافت کرده بودند با ۳۰/۴۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت که معادل ۳ میلی‌متر بود (شکل ۴-۸).

قطر ساقه در ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر در حضور و عدم حضور سولفات پتاسیم به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش یافت و همین نتیجه در اثر کاربرد برگی سیلیکات سدیم با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدون مصرف سولفات پتاسیم به‌دست آمد (افزایش به‌طور متوسط ۹/۵ درصدی نسبت به شاهد داشت). در اثر همراه شدن سولفات پتاسیم با غلظت بالای سیلیکات سدیم ، قطر ساقه کمتری ثبت شد هر چند نسبت به شاهد برتری معنی‌داری داشت (شکل ۴-۹). همچنین بررسی اثر سه جانبه در این صفت نشان داد که ترکیب تیماری ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار در سطح صفر سولفات پتاسیم بهترین ترکیب تیماری برای این صفت است (جدول پیوست ۵). کلسیم برای تقسیم سلولی، تشکیل و استحکام دیواره سلولی ضروری است بنابراین کاربرد آن در افزایش قطر و استحکام ساقه به اثبات رسیده است (موئز اردلان و سوابقی فیروزآبادی، ۱۳۷۶). سیلیسیم نیز در دیوارهای سلول رسوب می‌کند و با ماکرومولکول‌های آلی (شامل سلولز، پکتین، گلیکوپروتئین‌ها و لیگنین) ترکیب و قطر ساقه را افزایش می‌دهد (مالی و آری،۲۰۰۸).



شکل ۴-۸- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

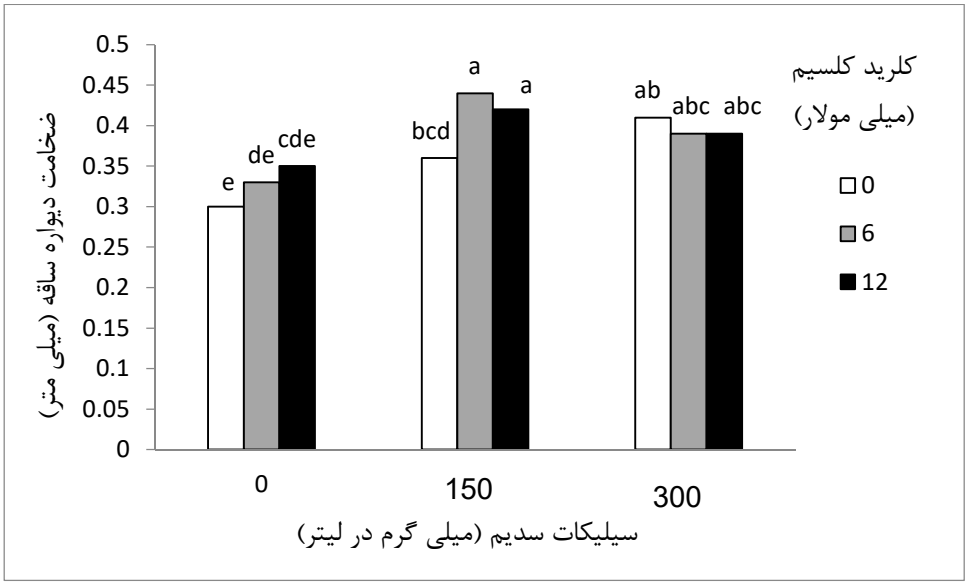


شکل ۴-۹- مقایسه میانگین قطر ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

۴-۴- ضخامت دیواره ساقه

از بین منابع تغییر اثر اصلی کلرید کلسیم و برهم‌کنش سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم ($p <$ ۰/۰۱) بر ضخامت دیواره ساقه معنی‌دار شد (جدول پیوست ۳). اثر ترکیبات تیماری حاصل از سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم بر این صفت در شکل ۴-۱۰ مقایسه شده‌اند. ملاحظه می‌گردد که میزان ثبت شده برای این صفت در ترکیب محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با محلول‌پاشی کلرید کلسیم به هر دو سطح ۶ و ۱۲ میلی‌مولار به ترتیب ۴۶/۶۶ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود. به‌طور کلی ضخامت دیواره ساقه جو تحت محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در هر دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با هر سه سطح کلرید کلسیم به‌طور معنی‌داری بهبود یافت. استحکام بافت‌ها توسط افزودن کلسیم افزایش می‌یابد. در واقع تشکیل پکتات‌های کلسیم، استحکام تیغه میانی و دیواره سلولی و ضخامت ساقه را افزایش می‌دهد (آگایو، ۲۰۰۸)

گزارش شده است که کاربرد سیلیس می‌تواند سبب افزایش مقاومت نیشکر به ساقه‌خوارها در اثر افزایش تجمع سیلیکا در بافت‌های برگ و ساقه و در نتیجه افزایش ضخامت بافت‌ها شود (کیپینگ و همکاران، ۲۰۰۹ و رینولد و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۴-۱۰- مقایسه میانگین ضخامت ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

۴-۵- زاویه برگ پرچم

از بین منابع تغییر، تنها محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر زاویه برگ پرچم داشت (جدول پیوست ۳). مقایسه سطوح محلول‌پاشی سیلیکات سدیم نشان داد که تیمار شاهد با میانگین ۵۶/۷۷ درجه نسبت به افق کمترین زاویه را به خود اختصاص داد. در گیاهانی سیلیکات سدیم را در هر دو غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر توسط برگ دریافت کرده بودند زاویه برگ‌های پرچم نسبت به افق بیشتر و لذا این برگ‌ها عمودی‌تر بودند. بین این دو غلظت از نظر تأثیرگذاری بر صفت یاد شده اختلاف معنی-داری وجود نداشت (شکل ۴-۱۰). در حضور سیلیس برگ‌ها، ساقه‌ها و غلاف‌های گیاهان، به‌ویژه برنج یک رشد مستقیم نشان می‌دهد و در نتیجه توزیع نور در داخل پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی بهبود می‌یابد (الوید و گرین، ۱۹۷۹ و سونت و همکاران، ۱۹۹۹).

شکل ۴-۱۱- مقایسه میانگین زاویه برگ پرچم تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم

۴-۶- طول ساقه

نتیجه حاصل از تجزیه واریانس (جدول پیوست ۳) نشان داد که اثر هیچ کدام از منابع تغییر بر طول ساقه معنی‌دار نشد.

۴-۷- تعداد پنجه در بوته

ظرفیت پنجه‌زنی یکی از مهم‌ترین عوامل برای افزایش عملکرد به‌شمار می‌آید (عزیزی‌نیا، ۲۰۰۵). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس برهم‌کنش سه جانبه تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۴). گیاهان شاهد به‌طور متوسط ۲/۶۶ پنجه در بوته تولید کردند. همه تیمارها این تعداد را بهبود بخشیدند و در نهایت ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار بدون حضور و در حضور سولفات پتاسیم به ۵/۵ پنجه در بوته رسید. اکثر تیمارها اختلاف با هم نداشتند و اختلاف تعدادی نیز با شاهد معنی‌دار نبود (جدول پیوست ۵). سیلسیم موجب رشد رویشی، افزایش تعداد پنجه، افزایش سنبلک‌ها و درصد خوشچه‌های پر در پانیکول‌ها می‌گردد (آگاری و همکاران، ۱۹۹۳). گلان و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایشی اثر کلسیم را بر گندم بررسی و نشان دادند که افزودن کلسیم از طریق افزایش تعداد پنجه و سنبله

در بوته موجب افزایش عملکرد دانه در گندم گردید. نتایج نوروزی و سپانلو (۱۳۹۳) نشان دادند عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و تعداد پنجه در بوته گیاه جو تحت تأثیر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم نسبت به شاهد بهبود یافتند.

۴-۸- عملکرد و اجزای عملکرد

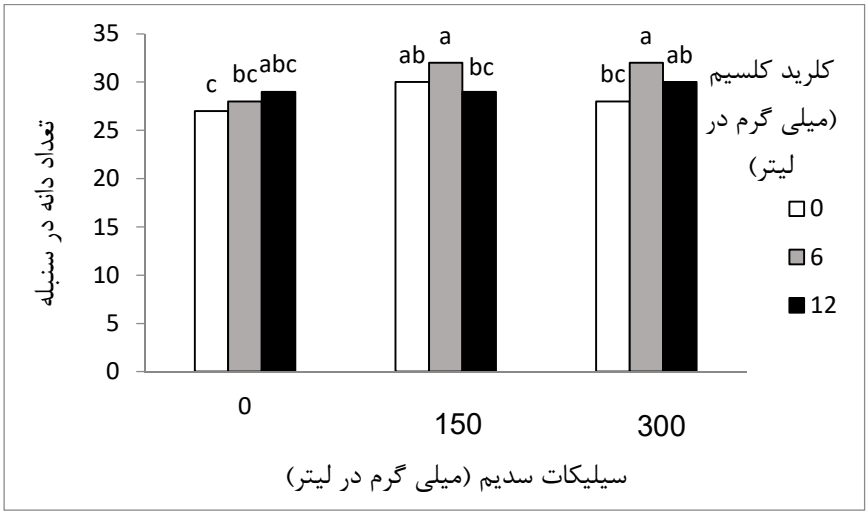
۴-۸-۱- تعداد سنبله در بوته

یکی از شاخص‌های مهم و تأثیرگزار در عملکرد، تعداد سنبله در بوته می‌باشد که تحت تأثیر هیچ کدام از منابع تغییر قرار نگرفت (جدول پیوست۴).

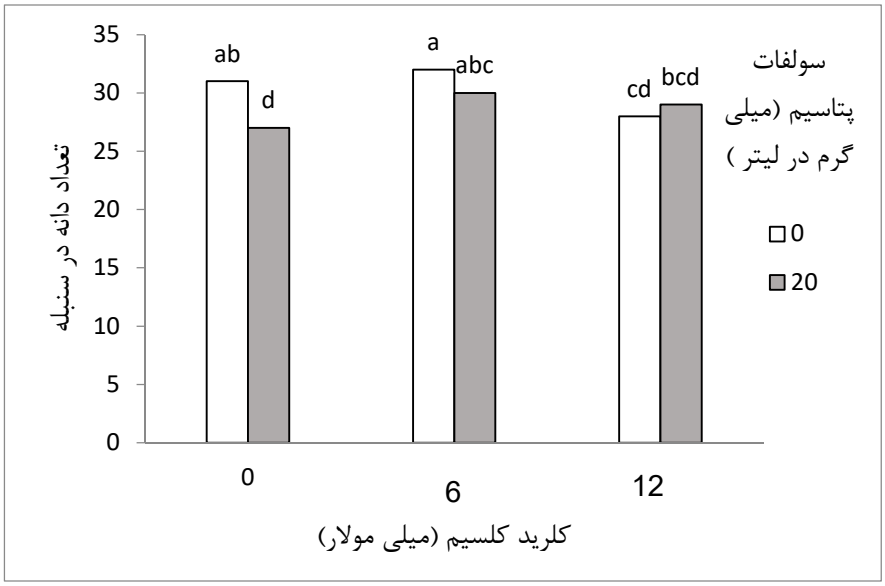
۴-۸-۲- تعداد دانه در سنبله

اثر کلرید کلسیم، سولفات پتاسیم و اثر متقابل سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱درصد و اثر متقابل کلرید کسیم در سولفات پتاسیم، سیلیکات سدیم در سولفات پتاسیم و اثر سه جانبه در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد (جدول پیوست ۴). مقایسه ترکیب تیماری سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم نشان داد که ترکیب سیلیکات سدیم ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر توأم با کلرید کلسیم ۶ میلی-مولار تعداد دانه سنبله بیشتری را به خود اختصاص دادند که همراه با ترکیب‌های حاصل از سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و سطح صفر کلرید کلسیم و سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به همراه کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان دادند (شکل ۴-۱۲). در بررسی برهم‌کنش کلرید کلسیم در سولفات پتاسیم مشخص شد که از لحاظ تأثیرگذاری بر این صفت انجام محلول‌پاشی همزمان کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم نتوانست موجب بهبود این صفت نسبت به شاهد گردد، حتی در مواردی نیز اثر منفی بر جای گذاشت. به‌طوری که کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله در گیاهانی مشاهده شد که به‌تنهایی با سولفات پتاسیم یا کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار محلول‌پاشی شدند (شکل ۴-۱۳). در بین ترکیبات تیماری

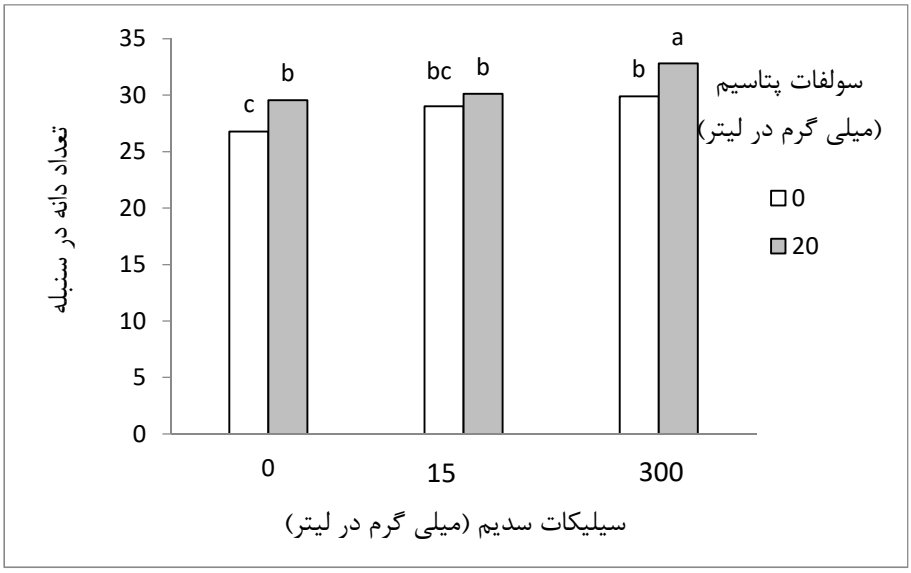
حاصل از سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم بیشترین تعداد دانه در سنبله در گیاهانی مشاهده شد که تحت محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۳۰۰ و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر قرار گرفته بودند (شکل ۴-۱۴). مقایسه ترکیبات تیماری سه جانبه نشان داد که مقادیر بالایی از تعداد دانه در سنبله در اثر ترکیب تیماری ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار بدون حضور سولفات پتاسیم به ۳۵ عدد رسید که نسبت به شاهد ۴۸ درصد بیشتر بود (جدول پیوست ۶). در آزمایشی نشان داده شد که مصرف کود سیلیکات کلسیم موجب افزایش تعداد دانـه در خوشـه برنج گردید (صداقت و پیردشتی، ۱۳۹۴). در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد کـه بـا مـصرف سیلـسیم در برنج، تعداد دانه در خوشه افزایش یافت (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج مطالعات محققین حاکی از این است که کلسیم از طریق سنتز کلروفیل سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (صادقی لطف‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین احمدی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که محلول‌پاشی کلسیم موجب افزایش تعداد دانه در گیاه کنجد می‌شود.



شکل ۴-۱۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی عناصر سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



۴-۱۳- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

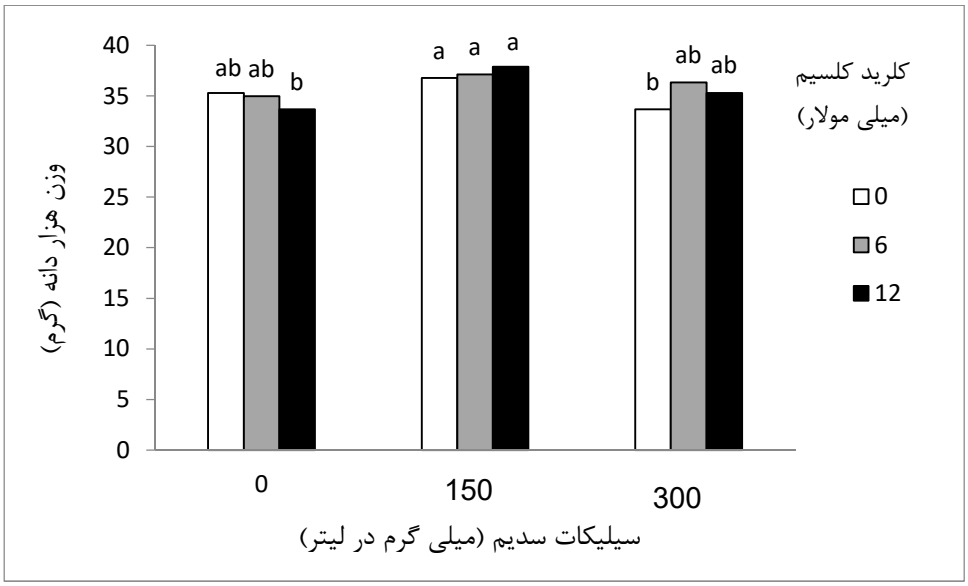


شکل ۴-۱۴- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله تحت‌تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

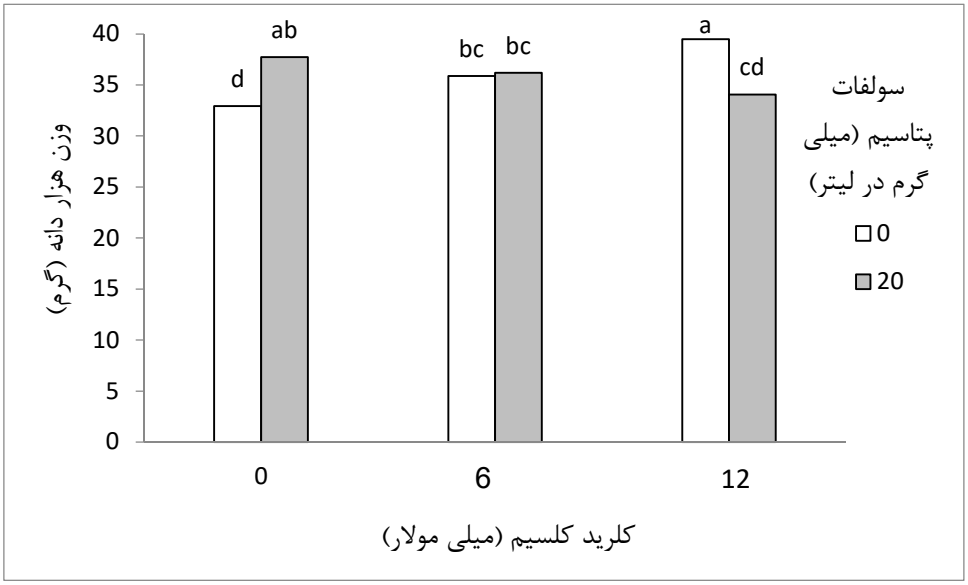
۴-۸-۳- وزن هزار دانه

در جدول پیوست ۴ مشاهده می‌گردد که وزن هزار دانه از برهم‌کنش سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم در سطح احتمال ۵ درصد و کلرید کلسیم در سولفات پتاسیم در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت. در شکل ۴-

۱۵ مشاهده می‌شود که هیچ کدام از ترکیبات تیماری حاصل از سطوح مختلف سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم نتوانستند مقدار وزن هزار دانه جو را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری تغییر دهند. این درحالی است که برخی از تیمارها مانند کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار و سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش و در مقابل سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با هر سه سطح کلرید کلسیم موجب افزایش این صفت شده بود. همچنین در مقایسه ۶ ترکیب تیماری مورد مطالعه مشخص شد که گیاهان دریافت‌کننده کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار بدون سولفات پتاسیم و نیز سولفات پتاسیم در شرایط عدم حضور کلرید کلسیم بیشترین وزن هزار دانه را دارا بودند. درحالی‌که محلول‌پاشی کلریدکلسیم ۱۲ میلی‌مولار در ۲۰ گرم همراه با لیتر سولفات پتاسیم تأثیری بر این صفت نداشت و با شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۴-۱۶). درآزمایشی در اثر مصرف سیلیسیم نسبت به عدم مصرف آن، وزن هزار دانه برنج افـزایش یافـت (فلاح، ۲۰۰۰). بیان شده است که سیلیسیم عملکرد خوشـه‌چـه و وزن دانـه را افـزایش مـی‌دهـد و بـرای پایـداری عملکـرد محصولات برنج ضـروری اسـت (ماتسو و همکاران، ۱۹۹۵). نتایج پژوهش اسدی و همکاران (۱۳۹۸) نشان می‌دهد کاربرد کلرید کلسیم، افزایش در وزن دانه در بوته را به دلیل بهبود انتقال تولیدات فتوسنتزی از برگ‌ها به دانه به‌عنوان مخازن فیزیولوژیک به دنبال داشته است. پتاسیم نیز نقش بسیار مهمی در نقل و انتقال قند از طریق آوند آبکش دارد که با حضور آن قند تولید شده در فرآیندهای فتوسنتزی، از طریق آوند آبکش به سایر اندام‌ها منتقل می‌گردد و رشد آن‌ها را تضمین می‌کند. بنابراین کاربرد پتاسیم می‌تواند تأثیر مثبتی در افزایش وزن دانه در بوته داشته باشد (ولد آبادی و علی‌آبادی فرهانی، ۱۳۸۴).



شکل ۴-۱۵- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



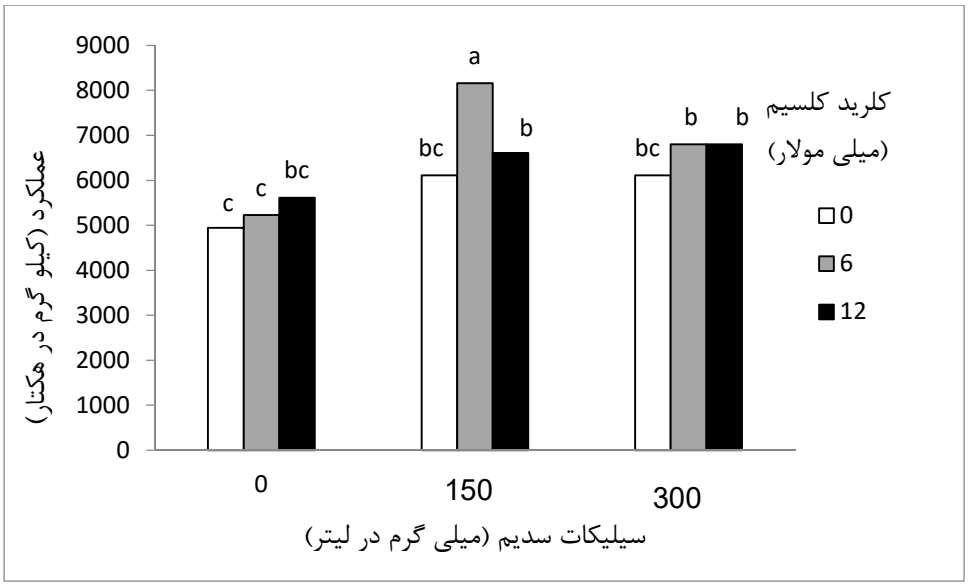
شکل ۴-۱۶- مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

۴-۸-۴- عملکرد دانه

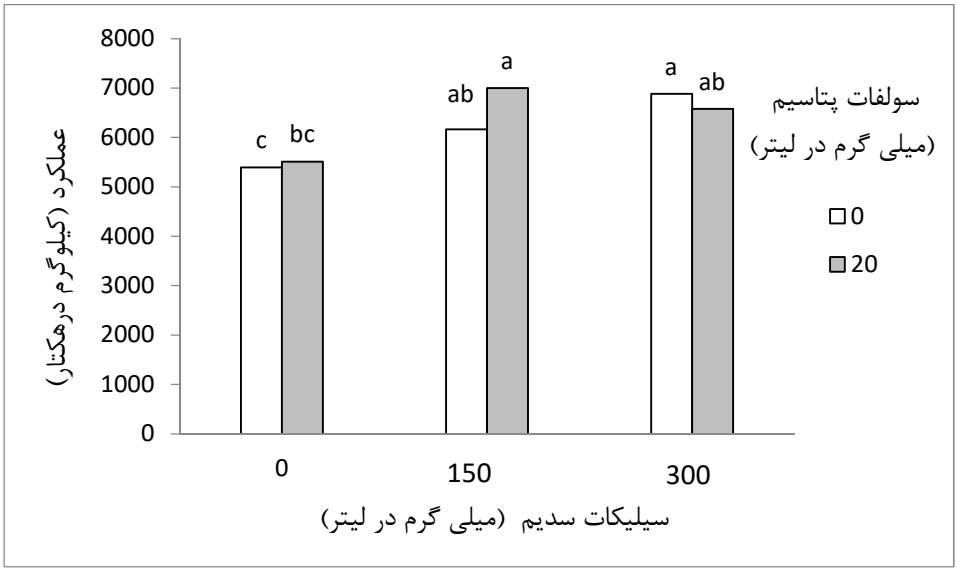
دانه‌ها آخرین مقصد مواد فتوسنتزی هستند و کارایی یک رقم یا یک کشت یا تیمار در نهایت تولید اقتصادی را در زراعت‌هایی که دانه هدف تولید است، تعیین می‌کند اگرچه ممکن است که کاهش یک جزء و افزایش اجزای دیگر تغییرات چندانی ایجاد نکند ولی مقدار مناسب اجزای عملکرد در حد آستانه اقتصادی می‌تواند سبب تولید عملکرد مناسب گردد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۸).

بین منابع تغییر در این آزمایش تنها برهم‌کنش سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم و سیلیکات سدیم در سولفات پتاسیم در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول پیوست ۴). به‌نحوی که ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری را به سایر تیمارها در عملکرد دانه ایجاد نمود. افزایش مشاهده شده در این تیمار نسبت نسبت به شاهد ۶۵/۱۳ درصد بود. البته افزایش عملکرد حاصل از کاربرد همزمان سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با دو سطح ۶ و ۱۲ میلی-مولار کلرید کلسیم و سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر با کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار نیز نسبت به شاهد چشمگیر و معنی‌دار بود (شکل ۴-۱۷). بررسی شکل ۴-۱۸ نشان می‌دهد که محلول‌پاشی سولفات پتاسیم به-تنهایی تأثیری بر عملکرد دانه نداشته است درحالی که همراه شدن آن با سیلیکات سدیم به‌طور معنی‌داری سودمند بود. البته تأثیر آن مشابه با کاربرد سیلیکات سدیم به‌تنهایی در هر دو غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود و این چهار ترکیب تیماری از نظر تأثیر بر عملکرد دانه در یک گروه آماری قرار گرفتند. سولفات پتاسیم به‌تنهایی مصرف پتاسیم عملکرد دانه برنج را در طی ۵ تا ۸ سال کشت پی در پی آن افزایش داد (کیوچون و همکاران،۲۰۱۱). بررسی سوابقی‌فیروزآبادی و موئز اردلان (۱۳۷۶) نشان داد که مصرف پتاسیم و روی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه گندم را افزایش می‌دهد. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد سیلیس به دلیل افزایش محتوای کلروفیل و برگ‌ها و افزایش سطح فعال فتوسنتزی است که در نهایت به بهبود فتوسنتز منجر می‌شود (نا و جیاسو،۲۰۰۱). ساموئلز و همکاران (۱۹۹۳) نیز نشان دادند که افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور

سیلیسیم از طریق بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می-باشـد.



شکل ۴-۱۷- مقایسه میانگین عملکرد تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



شکل ۴-۱۸- مقایسه میانگین عملکرد تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

۴-۹- رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ

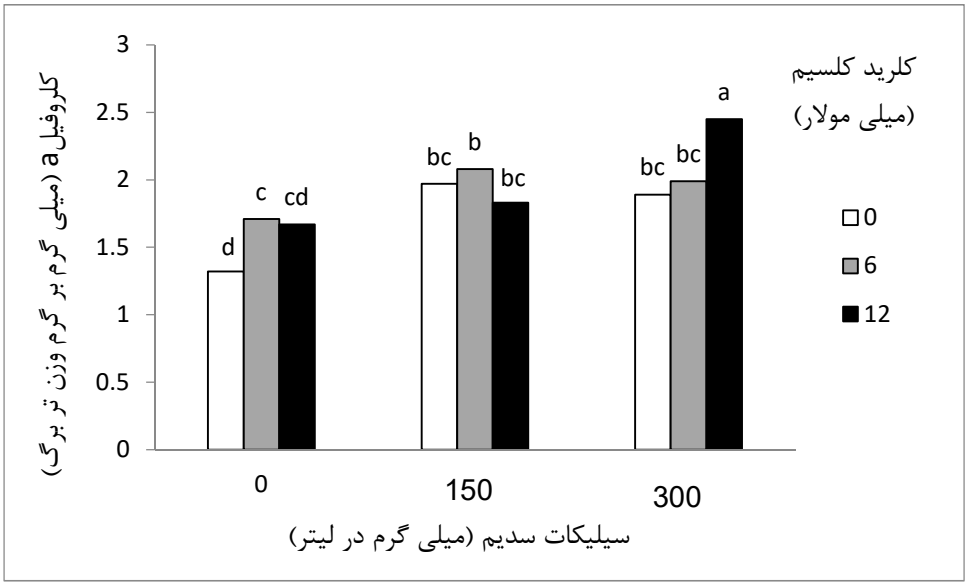
۴-۹-۱- کلروفیل a

تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که کلروفیل a از کلرید کلسیم (p <۰/۰۵) ، سیلیکات سدیم (p <۰/۰۱) ، و برهم‌کنش آن‌ها (p <۰/۰۱) و اثر سه جانبه (p <۰/۰۱) تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۶). در مجموع با افزایش غلظت سیلیکات سدیم مقدار کلروفیل a افزایش یافت و بیشترین مقدار کلروفیل a در بالاترین غلظت سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم به‌دست آمد (شکل ۴-۱۹). در مقایسه اثرات سه جانبه تیمارها نیز همین نتیجه مشاهده گردید به‌طوری که با اضافه شدن تیمار سولفات پتاسیم، بالاترین میزان کلروفیل a در ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر توأم با کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت گردید (جدول پیوست ۷). نتایج حاصل از تحقیقات جهانی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که افزودن کلسیم به‌طور معنی‌داری موجب افزایش میزان کلروفیل در برگ شد. اثر سیلیسیم و نانو سیلیسیم را بر گوجه‌فرنگی در مرحله رشد اولیه مورد بررسی قرار داده شد. با کاربرد سیلیسیم وزن خشک گیاه و غلظت کلروفیل برگ افزایش پیدا کرد (حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳). نتایج عابدی باباعربی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد محلول‌پاشی پتاسیم در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی موجب افزایش کلروفیل a نسبت به شاهد در گیاه گلرنگ شد.

۴-۹-۲- کلروفیل b

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که کلروفیل b تنها از اثر سه جانبه در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر پذیرفت (جدول پیوست۶). اگرچه بالاترین عدد ثبت شده برای کلروفیل b در گیاهانی بود که با ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شده بودند (۰/۹۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) ولی همان‌طور که درنتایج دیده می‌شود ترکیب تیماری یاد شده اختلاف معنی‌داری با ۱۰ ترکیب تیماری دیگر نداشت (جدول پیوست ۷). گزارش شده است که محلول‌پاشی روی و پتاسیم در نمونه‌گیری مرحله پرشدن دانه به‌ترتیب سبب افزایش ۹/۳۱ و ۱۳/۶۴

درصدی در کلروفیل b در گیاه گلرنگ گردید (عابدی باباعربی و همکاران، ۱۳۹۰). چن و همکاران (۲۰۱۱) اثر سیلیس و اشعه ماوراء بنفش را در جوانه‌زنی گیاه لوبیا در شرایط تنش خشکی مطالعه کردند. نتایج نشان داد تنش خشکی سبب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود که با افزودن تیمار سیلیسیم خسارات ناشی از تنش کاهش می‌یابد. آن‌ها نشان دادند که سیلیسیم موجب افزایش محتوای کلروفیل و در نهایت فتوسنتز شد.

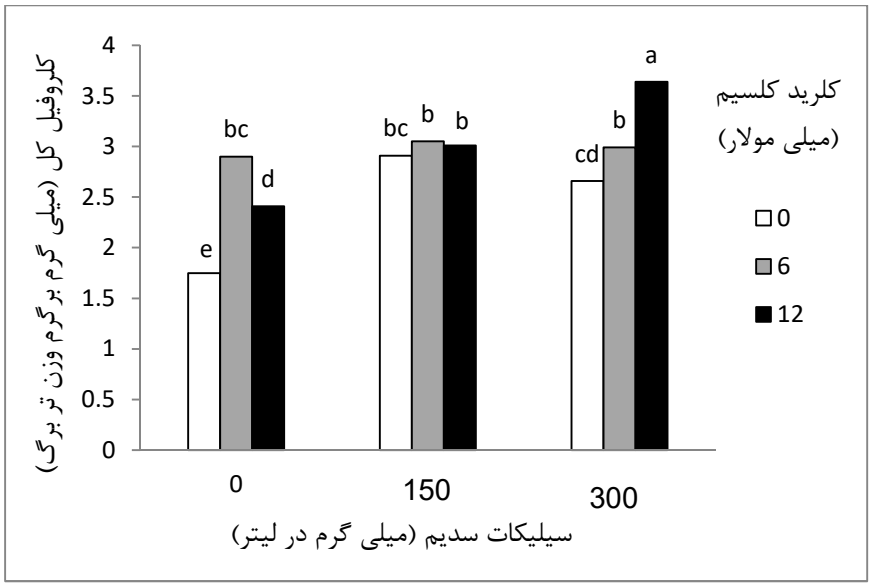


شکل ۴-۱۹- مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

۴-۹-۳- کلروفیل کل

مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند. زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر می‌باشند (مانوز، ۱۹۸۸). به‌طور کلی، هرچه شرایط تغذیه‌ای و محیطی برای رشد گیاه مناسب‌تر باشد، توان گیاه در تولید کلروفیل در برگ‌ها و تولید انرژی بیشتر می‌شود و موجب افزایش عملکرد می‌شود (دیویس و همکاران، ۲۰۰۲). کلروفیل کل برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی کلرید کلسیم معنی‌دار ($p < ۰/۰۵$) و محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، برهم‌کنش سیلیکات

سدیم در کلرید کلسیم و اثر سه جانبه در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول پیوست ۶). برآیند مقادیر کلروفیل a و b در کلروفیل کل نمایان گردید طوری‌که استفاده همزمان از سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌دار و قابل توجه کلروفیل کل برگ نسبت به شاهد و سایر تیمارها گردید به‌طوری که کلروفیل کل به‌دست آمده در این ترکیب تیماری (۳/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) معادل ۱۰۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد (۱/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) بود.سایر ترکیبات تیمار-ی نیز این صفت را بین ۳۸ تا ۷۴ درصد نسبت به شاهد و به‌صورت معنی‌دار افزایش دادند (شکل ۴-۲۰). کلروفیل کل در ترکیب تیماری سه جانبه سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حضور کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر ۲۰۴ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد و نسبت به همه‌ی ترکیبات تیماری بهتر بود (جدول پیوست ۷). وانگ و همکاران (۱۹۷۶) اثر محلول‌پاشی برگی سیلیسیم از منبع سلیکات‌پتاسیم و سدیم را روی تغییرات متابولیکی توت‌فرنگی مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج آن‌ها، در گیاهان تیمارشده با منابع سیلیسیمی رشد گیاهان و میزان کلروفیل افزایش یافت. طبق نتایج صالحی و همکاران (۱۳۹۸) با افزایش میزان مصرف سولفات پتاسیم، میزان کلروفیل کل افزایش یافت. مقادیر بالای کلسیم می‌تواند موجب افزایش کلروفیل a، b و در نهایت کلروفیل کل شود (کرامر و همکاران، ۱۹۸۶).



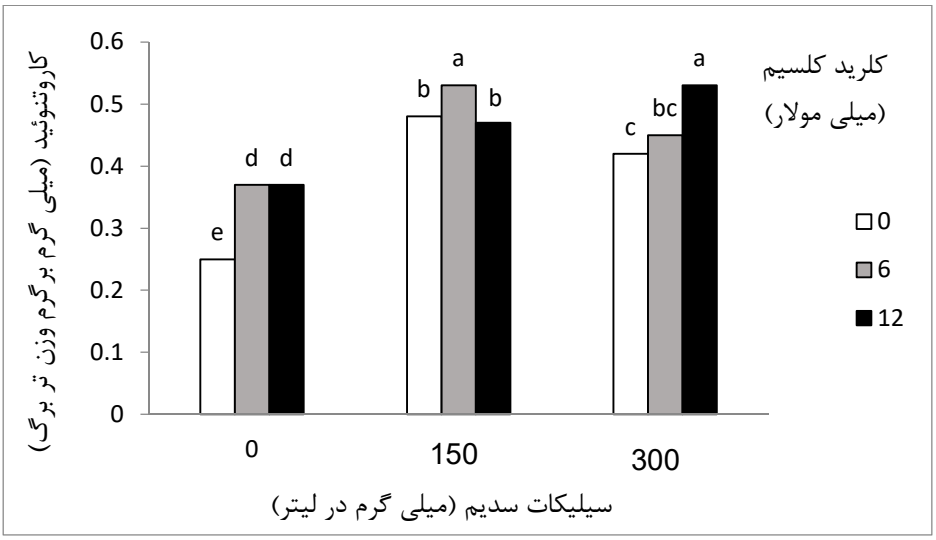
شکل ۴-۲۰- مقایسه میانگین کلروفیل کل تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

۴-۹-۴- کاروتنوئید

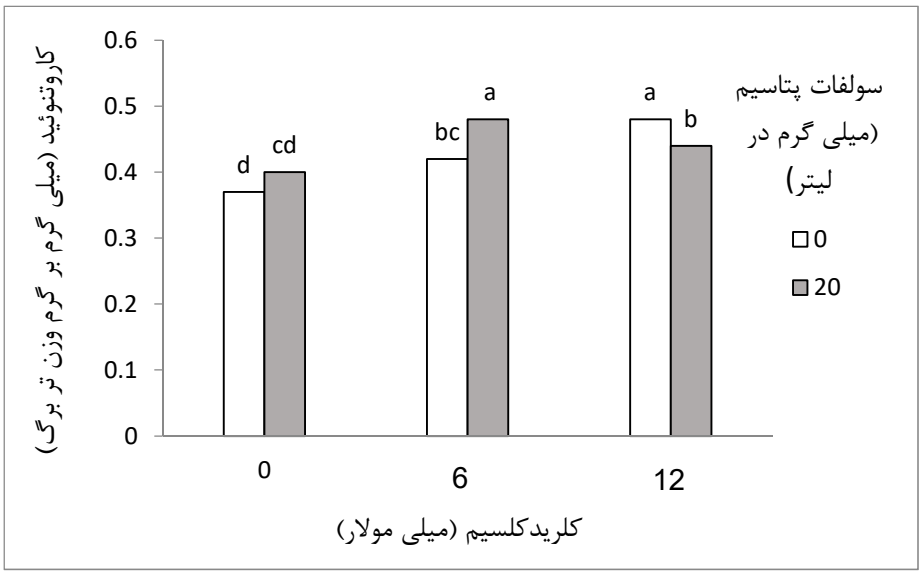
کاروتنوئیدها دسته‌ای از رنگدانه‌ها هستند که در جذب نور در گیاهان نقش مهمی دارند و به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدان و ترکیبات ضروری دستگاه فتوسنتزی نقش ایفا می‌کنند. این ترکیبات در از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن در کمپلکس فتوسنتزی دخالت دارند (هولت و پوکسون،۲۰۰۶).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کلیه منابع تغییر به‌جز تکرار بر میزان کاروتنوئید برگ معنی‌دار بود (جدول پیوست ۶). مقایسه ترکیبات تیماری حاصل از سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم بیانگر نقش مثبت این ترکیبات به‌صورت جداگانه و ترکیبات باهم بر میزان کاروتنوئید برگ جو بود در این‌بین ترکیب سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار و سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر با کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار نسبت به سایر تیمارها بهتر بود و در گروه آماری برتر قرار گرفتند. مقدار افزایش کاروتنوئید برگ در ترکیبات ذکر شده نسبت به شاهد به‌طور متوسط ۱۱۲ درصد بود (شکل ۴-۲۱). مقادیر بالایی از کاروتنوئید در کاربرد برگی کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار در حضور سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۱۲

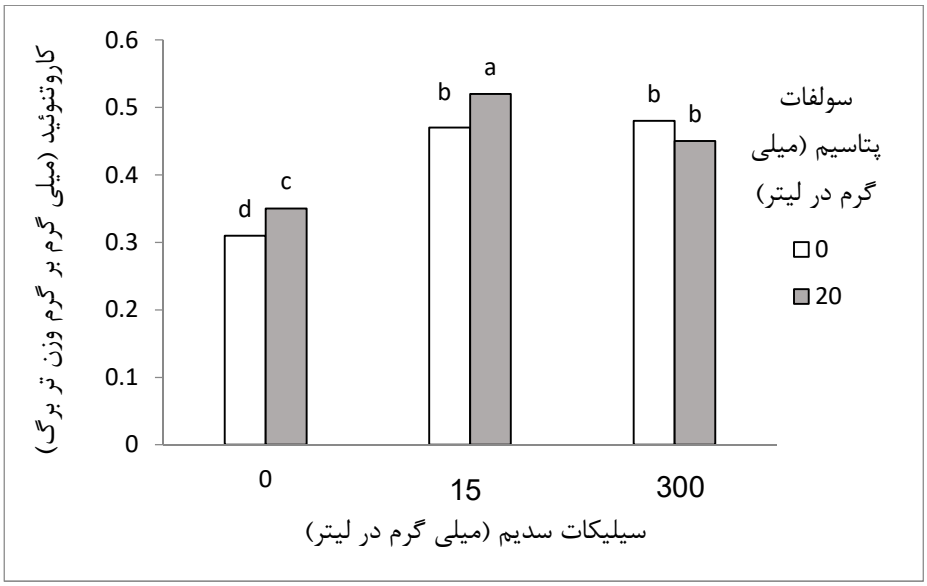
میلی‌مولار در عدم حضور سولفات پتاسیم ثبت گردید به‌طور کلی استفاده از کلرید کلسیم به‌صورت تنها و توأم با سولفات پتاسیم تأثیر مثبت و معنی‌داری بر کاروتنوئید برگ داشت ولی کاربرد سولفات پتاسیم به‌تنهایی مؤثر نبود (شکل ۴-۲۲). همچنین طبق نتایج مقایسه میانگین همه ترکیبات تیماری حاصل از سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم نیز به‌طور معنی‌داری کاروتنوئید برگ را بهبود بخشیدند. به‌طور مشخص محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۱۵۰میلی‌گرم در لیتر همراه با سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش ۶۷/۷۴ درصدی میزان کاروتنوئید شد که بالاترین مقدار ثبت شده، در مقایسه با شاهد بود (شکل۴-۲۳). در بین ۱۸ ترکیب تیماری مورد مطالعه بالاترین مقدار کاروتنوئید در کاربرد برگی سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر توأم با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که البته با ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حضور کلرید کلسیم ۱۲میلی‌مولار و عدم حضور سولفات پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول پیوست ۷). نتایج تحقیقات عزیزی و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که کاربرد سیلیسیم در گیاهان تحت تنش شوری میزان کلروفیل a و کاروتنوئیدها را در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار نسبت به شاهد به ترتیب حدود ۲۸ و ۱۷ درصد افزایش داد. ترکیب کلسیم و پتاسیم موجب افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئید برگ در آفتاب گردان (رقم هلیانتوس) گردید (نظامی و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۴-۲۱- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



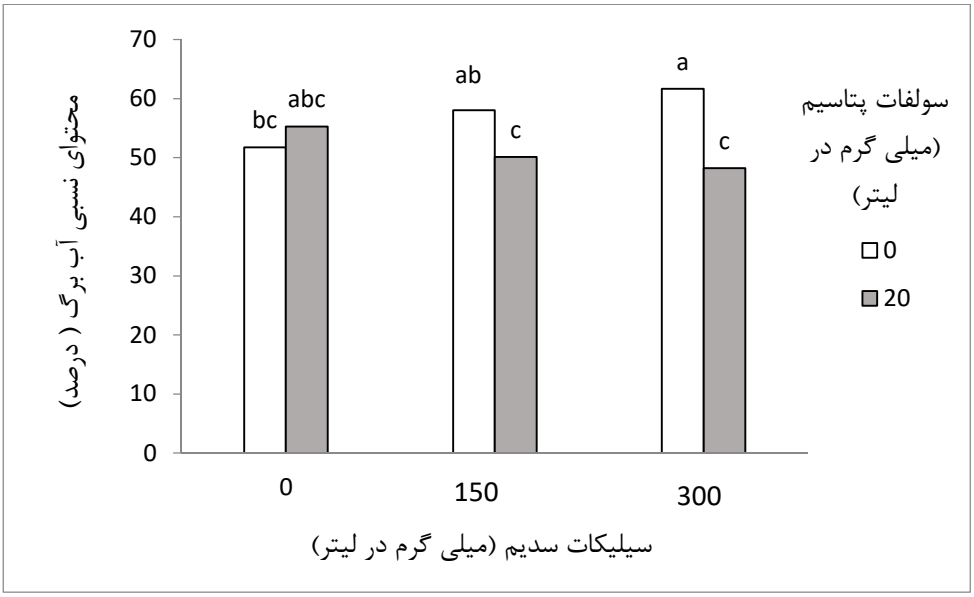
شکل ۴-۲۲- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم



شکل ۴-۲۳- مقایسه میانگین کاروتنوئید تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

۴-۱۰- محتوای نسبی آب برگ

مقدار نسبی آب برگ معرف بسیار خوبی از وضعیت آبی گیاه است که به‌عنوان یک شاخص جهت تحمل به خشکی پیشنهاد شده است (تئولیت و همکاران، ۱۹۹۷). اثر متقابل محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در سولفات پتاسیم ($P <$ ۰/۰۵) بر مقدار نسبی آب برگ معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). محتوای نسبی آب برگ در گیاهان شاهد ۵۱/۷۵ درصد بود که فقط در اثر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدون حضور سولفات پتاسیم به‌طور معنی‌داری بهبود یافت و به ۶۱/۶۸ درصد رسید. سایر تیمارها تأثیر معنی-داری نداشتند (شکل ۴-۲۴). میزان کلروفیل، فتوسنتز و محتوی نسبی آب برگ کلزا تحت تیمار سیلیسیم نسبت به شاهد در حداکثر مقدار خـود بـود (بای بوردی، ۱۳۹۵).



شکل ۴-۲۴- مقایسه میانگین مقدار نسبی آب برگ تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

۴-۱۱- پایداری غشاء پلاسمایی برگ

محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح احتمال ۵ درصد و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و اثر متقابل سه جانبه در سطح ۱ درصد بر پایداری غشاء پلاسمایی معنی‌دار شد (جدول پیوست ۸). در بین ۱۸ ترکیب تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم، محلول‌پاشی کلرید کلسیم در سطح ۶ میلی-مولار بدون حضور دو عنصر دیگر بالاترین مقدار پایداری غشاء پلاسمایی را با میانگین ۷۷/۲۹ درصد رقم زد که نسبت به گیاهان شاهد (۶۴/۲۴) ۱۳ درصد بیشتر بود و گروه آماری برتر را به خود اختصاص داد (جدول پیوست ۹). کلسیم با اتصال به فسفولیپیدها، لایه‌های چربی را پایدار کرده و در نهایت موجب یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی می‌شود (ابراهیم، ۲۰۱۶).

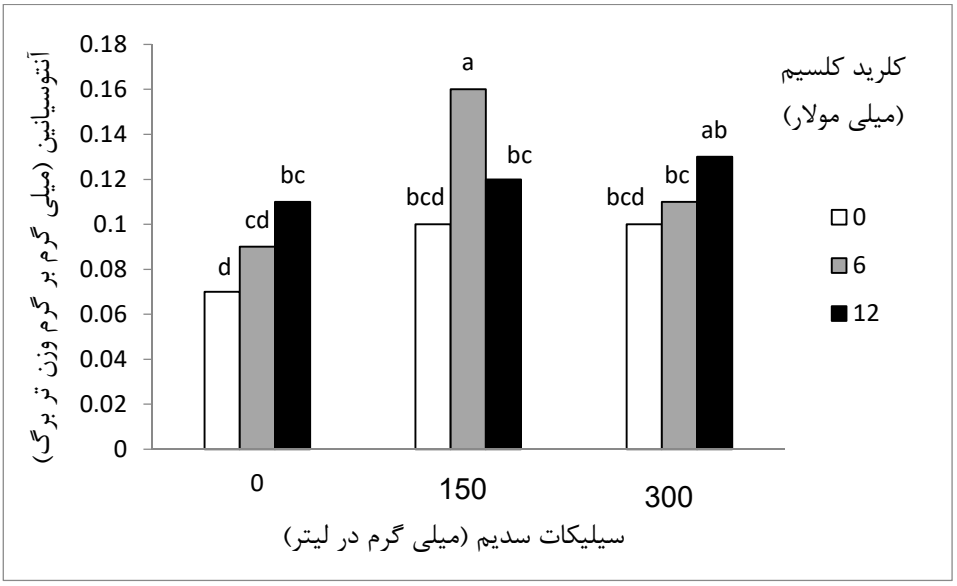
۴- ۱۲- میزان فلاونوئید برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان فلاونوئید برگ گیاه جو نشان داد که اثر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم و برهم‌کنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان فلاونوئید برگ جو نداشت (جدول پیوست ۸).

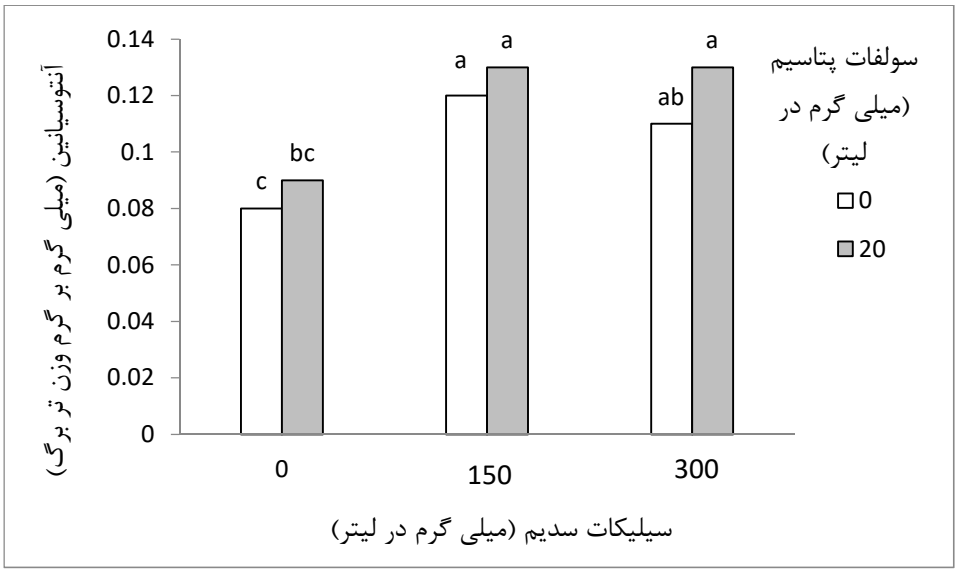
۴-۱۳- غلظت آنتوسیانین

غلظت آنتوسیانین در بافت تازه تحت تأثیر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و برهم‌کنش سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم و سیلیکات سدیم در سولفات پتاسیم و اثر سه جانبه ($p < ۰/۰۱$) قرار گرفت (جدول پیوست ۸). در مقایسه نتایج حاصل از ترکیبات سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم مقادیر بالایی از آنتوسیانین برگ جو در شرایط محلول‌پاشی با سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم همراه لیتر در کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار مشاهده شد که با غلظت آنتوسیانین در گیاهان تحت محلول‌پاشی ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم لیتر با کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار در یک گروه آماری قرار گرفت. مقدار آنتوسیانین در این ترکیبات تیماری نسبت به شاهد به ترتیب ۱۲۸/۵ و ۸۵/۷۱ درصد بیشتر بود (شکل ۴-۲۵). همان طورکه در شکل ۴-۲۶ مشاهده می‌شود محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در هر دو غلظت به‌تنهایی و نیز کاربرد توأم محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار غلظت آنتوسیانین نسبت به شاهد شد. نتایج نشان داد که چنانچه سولفات پتاسیم با سیلیکات سدیم همراه نباشد، اثر مثبتی بر آنتوسیانین برگ ندارد. بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم‌کنش سه جانبه تیمارها بیشترین غلظت آنتوسیانین با میانگین ۰/۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل گردید (جدول پیوست ۹). طبق بررسی یوسفی و همکاران (۱۳۹۳) در اثر تیمار سیلیسیم، میزان آنتوسیانین گل گاو زبان افزایش یافت. تحقیقات نشان می‌دهد که آنتوسیانین‌ها می‌توانند در هماهنگی با مولکول‌های حفاظتی در بافت گیاهی عمل خود را انجام دهند و برای جبران نقص در غلظت

مولکـول‌هـا طـی دوره تـنش وارد عمـل می‌شـوند. ایـن رنگیزه‌ها در مکان‌های ویژه‌ای درون برگ‌ها برای کـارایی بهینـه گیاه وارد عمل می‌شوند. انباشتگی آنتوسیانین‌ها بـا محـرک‌هـای محیطی گوناگون مانند UV (ردی و همکاران، ۱۹۹۴)، دمای کم (نینهوس و همکاران، ۲۰۰۱)، حمله عوامـل بیماری‌زا (هیم و همکاران، ۱۹۸۳) و چندین تنظیم‌کننده رشد مانند سیتوکینین (دیکمن و همکاران، ۱۹۹۵)، ژیبرلین‌ها (کریستی و همکاران، ۱۹۹۴) القـا می‌شود. نتیجه‌گیری اینکه احتمالاً تیمـار بـا سیلیس نیز سبب القا شـده و آنتوسـیانین در بخـش هـوایی افزایش یافته است. مصرف کلسیم سبب افزایش سنتز آنتوسیانین در لوبیا شد (چاپارزاده و یواری، ۲۰۱۳). بررسی مهرگان و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم سبب افزایش غلظت کلروفیل کل و آنتوسیانین برگ در یونجه گردید.



شکل ۴-۲۵- مقایسه میانگین آنتوسیانین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

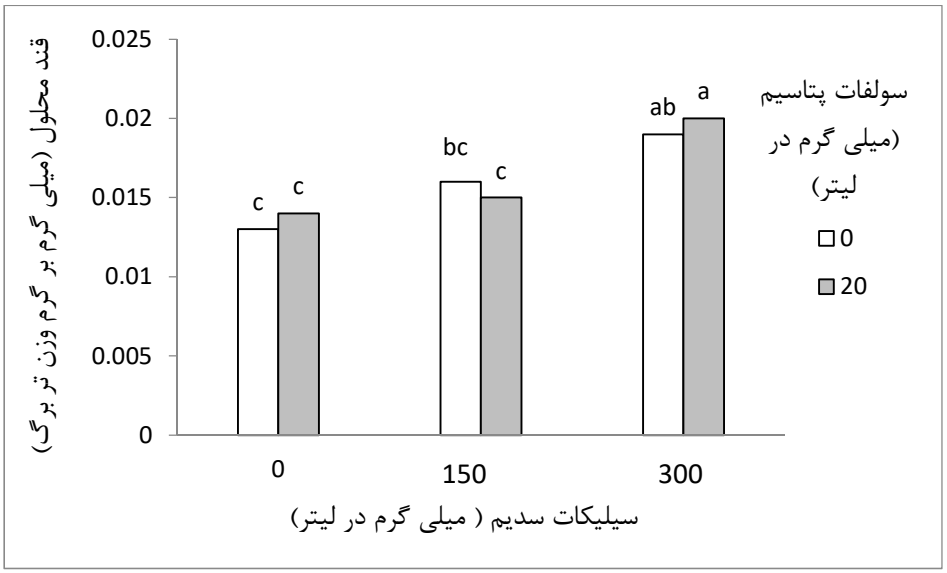


شکل ۴-۲۶- مقایسه میانگین آنتوسیانین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

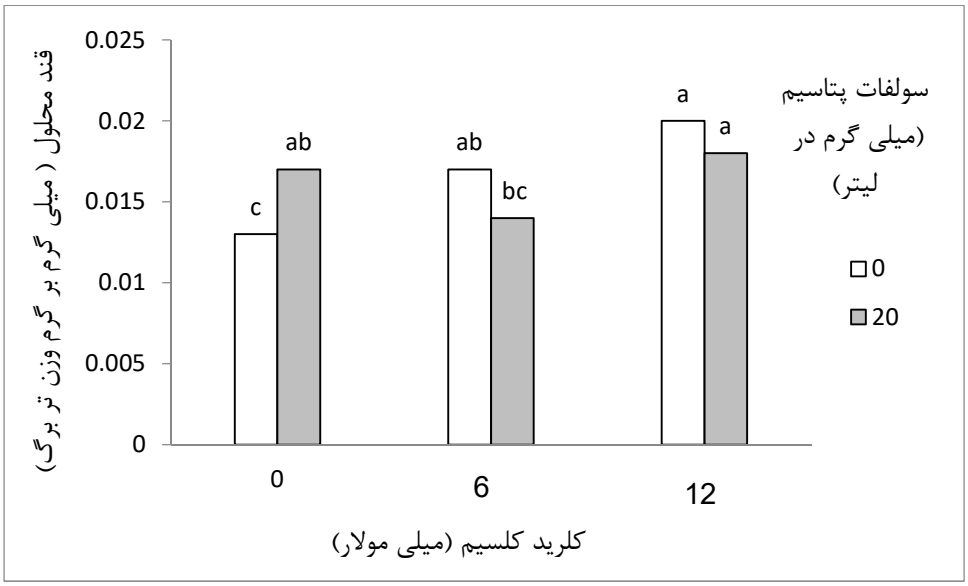
۴-۱۴- قند محلول برگ

قندهای محلول و پرولین می‌توانند در تنظیم اسمزی و به‌عنوان مواد محلول سازگار استفاده شوند (اینگرام و بارتلز، ۱۹۹۶) همچنین قندهای محلول به‌عنوان حفاظت‌کننده‌های اسمزی موجب پایداری پروتئین‌ها و غشاها می‌شوند (سانچز و همکاران، ۱۹۹۸). قند محلول برگ در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر برهم‌کنش سیلیکات سدیم در سولفات پتاسیم، کلرید کلسیم در سولفات پتاسیم و اثر سه جانبه قرار گرفت (جدول پیوست ۸). همان‌طور که در شکل ۴-۲۷ مشاهده می‌شود. محلول‌پاشی سیلیکات سدیم با غلظت بالای (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌صورت جداگانه و همراه با غلظت بالای سولفات پتاسیم تقریباً به یک اندازه موجب بهبود معنی‌دار غلظت قند محلول برگ گیاه جو نسبت به شاهد شد. این تیمارها قند محلول برگ را به‌طور متوسط ۵۳/۸۴ درصد نسبت به شاهد افزایش دارند. سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. نتایج برهم‌کنش کلرید کلسیم در سولفات پتاسیم نشان داد که به جز ترکیب کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار با سولفات پتاسیم ۲۰ میلی-گرم در لیتر که اثر معنی‌داری بر قند محلول برگ نداشت، سایر ترکیبات تیماری موجب افزایش معنی‌دار این

صفت شدند که همگی در گروه برتر آماری قرار داشتند (۴-۲۸). در بین اثرات سه جانبه بیشترین میزان قند محلول در برگ گیاهانی ثبت گردید که با سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر وکلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار در عدم حضور سولفات پتاسیم محلول‌پاشی شدند (جدول پیوست ۹). نتایج این آزمایش با نتایج لی و همکاران (۲۰۰۲) مبنی بر اثر سیلسیم در افزایش میزان قند محلول گوجه‌فرنگی مطابقت دارد. افزایش قند محلول به افزایش رشد گیاه در حضور سیلیسیم برمی‌گردد که در این خصوص سیلیسیم سبب بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌گردد که نتیجه آن تولید کربوهیدرات بیشتر در گیاه می‌شود (محقق و شیروانی ، ۲۰۱۰). همچنین نتایج پژوهش عطارزاده و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که محلول‌پاشی نیترات کلسیم موجب افزایش قندهای محلول در گلرنگ شد.



شکل ۴-۲۷- مقایسه میانگین قند محلول تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم



شکل ۴-۲۸- مقایسه میانگین قند محلول تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

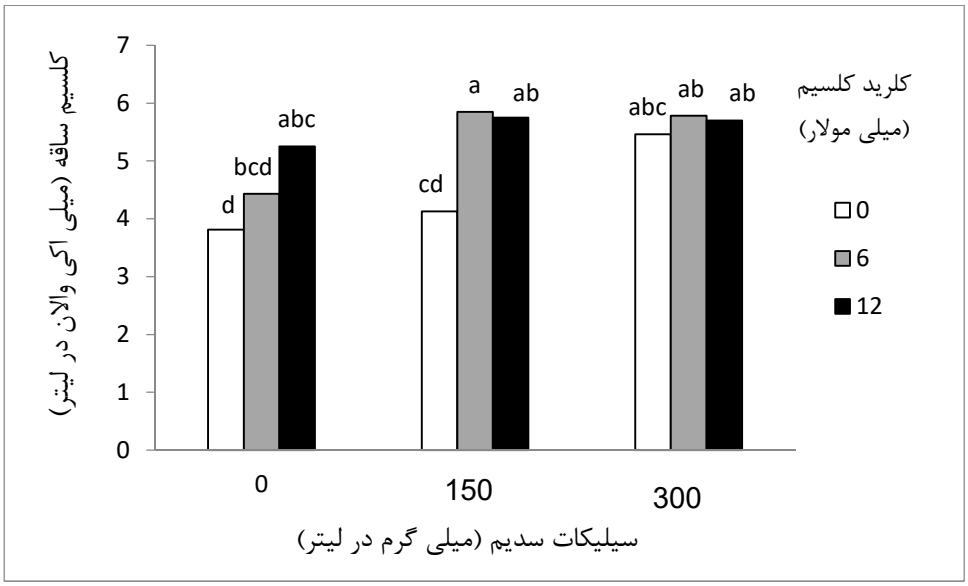
۴-۱۵- میزان پتاسیم موجود در ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول پیوست ۱۰) نشان داد تنها اثر متقابل سه جانبه در سطح احتمال ۵ درصد بر صفت میزان پتاسیم ساقه معنی‌دار شد. ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم در جدول پیوست ۱۱ مقایسه شده‌اند. هیچ کدام از ترکیبات تیماری نتوانست اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد ایجاد نماید با این وجود مشاهد می‌شود که کاربرد سه‌گانه سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین افزایش در میزان پتاسیم در ساقه جو را معادل ۲۵/۹۵ درصد نسبت به شاهد رقم زد. محلول پاشی پتاسیم موجب افزایش غلظت پتاسیم در دانه و بافت گیاهی گندم شد (مهدی و همکاران، ۲۰۰۲).

۴-۱۶- مقدار کلسیم در ساقه

اثر سولفات پتاسیم، اثر متقابل محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل سه جانبه بر میزان کلسیم ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول پیوست ۱۰).

کاربرد برگی کلرید کلسیم در هر دو غلظت همراه با دو سطح ۱۵۰ و۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم و نیز کاربرد کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار به‌تنهایی موجب بهبود قابل توجه در میزان کلسیم ساقه شد که به‌همراه سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدون حضور کلسیم در گروه آماری یکسان و برتر قرار گرفتند. میزان کلسیم در ساقه در اثر محلول‌پاشی با سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر توأم با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار با حدود ۵۳/۵۴ درصد افزایش نسبت به شاهد به بیش از ۵/۵ میلی‌اکی والان در لیتر رسید درحالی‌که این مقدار در گیاهان شاهد ۳/۸۱ میلی‌اکی والان در لیتر بود (شکل۴-۲۹). در بین ۱۸ ترکیب تیماری مورد مطالعه بالاترین میزان کلسیم در ساقه از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم و سطح صفر سولفات پتاسیم حاصل شد که با ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم درلیتر، کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار همراه با هر دو سطح صفر و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات پتاسیم اختلاف معنی-داری نداشت (جدول پیوست۱۱). افزایش مقدار کلسیم در نتیجه استفاده از سیلیسیم توسط لیانگ و همکاران (۱۹۹۶) و پیوست و همکاران (۱۳۸۷) گزارش شده است. دهقانی‌پوده (۱۳۹۱) نیز گزارش کرد که سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار کلسیم در اندام هوایی توت‌فرنگی نسبت به شاهد شد. مکانیسم فیزیولوژیک اثر سیلیسیم بر جذب و انتقال کلسیم توسط گیاه واضح نیست. ممکن است تفاوت ایجاد شده در مدل‌های دیواره سلولزی در نتیجه ته‌نشست سیلیسیم موجب افزایش جذب میزان کلسیم در بافت گیاهی شود (اپستین و بلوم، ۲۰۰۴).

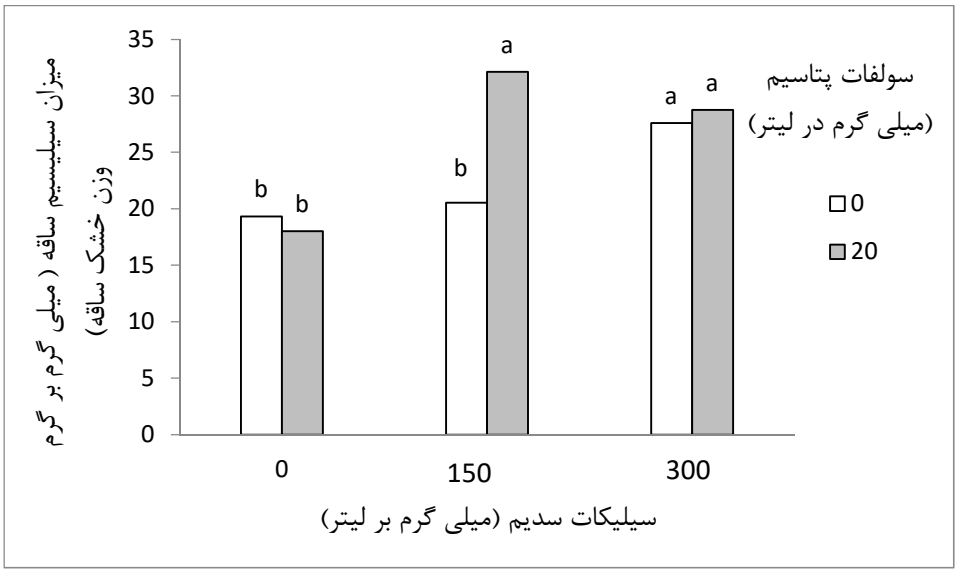


شکل ۴-۲۹- مقایسه میانگین مقدار کلسیم در ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

۴-۱۷- میزان سیلیسیم ساقه

نتایج حاصل از تجربه واریانس (جدول پیوست ۱۰) نشان داد اثر اصلی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم و اثر متقابل سیلیکات سدیم در سولفات پتاسیم و اثر متقابل سه جانبه در سطح احتمال ۱ درصد بر صفت میزان سیلیسیم ساقه معنی‌دار شد. ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم در شکل ۴-۳۰ مقایسه شده‌اند. محلول‌پاشی سولفات پتاسیم به‌تنهایی و سیلیکات سدیم با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌تنهایی اثر معنی‌داری بر مقدار سیلیسیم ساقه نداشتند ولی سه ترکیب تیماری محلول‌پاشی سیلیکات سدیم در دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌همراه سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و مصرف تنهای سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار این صفت را به‌ترتیب ۶۶/۳۹، ۴۲/۸۲، ۴۸/۹۳ درصد افزایش دادند و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفتند. در بین ۱۸ ترکیب تیماری مورد مطالعه بیشترین میزان سیلیسیم با میانگین ۴۹ میلی‌گرم در گرم خشک ساقه از ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، ۶ میلی-مولار کلرید کلسیم و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات پتاسیم حاصل شد در حالی‌که این مقدار در گیاهان شاهد ۱۵/۹۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک ساقه بود (جدول پیوست ۱۱). مطالعات صداقت و پیردشتی (۱۳۹۴) نشان

داد که جذب سیلیسیم در برنج با مصرف پتاسیم بیش‌تر گردید. معمولاً عنصر سیلیسیم بیشتر با غلظت های بالا در بافت‌های گیاهی وجود دارد (اپستین، ۱۹۹۴). طی پژوهشی نشان داده شد که استفاده از سیلیسیم در برنج منجر به افزایش این عنصر در اندام‌های هوایی به‌خصوص در دانه‌ها گردید (چن و همکاران، ۲۰۱۱).

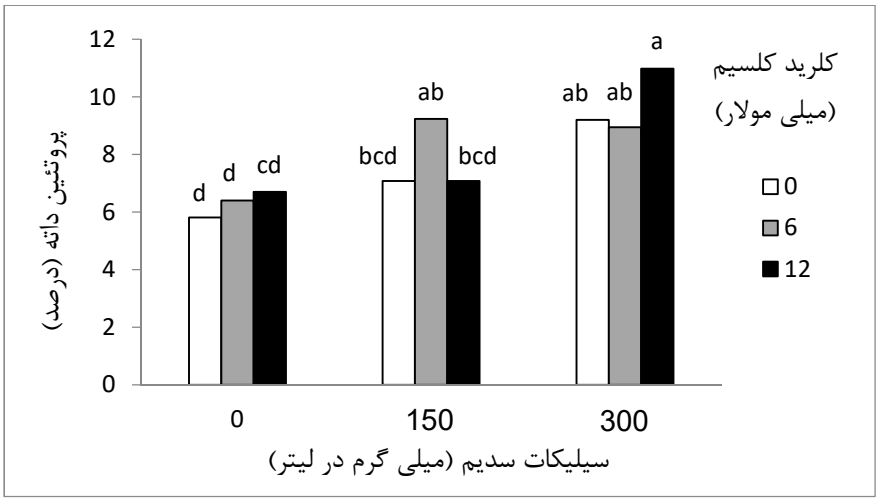


شکل ۴-۳۰- مقایسه میانگین میزان سیلیسیم ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

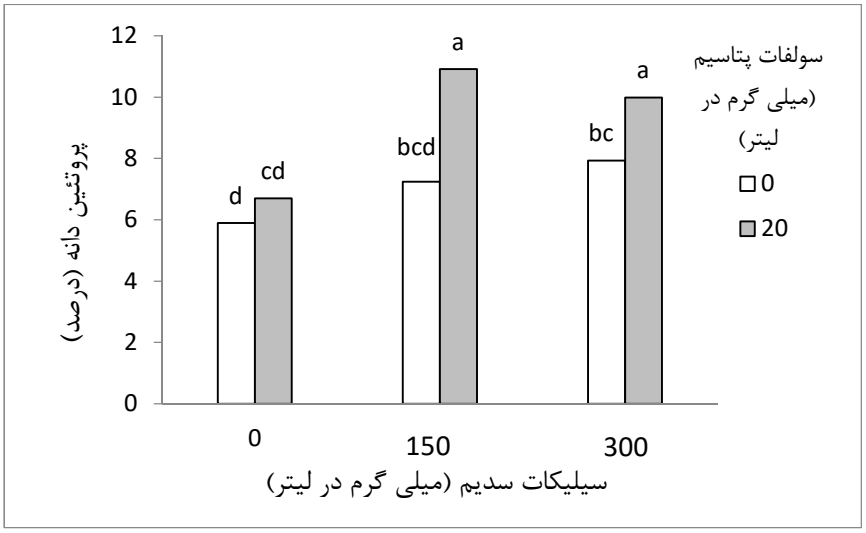
۴-۱۸- درصد پروتئین دانه

محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، برهم‌کنش سیلیکات سدیم در سولفات پتاسیم و برهم‌کنش سه جانبه در سطح احتمال ۱ درصد و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و برهم‌کنش سیلیکات سدیم در کلرید کلسیم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۰). محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر همراه با کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار اثری چشمگیر داشت و درصد پروتئین دانه را از ۵/۸۱ درصد در گیاهان شاهد به ۱۰/۹۸ درصد رساند. این ترکیب تیماری با سه ترکیب تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم ۳۰۰میلی‌گرم در لیتر با دو سطح صفر و ۶ میلی‌مولار کلرید کلسیم و نیز سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار در یک گروه آماری قرار داشت (شکل۴-۳۱). افزودن سولفات پتاسیم به سیلیکات سدیم در هر دو

غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب بهبود درصد پروتئین دانه جو شد و این صفت را به‌طور متوسط به میزان ۸۵ درصد نسبت شاهد افزایش داد (شکل ۴-۳۲). در نهایت مقادیر بالایی از پروتئین دانه (۱۶ تا ۱۷ درصد) در ترکیب سه‌گانه سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار در هر دو سطح صفر و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات پتاسیم ثبت گردید در حالی که دانه‌های حاصل از گیاهان شاهد فقط ۵ درصد پروتئین داشتند (جدول پیوست ۹). حداد و مشیری (۱۳۸۹) در بررسی اثر سیلیسیم خارجی بر تغییرات ناشی از تنش خشکی درگیاه جو مشاهده کردند که تنش شوری به‌طور معنی‌داری میزان پروتئین را کاهش می‌دهد، درحالی که سیلیسیم مقدار پروتئین گیاهان تنش دیده را افزایش داد. افزایش درصد پروتئین را می-توان بدین صورت توجیه کرد که عناصر ریزمغذی در تقسیم سلولی، متابولیسم قندها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم نیتروژن و همچنین به‌عنوان بخشی از آنزیم‌ها و یا به‌صورت کوفاکتورهای تنظیم‌کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نمایند و آنزیم‌ها قسمت اعظم از مواد پروتئینی را تشکیل می‌دهند (بداقی، ۱۳۸۶). پتاسیم از طریق فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های گیاهی که روی فرایند فتوسنتز، کارایی مصرف آب، جذب نیتروژن و ساخت پروتئین دخالت دارند موجب افزایش میزان پروتئین دانه گندم می شود (تالوس و همکاران، ۲۰۰۶). افزایش پروتئین دانه با کاربرد کلسیم در این آزمایش با قادری و ملکوتی (۲۰۰۰) که گزارش کردند مصرف کلسیم به روش‌های مختلف، میزان پروتئین دانه گندم آبی و دیم را افزایش می‌دهد مشابهت دارد.



شکل ۴-۳۱- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

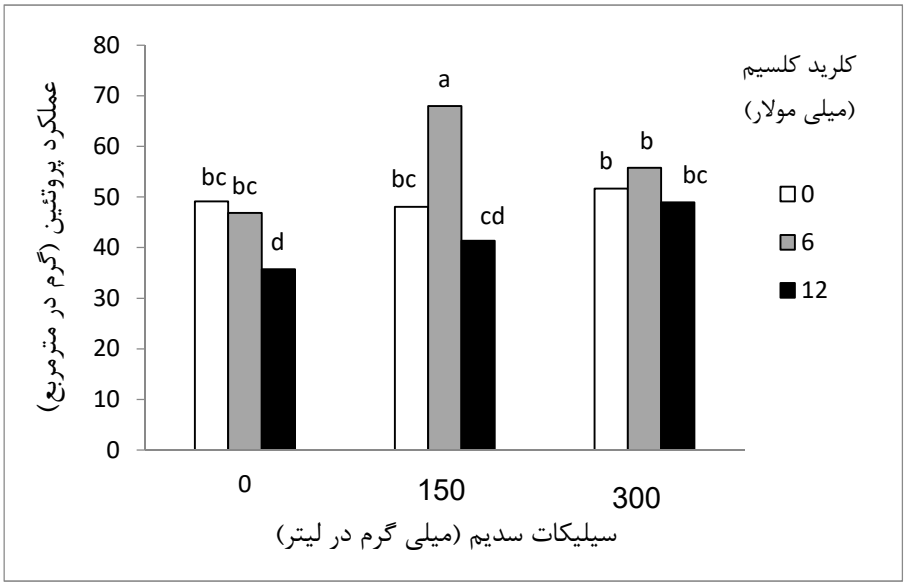


شکل ۴-۳۲- مقایسه میانگین درصد پروتئین دانه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم

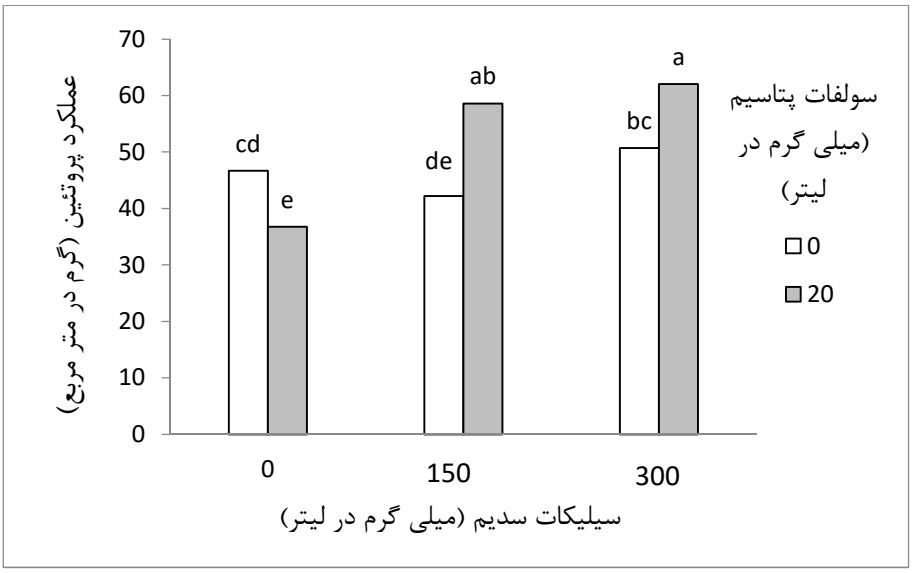
۴- ۱۹- عملکرد پروتئین

عملکرد پروتئین از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلیه اثرات متقابل تأثیر پذیرفت (جدول پیوست ۱۰). با توجه به شکل ۴- ۳۳ می‌توان دریافت ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۶

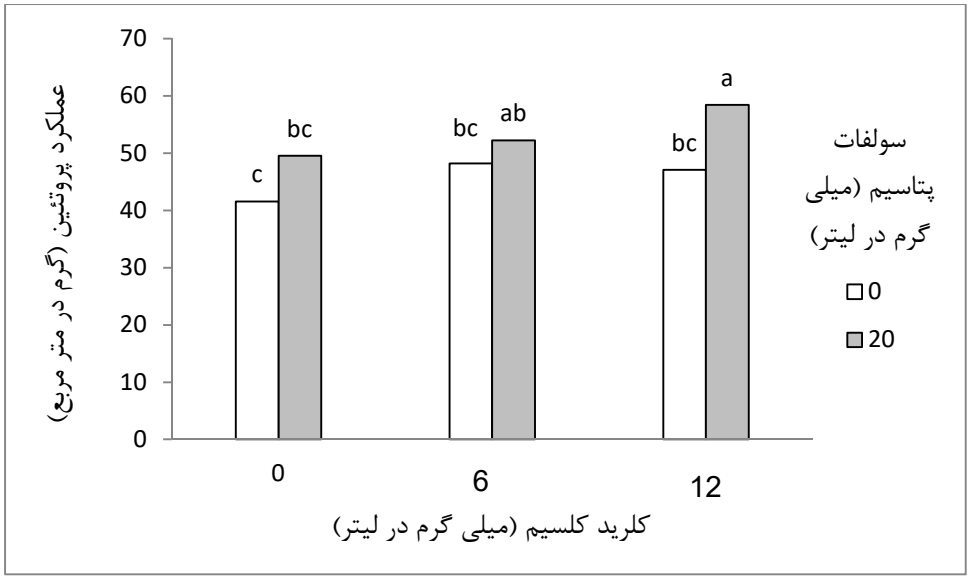
میلی‌مولار افزایش معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارها در عملکرد پروتئین ایجاد نمود، و مقدار این صفت را از ۴۹/۹۵ گرم در مترمربع در گیاهان شاهد به ۶۷/۹۷ گرم در مترمربع رساند. نتایج برهم‌کنش محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم نشان داد افزودن سولفات پتاسیم به سیلیکات سدیم سبب افزایش معنی‌دار عملکرد پروتئین گردید (شکل ۴-۳۴). در بین ترکیبات تیماری حاصل از کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم بالاترین میزان عملکرد پروتئین در گیاهانی مشاهده شد که تحت محلول‌پاشی کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر قرار گرفته بودند (شکل ۴-۳۵). در بین اثرات سه جانبه بیشترین میزان عملکرد پروتئین در گیاهانی ثبت گردید که با سیلیکات سدیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلرید کلسیم ۱۲میلی-مولار همراه با سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شدند که البته با ۸ ترکیب تیماری دیگر در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول پیوست ۱۱).



شکل ۴-۳۳- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم



شکل ۴-۳۴- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم



شکل ۴-۳۵- مقایسه میانگین عملکرد پروتئین تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

۴-۲۰- صفات مکانیکی

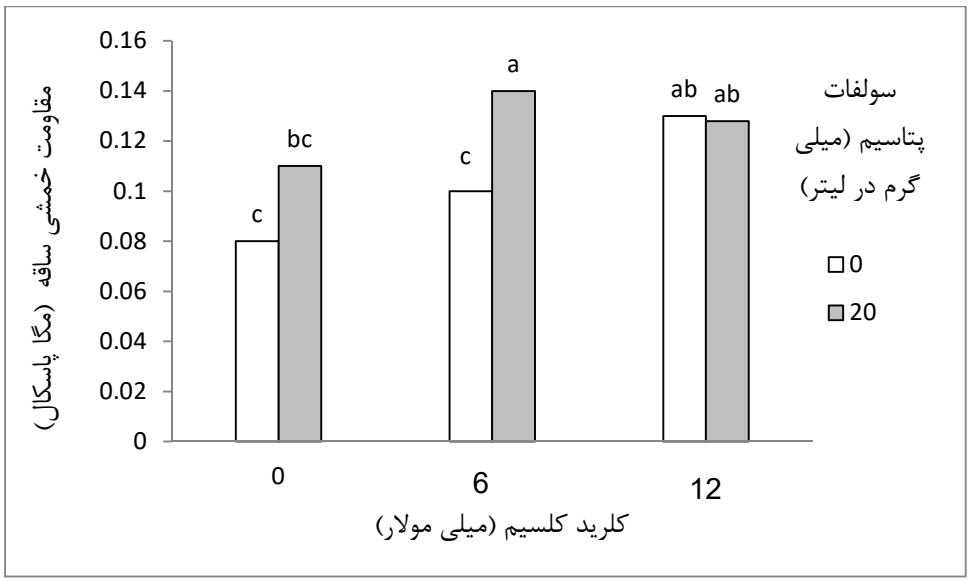
رفتار مواد کشاورزی در برابر نیروهای خارجی (فشاری، خمشی، برشی، پیچشی یا ترکیبی از آن‌ها) خواص مکانیکی مواد نامیده می‌شود. هر کدام از این خواص خود تابعی از پارامترهای متعدد چون شرایط محیطی و

شرایط داخلی ماده مانند بافت، ابعاد، شکل، درجه رسیدگی و ... است که بر پیچیدگی موضوع می‌افزاید (آق-خانی و مینایی، ۱۳۸۶).

۴-۲۰-۱- مقاومت خمشی ساقه

ورس در گیاهان موجب افزایش رطوبت و فراهم آمدن محیطی مناسب برای تکثیر قارچ‌ها، کاهش کارایی برداشت، کاهش انتقال مواد غذایی به سنبله و در نهایت کاهش‌عملکرد و کیفیت دانه می‌گردد (ژو و وارکنتین، ۲۰۰۱). نتایج نشان داد که اثر اصلی سیلیکات سدیم و اثر متقابل کلرید کلسیم در سولفات پتاسیم در سطح احتمال ۱ درصد، همچنین اثر اصلی کلرید کلسیم و اثر سه جانبه در سطح احتمال ۵ درصد بر مقاومت خمشی ساقه جو معنی‌دار شد (جدول پیوست ۱۲). مقایسه ترکیبات تیماری حاصل از کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم نشان داد که مقاومت خمشی ساقه گیاهانی که سولفات پتاسیم و هر دو غلظت ۶ و ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم را با هم دریافت کردند. همچنین گیاهانی که فقط کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار دریافت کردند به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. سه ترکیب تیماری یاد شده این صفت را به ترتیب ۷۵، ۶۰ و ۶۲ درصد بهبود بخشیدند (شکل۴-۳۶). بررسی اثرات سه جانبه بیانگر تأثیر چشمگیر تیمارها در افزایش مقاومت خمشی ساقه بود. مقدار این صفت در گیاهان شاهد که هیچ تیماری دریافت نکرده بودند، بسیار پایین و معادل ۰/۰۳ مگاپاسکال بود. تیمارهای مورد استفاده این صفت را بین ۱۶۶ تا ۵۳۳ درصد افزایش دادند. در نهایت بالاترین میزان مقاومت کششی ساقه در ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر توأم با کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار و سولفات پتاسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید که البته با ترکیب تیماری سیلیکات سدیم ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در کلرید کلسیم ۱۲ میلی‌مولار در عدم حضور سولفات پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول پیوست ۱۳). با توجه به خصوصیات مورفولوژیک بیشتر غلات که سنبله یا خوشه و دانه‌ها در قسمت انتهای ساقه تشکیل می‌شوند، تناسب بین استحکام بخش پایینی بوته و وزن قسمت‌های بالایی آن، تعیین‌کننده میزان مقاومت گیاه نسبت به خوابیدگی است (کاشی‌واگی و همکاران،

۲۰۰۵). مقاومت به خوابیدگی بوته در غلات تحت تأثیر ویژگی‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی قرار دارد. در بین صفات مورفولوژیک، قطر ساقه و ضخامت دیواره ساقه به‌طور مستقیم با مقاومت به خوابیدگی و استحکام ساقه در ارتباط هستند (زوبر و همکاران، ۱۹۹۹). از سوی دیگر، مقاومت ساقه در ارتباط با اجزای تشکیل‌دهنده‌ی شیمیایی و بیوشیمیایی آن نیز می‌باشد (تاناکا و همکاران، ۲۰۰۳). محتوای کربوهیدرات‌های ساقه و محتوای بالاتر سیلیسیم آن با مقاومت فیزیکی بوته به خوابیدگی در ارتباط هستند و تجمع بیشتر نشاسته، سلولز، لیگنین، سیلیسیم، کلسیم و پتاسیم، استحکام و مقاومت ساقه را در برابرخوابیدگی افزایش می‌دهند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰ و یانگ و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج بررسی فرجی و همکاران (۱۳۹۵) نشان می‌دهد که افزایش غلظت سیلیسیم مورد استفاده در برنج رقم نعمت با افزایش قطر و ضخامت ساقه موجب افزایش گشتاور و مقاومت خمشی ساقه برنج گردید که با کاهش شاخص خوابیدگی بوته همراه بود. سـیلیس در برنج با افزایش نشاسته در ساقه موجب بالا بردن مقاومت ساقه و مقاومت به خمش می‌شود (لنون و هوبیلی، ۲۰۰۹). همچنین بیـان شده است سیلیس به دلیل اثراتی که بر افزایش میزان لیگنین در ساقه گیاه برنج دارد سبب افزایش مقاومت خمشی و کاهش ورس در بـرنج می‌گردد (لیانگ و چن، ۲۰۰۳).

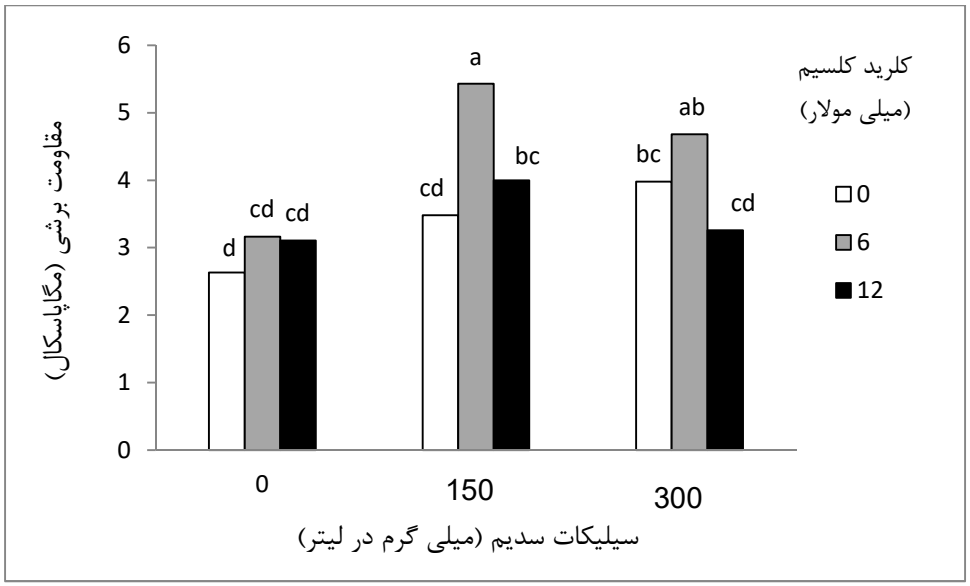


شکل ۴-۳۶- مقایسه میانگین مقاومت خمشی ساقه تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

۴-۲۰-۲- مقاومت برشی ساقه

فرآیند برش مشتمل بر یک رشته از برش‌های اصلی، تغییرشکل‌ها با روش‌های گسیختگی است که هر کدام با اصول متفاوتی به‌وقوع می‌پیوندد. در برش فلزات مقدار کار انجام شده مستقیماً با سطح مقطع صفحه متناسب است، ولی در گیاهان به‌علت ساختار فیبری مقدارکار انجام شده به عوامل مختلفی نظیر نوع گیاه، محتوای رطوبتی گیاه، قطر و ضخامت گیاه، مواد جامد واقع در گیاه، عوامل مربوط به طراحی ماشین‌الات برشی و ... بستگی دارد (مکنالتی و محسنین، ۱۹۷۹).

اثر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و برهم‌کنش آن با کلرید کلسیم ($p <$ ۰/۰۱) بر مقاومت برشی ساقه معنی-دار شد (جدول پیوست ۱۲). در بین ترکیبات تیماری مورد مطالعه مقاومت برشی ساقه جو ۲/۶۳ و ۵/۴۳ مگاپاسکال متغیر بود. گیاهانی که با سیلیکات سدیم در هر دو غلظت ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حضور کلرید کلسیم ۶ میلی‌مولار محلول‌پاشی شدند از مقاومت برشی بالاتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند به‌طور مشخص کاربرد توأم سیلیکات سدیم (۱۵۰ میلی‌گرم درلیتر) با کلرید کلسیم (۶ میلی‌مولار) این صفت را ۱۰۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. (شکل ۴-۳۷). نتایج تحقیقات فرجی و همکاران (۱۳۹۵) حاکی از آن است که صفات مقاومت فیزیکی ساقه به‌طور مستقیم با عناصر موجود در ساقه در ارتباط است و افزایش این عناصر که شامل سیلیسیم هم می‌شود در افزایش مقاومت فیزیکی ساقه نقش مؤثری دارد. کریشناروا و گودخیندی (۱۹۹۲) گزارش دادند، کاربرد سیلیس در برنج موجب افزایش معنی‌داری در مقاومت به برش نسبت به شاهد شد. در مطالعه این محققین بالاترین مقاومت به برش در سطح ۵۰۰ کیلوگرم سیلیکات کلسیم گزارش شده است. در آزمایشی که با مقادیر مختلف سیلیس روی گیاه برنج و گندم انجام دادند اعلام کردند که کاربرد سیلیس می‌تواند مقاومت به برش را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد (آسرچ و سلفر، ۲۰۱۱).



شکل ۴- ۳۷- مقایسه میانگین مقاومت برشی تحت تأثیر ترکیبات تیماری حاصل از محلول‌پاشی سیلیکات سدیم و کلرید کلسیم

۴-۲۱- نتیجه‌گیری

بررسی تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم و برآیند نتایج حاصل از آن‌ها نشان داد که اعمال این تیمارها بر بسیاری از صفات زراعی و فیزیولوژیک تأثیر مثبت داشت. به‌عنوان مثال هنگامی که سیلیکات سدیم به همراه کلرید کلسیم روی گیاهان محلول‌پاشی شدند، صفاتی مانند مقدار ماده خشک برگ و ساقه، قطر و ضخامت دیواره ساقه، عملکرد دانه، میزان کلروفیل کل، مقدارکلسیم موجود در ساقه، درصد پروتئین دانه و مقاومت برشی ساقه بهبود یافتند. این تأثیر در سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم و ۶ میلی‌مولار کلرید کلسیم بیشتر بود به‌طوری که عملکرد دانه جو نسبت به شاهد حدود ۶۵ درصد افزایش یافت. همچنین درصد پروتئین دانه را از حدود ۵/۸۰ درصد در گیاهان شاهد به ۱۰ درصد رساند.

کاربرد همزمان کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم موجب افزایش صفاتی از قبیل وزن خشک سنبله، قند محلول برگ و مقاومت خمشی گردید. این تأثیر در غلظت‌های ۶ و ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات پتاسیم بیشتر بود، و موجب افزایش چشمگیر (۶۵ درصد) مقاومت خمشی ساقه نسبت به شاهد گردید. وزن خشک سنبله در گیاهان شاهد ۹۷۳ گرم در مترمربع بود که با اعمال این ترکیبات تیماری به‌طور متوسط ۵۷ درصد بهبود یافت. همچنین محلول‌پاشی توأم سیلیکات سدیم و سولفات پتاسیم موجب بهبود صفاتی مانند تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، میزان سیلیسیم ساقه و درصد پروتئین دانه شد. این تیمارها از غلظت ۲۰ میلی‌گرم سولفات پتاسیم و به‌طور کلی غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم بیشترین تأثیر را پذیرفتند. ترکیبات تیماری ذکر شده میزان سیلسیم ساقه را به‌طور متوسط ۵۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

در نهایت بررسی تأثیر سه‌جانبه تیمارها نشان می‌دهد. ترکیب تیماری حاصل از محلول‌پاشی سطوح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم، ۶ و ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم بدون حضور سولفات پتاسیم بیشترین تأثیر

را روی صفات فیزیولوژیک مانند میزان کلروفیل b و کلروفیل کل برگ، درصد و عملکرد پروتئین دانه، قند محلول برگ، میزان کلسیم ساقه، مقاومت خمشی و قطر ساقه داشت.

۴-۲۲- پیشنهادات

۱- انجام مطالعات گسترده‌تر در به‌کارگیری عناصر مرتبط با استحکام در غلات به‌خصوص عنصر سیلیسیم، قابل توصیه است زیرا تحقیقات اندکی در مورد آن‌ها صورت گرفته است.
۲- پیشنهاد می‌شود تأثیر عناصر به‌ویژه سیلیسیم بر ریزش دانه غلات به‌خصوص دانه جو بررسی شود.
۳- با توجه به نتایج آزمایش توصیه می‌گردد که غلظت‌های بالاتر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم و غلظت‌های اطراف ۱۲ میلی‌مولار برای کلرید کلسیم مورد بررسی قرار گیرد تا ارزیابی دامنه وسیع‌تری از غلظت‌ها سبب توصیه بهتر گردد.
۴- بررسی مقایسه ای عوامل ایجاد ورس با عوامل مقاومت به ورس در غلات مانند بررسی تأثیر کاربرد کودهای نیتروژن و سیلیکات سدیم

پیوست

جدول پیوست ۱- میانگین مربعات تجمع ماده خشک در برگ، ساقه، غلاف و سنبله جو تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	ماده خشک برگ	ماده خشک ساقه	ماده خشک غلاف	ماده خشک سنبله
تکرار	۲	۸۸۵/۲۹	۴۲۳۷۵/۸۲	۳۱۷/۳۴	۱۵۵۶۵/۹۲
سیلیکات سدیم (a)	۲	۱۳۴۷۰/۰۸**	۲۹۰۷/۵۲	۷۵۴/۰۷	۲۱۴۷۵/۴۷
کلرید کلسیم (b)	۲	۱۰۹۲۰/۴۲**	۲۹۲۸۰۲/۵۳*	۶۴۲/۱۷	۳۶۱۷۹/۹۱
سولفات پتاسیم (c)	۱	۲۵۶۸/۲۷	۳۱۷۹۵/۷۲	۲۶۹۵/۳۹	۳۴۹۰۴/۰۳
a×b	۴	۶۹۰۳۰/۴۲**	۷۷۴۸۵/۴۴**	۲۷۴۷/۰۳	۲۲۷۵۰۷/۹۷*
a×c	۲	۱۲۶۶/۲۱	۲۳۵۲۵۱/۸۸**	۲۰۷۵/۷۶	۵۹۴۵۳۸/۲۶**
b×c	۲	۲۵۱۸۲/۰۷**	۲۵۱۸۲/۰۷	۱۱۹۲/۶۶	۷۶۹۶۷/۷۱**
a×b×c	۴	۶۱۳۳/۵۵**	۵۸۶۱۳۹/۹۹**	۹۴۴۴/۰۱**	۵۴۲۸۶۴/۶۳**
خطا	۳۴	۸۹۳/۴۹	۱۶۶۵۰/۳۰	۱۰۴۷/۳۳	۴۶۱۶۶/۴۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۳۴	۱۷/۰۰	۲۲/۸۲	۱۷/۱۵

* و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۲- مقایسه میانگین وزن خشک برگ، ساقه، غلاف و سنبله تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

تیمارها						
سیلیکات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلرید کلسیم (میلی‌مولار)	سولفات پتاسیم (میلی‌گرم درلیتر)	ماده خشک برگ (گرم در متر مربع)	ماده خشک ساقه (گرم در مترمربع)	ماده خشک غلاف (گرم درمترمربع)	ماده خشک سنبله (گرم در مترمربع)
صفر	صفر	صفر	۱۳۰/۹۰^{f}	۳۳۸/۳۰^{hi}	۷۵/۱۷^{f}	۸۶۷/۲۰^{hi}
		۲۰	۲۵۷/۸۰^{b}	۱۰۹۸/۰۰^{ab}	۱۶۴/۰۱^{ab}	۱۴۹۳/۰۰^{bcde}
	۶	صفر	۲۱۲/۴۰^{bcde}	۱۰۴۱/۰۰^{abc}	۱۵۹/۲۰^{abc}	۱۶۶۸/۰۲^{abc}
		۲۰	۲۰۷/۷۰^{cde}	۶۸۱/۶۰^{def}	۹۶/۲۲^{def}	۷۵۹/۶۰^{i}
	۱۲	صفر	۲۱۴/۰۰^{bcde}	۴۴۹/۲۰^{gh}	۱۷۵/۹۰^{ab}	۱۷۰۹/۰۰^{ab}
		۲۰	۲۱۹/۴۰^{bcd}	۸۸۹/۸۰^{bcd}	۱۴۱/۲۰^{bcde}	۹۵۷/۳۰^{ghi}
۱۵۰	صفر	صفر	۱۶۶/۶۰^{ef}	۸۷۵/۱۰^{cde}	۲۱۱/۲۰^{a}	۱۰۷۹/۰۰^{fghi}
		۲۰	۱۷۵/۰۰^{def}	۲۰۰/۴۰^{i}	۹۴/۵۷^{ef}	۹۴۵/۶۰^{ghi}
	۶	صفر	۱۷۷/۱۰^{def}	۶۴۵/۳۰^{fg}	۱۳۴/۹۰^{bcde}	۱۲۴۱/۰۰^{efg}
		۲۰	۱۳۶/۳۰^{f}	۱۱۴۷/۰۰^{a}	۱۶۴/۵۰^{ab}	۱۸۸۶/۰۰^{a}
	۱۲	صفر	۲۴۵/۷۰^{bc}	۷۳۵/۸۰^{def}	۱۳۸/۱۰^{bcde}	۱۱۵۹/۰۰^{efgh}
		۲۰	۳۲۵/۳۰^{a}	۱۰۳۸/۰۰^{abc}	۱۰۸/۴۰^{cdef}	۱۳۲۰/۰۰^{cdef}
۳۰۰	صفر	صفر	۱۶۶/۳۰^{ef}	۵۴۶/۳۰^{fgh}	۱۷۳/۵۰^{ab}	۹۷۵/۰۰^{fghi}
		۲۰	۲۴۸/۸۰^{bc}	۶۲۶/۰۰^{fg}	۱۵۰/۵۰^{bcd}	۱۶۰۳/۰۰^{bcd}
	۶	صفر	۲۱۲/۲۰^{bcde}	۸۹۳/۱۰^{bcd}	۱۰۵/۷۰^{cdef}	۱۰۵۹/۰۰^{fghi}
		۲۰	۲۱۶/۳۰^{b}	۷۰۲/۹۰^{def}	۱۴۹/۱۰^{bcd}	۱۴۹۵/۲۰^{bcde}
	۱۲	صفر	۱۷۹/۳۰^{def}	۱۰۹۸/۰۰^{ab}	۱۶۰/۴۰^{ab}	۱۲۸۷/۰۱^{defg}
		۲۰	۱۴۳/۷۰^{f}	۶۶۶/۲۰^{ef}	۱۴۴/۲۰^{bcde}	۹۴۵/۱۳^{ghi}

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول پیوست ۳- میانگین مربعات شاخص سطح برگ، قطر، ضخامت دیواره و طول ساقه و زاویه برگ جو تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	قطر ساقه	ضخامت دیواره ساقه	طول ساقه	زاویه برگ پرچم
تکرار	۲	۱/۵۴	۰/۰۱	۰/۰۱۴*	۱/۸۶	۶۵/۰۴
سیلیکات سدیم (a)	۲	۰/۹۲	۰/۱۴**	۰/۰۰۱۴	۴۱/۹۱	۶۷۵/۰۴**
کلرید کلسیم (b)	۲	۲/۴۷	۰/۰۹۵**	۰/۰۲**	۸۵/۰۶	۱۱۰/۸۷
سولفات پتاسیم (c)	۱	۲/۶۹	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳	۰/۴۶	۸/۳۶
a×b	۴	۰/۶۸	۰/۰۵**	۰/۰۱۲**	۵۴/۸۵	۵۳/۵۰
a×c	۲	۱/۴۵	۰/۱۷**	۰/۰۰۱۸	۷۳/۵۴	۴۱۲/۴۱
b×c	۲	۲/۱۳	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲۷	۴۴/۲۳	۱۱۳/۸۲
a×b×c	۴	۰/۴۹	۰/۳۳**	۰/۰۰۵۹	۱۸/۲۸	۲۲/۱۷
خطا	۳۴	۰/۹۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲۶	۳۵/۷۷	۴۲/۳۸
ضریب تغییرات (درصد)		۳۲/۰۶	۳/۳۹	۱۳/۴۸	۱۲/۳۸	۱۰/۲۳

* و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۴- میانگین مربعات تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد جو تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد پنجه در بوته	تعداد سنبله در بوته	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد
تکرار	۲	۰/۴۷	۰/۶۱	۳/۶۲	۲/۸۲	۸۰۷۴۹/۸۶
سیلیکات سدیم (a)	۲	۰/۶۱	۰/۱۷	۰/۳۵	۲۰/۵۰	۹۴۹۲۰/۵۲
کلرید کلسیم (b)	۲	۰/۴۲	۰/۰۰۴	۲۶/۷۹*	۹/۴۱	۴۹۹۹۹/۴۸
سولفات پتاسیم (c)	۱	۰/۷۸	۰/۳۷	۴۲/۶۶*	۰/۱۵	۲۶۷۸۱/۳۷
a×b	۴	۱/۳۴	۱/۹۲	۱۹/۶۵*	۲۳/۵۸*	۱۲۱۲۴۰/۰۵*
a×c	۲	۰/۲۸	۰/۰۹	۶۵/۷۲**	۹/۳۴	۲۱۳۰۰۲/۰۲*
b×c	۲	۰/۳۳	۱/۳۴	۳۴/۷۲**	۱۸/۱۷**	۱۰۱۷۰/۲۶
a×b×c	۴	۳/۵۶*	۱/۶۵	۴۳/۱۹**	۱۰/۱۰	۹۲۰۴۱/۰۴
خطا	۳۴	۱/۰۵	۰/۷۵	۶/۱۹	۶/۳۰	۴۰۵۴۲/۷۵
ضریب تغییرات (درصد)		۲۴/۶۵	۲۳/۸۰	۸/۳۸	۶/۹۶	۱۹/۱۷

* و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۵- مقایسه میانگین قطر ساقه، تعداد پنجه در بوته و تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

تیمارها			قطر ساقه	تعداد پنجه	تعداد دانه
سیلیکات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلرید کلسیم (میلی‌مولار)	سولفات پتاسیم (میلی‌گرم درلیتر)	(میلی‌متر)	در بوته	در سنبله
صفر	صفر	صفر	۲/۶۳^{j}	۲/۶۶^{d}	۲۳/۶۶^{f}
		۲۰	۳/۰۱^{efgh}	۳/۱۶^{cd}	۲۵/۰۰^{ef}
	۶	صفر	۲/۹۶^{fgh}	۴/۸۳^{abc}	۳۲/۰۰^{abc}
		۲۰	۳/۰۲^{efgh}	۳/۳۳^{bcd}	۲۳/۶۶^{f}
	۱۲	صفر	۲/۵۹^{j}	۴/۰۰^{abcd}	۲۷/۰۰^{def}
		۲۰	۲/۹۰^{hi}	۳/۸۳^{abcd}	۳۱/۰۰^{abcd}
۱۵۰	صفر	صفر	۳/۱۵^{de}	۳/۸۳^{abcd}	۳۳/۰۰^{ab}
		۲۰	۲/۷۵^{ij}	۴/۱۶^{abcd}	۲۸/۰۰^{cde}
	۶	صفر	۳/۰۸^{defg}	۵/۵۰^{a}	۲۸/۶۶^{cde}
		۲۰	۲/۹۲^{gh}	۵/۵۰^{a}	۲۹/۰۰^{bcde}
	۱۲	صفر	۲/۷۵^{ij}	۵/۰۰^{ab}	۲۵/۰۰^{ef}
		۲۰	۳/۱۹^{d}	۴/۰۰^{abcd}	۳۳/۰۰^{ab}
۳۰۰	صفر	صفر	۳/۰۹^{def}	۴/۳۳^{abcd}	۳۰/۰۰^{bcd}
		۲۰	۳/۰۷^{defg}	۴/۱۶^{abcd}	۲۷/۰۰^{def}
	۶	صفر	۳/۵۶^{b}	۴/۶۶^{abc}	۳۵/۰۰^{a}
		۲۰	۳/۰۵$^{d-h}$	۳/۸۳^{abcd}	۲۹/۰۰^{bcde}
	۱۲	صفر	۳/۹۸^{a}	۴/۶۶^{abc}	۳۳/۰۰^{ab}
		۲۰	۳/۳۷^{c}	۴/۵۰^{abc}	۳۰/۰۰^{bcd}

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول پیوست ۶- میانگین مربعات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیلa	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
تکرار	۲	۰/۲۴	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۰۲
سیلیکات سدیم (a)	۲	۱/۴۲**	۰/۰۱	۲/۸۵**	۰/۱۲**
کلرید کلسیم (b)	۲	۰/۳۱*	۰/۰۳	۱/۲۸*	۰/۰۳**
سولفات پتاسیم (c)	۱	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۰۰۴۷*
a×b	۴	۰/۲۸**	۰/۰۶	۱/۲۹**	۰/۰۱۱**
a×c	۲	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۰۰۸**
b×c	۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۱۱**
a×b×c	۴	۰/۴۲**	۰/۱۲**	۱/۵۹**	۰/۰۲**
خطا	۳۴	۰/۰۹۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۰۹	۲۱/۱۴	۸/۹۳	۷/۴۵

* و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۷- مقایسه میانگین کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

تیمارها			کلروفیلa	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
سیلیکات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلرید کلسیم (میلی‌مولار)	سولفات پتاسیم (میلی‌گرم درلیتر)				
صفر	صفر	صفر	۱/۱۸^{g}	۰/۵۲^{de}	۱/۳۴^{j}	۰/۱۵^{j}
		۲۰	۱/۵۱^{defg}	۰/۶۷^{cde}	۲/۲۲^{h}	۰/۳۵^{hi}
	۶	صفر	۱/۶۵^{cdef}	۰/۷۵^{abcd}	۲/۷۱^{g}	۰/۳۶^{hi}
		۲۰	۱/۷۷^{bcdef}	۰/۸۹^{abc}	۲/۸۸^{defg}	۰/۳۹^{fgh}
	۱۲	صفر	۱/۹۹^{bcde}	۰/۸۹^{abc}	۲/۹۰^{cdefg}	۰/۴۳^{efg}
		۲۰	۱/۳۵^{fg}	۰/۴۷^{e}	۲/۸۳^{efg}	۰/۳۱^{i}
۱۵۰	صفر	صفر	۲/۸۴^{bc}	۰/۸۷^{abc}	۳/۲۰^{bcde}	۰/۴۹^{cd}
		۲۰	۱/۹۱^{bcde}	۰/۷۰^{bcde}	۲/۶۲^{gh}	۰/۴۶^{cde}
	۶	صفر	۲/۰۱^{bcd}	۰/۷۳^{bcde}	۲/۷۵^{fg}	۰/۴۷^{cde}
		۲۰	۲/۱۵^{bc}	۰/۸۶^{abc}	۳/۳۶^{b}	۰/۵۸^{a}
	۱۲	صفر	۱/۴۹^{efg}	۰/۵۲^{de}	۱/۷۸^{i}	۰/۴۴^{def}
		۲۰	۲/۱۷^{b}	۰/۹۶^{ab}	۳/۱۳^{bcdef}	۰/۵۱^{bc}
۳۰۰	صفر	صفر	۱/۸۸^{bcde}	۰/۷۶^{abcd}	۲/۶۵^{g}	۰/۴۶^{cde}
		۲۰	۱/۹۱^{bcde}	۰/۷۷^{abcd}	۲/۶۸^{g}	۰/۳۸^{gh}
	۶	صفر	۱/۹۴^{bcde}	۰/۷۶^{abcd}	۲/۷۰^{g}	۰/۴۲^{efg}
		۲۰	۲/۰۴^{b}	۰/۸۸^{abc}	۳/۲۸^{bcd}	۰/۴۷cde
	۱۲	صفر	۲/۱۵^{b}	۰/۹۷^{a}	۳/۳۰^{bc}	۰/۵۶^{ab}
		۲۰	۲/۷۵^{a}	۰/۹۹^{a}	۴/۰۸^{a}	۰/۵۰^{c}

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول پیوست ۸- میانگین مربعات محتوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء پلاسمایی، آنتوسیانین، فلاونوئید و قند محلول تحت تأثیر محلول-پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	پایداری غشاء پلاسمایی	آنتوسیانین	فلاونوئید	قندمحلول
تکرار	۲	۷۲/۴۳	۳۶۴/۱۴**	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۲
سیلیکات سدیم (a)	۲	۱۴۷/۶۷	۱۱۹/۲۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۰۰۰۵
کلرید کلسیم (b)	۲	۱۱۶/۹۴	۵۰/۲۳*	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۰۱
سولفات پتاسیم (c)	۱	۹۵/۰۲	۱۵۱/۴۷**	۰/۰۰۱۰**	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱
a×b	۴	۷۶/۵۹	۹۴/۶۱	۰/۰۰۶۳**	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۸
a×c	۲	۳۹۴/۶۹*	۳۲/۲۰	۰/۰۰۶۱**	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۵**
b×c	۲	۲۴۵/۲۳	۶۵/۵۷	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۴**
a×b×c	۴	۱۱۴/۸۷	۱۰۱/۳۹**	۰/۰۰۵۵**	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۲**
خطا	۳۴	۸۷/۵۱	۲۰/۴۶	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۷۵	۷/۱۰	۲۳/۸۴	۱۱/۹۱	۲۲/۵۰

* و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست۹- مقایسه میانگین پایداری غشاء پلاسمایی، پروتئین دانه، آنتوسیانین و قند محلول تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

تیمارها			پایداری غشاء پلاسمایی(درصد)	پروتئین دانه (درصد)	آنتوسیانین (میلی‌گرم برگرم وزن‌تر)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
سیلیکات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلرید کلسیم (میلی‌مولار)	سولفات پتاسیم (میلی‌گرم درلیتر)				
صفر	صفر	صفر	۶۴/۲۴$^{b-f}$	۵/۰۵^{f}	۰/۰۵^{h}	۰/۰۱۰^{gh}
		۲۰	۶۷/۷۱^{bc}	۸/۳۱^{bcef}	۰/۱۳^{def}	۰/۰۲۰^{df}
	۶	صفر	۷۷/۲۹^{a}	۸/۱۰^{def}	۰/۱۲^{def}	۰/۰۱۸^{ef}
		۲۰	۶۱/۴۳^{cdef}	۵/۸۶^{f}	۰/۱۳^{def}	۰/۰۱۵^{efg}
	۱۲	صفر	۵۹/۳۲^{efg}	۸/۳۶^{cdef}	۰/۱۱^{efg}	۰/۰۰۷^{h}
		۲۰	۶۸/۲۷^{bc}	۱۰/۱۰^{bcdf}	۰/۱۱^{efg}	۰/۰۲۰^{de}
۱۵۰	صفر	صفر	۶۷/۰۹^{bcd}	۵/۲۱^{f}	۰/۱۴^{de}	۰/۰۱۵^{efg}
		۲۰	۶۱/۹۷$^{b-f}$	۶/۴۰^{f}	۰/۰۸^{gh}	۰/۰۱۶^{efg}
	۶	صفر	۶۲/۰۹$^{b-f}$	۶/۹۵^{ef}	۰/۱۲^{def}	۰/۰۲۵^{d}
		۲۰	۶۰/۰۴$^{d-g}$	۵/۸۶^{f}	۰/۲۰^{c}	۰/۰۱۱^{gh}
	۱۲	صفر	۶۴/۶۹$^{b-f}$	۵/۵۴^{f}	۰/۱۲^{def}	۰/۰۱۰^{gh}
		۲۰	۶۳/۸۱$^{b-f}$	۷/۹۸^{def}	۰/۸۶^{a}	۰/۰۱۹^{def}
۳۰۰	صفر	صفر	۶۹/۲۳^{b}	۱۲/۲۲^{b}	۰/۱۶^{cd}	۰/۰۲۰^{de}
		۲۰	۶۱/۲۷$^{c-f}$	۱۰/۶۸^{bcd}	۰/۱۶^{cd}	۰/۰۱۴^{efg}
	۶	صفر	۵۷/۲۳^{g}	۱۱/۷۰^{bc}	۰/۰۵^{h}	۰/۰۱۶^{c}
		۲۰	۵۳/۸^{g}	۱۲/۲۲^{b}	۰/۰۹^{efg}	۰/۱۷۰^{b}
	۱۲	صفر	۶۶/۸۰^{bcde}	۱۶/۹۶^{a}	۰/۱۱^{efg}	۰/۲۱۰^{a}
		۲۰	۵۹/۹۱^{defg}	۱۶^{a}	۰/۷۷^{b}	۰/۰۱۳^{Fgh}

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول پیوست ۱۰- میانگین مربعات میزان پتاسیم، کلسیم و سیلیسیم ساقه و درصد و عملکرد پروتئین تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	پتاسیم ساقه	کلسیم ساقه	سیلیسیم ساقه	درصدپروتئین	عملکرد پروتئین
تکرار	۲	۱۴۸۷/۰۰	۵/۴۸*	۳/۲۵	۰/۴۳	۳۰/۱۹
سیلیکات سدیم (a)	۲	۱۹۲۵/۰۲	۳/۶۲	۴۵۷/۷۳**	۳۸/۴۴**	۸۴۶/۷۰**
کلرید کلسیم (b)	۲	۱۵۲۰/۱۰	۱/۰۲	۳۴۶/۲۸**	۸/۳۱	۱۶۰/۴۹
سولفات پتاسیم (c)	۱	۳۸۷/۲۰	۱۸/۱۴**	۱۲۴/۶۷	۱۷/۷۵*	۵/۹۷
a×b	۴	۷۸۱/۱۵	۴/۵۵**	۷۵/۲۶	۱۲/۷۱*	۴۷۳/۹۱**
a×c	۲	۲۸۸۵/۸۳	۲/۴۹	۲۴۷/۳۷**	۲۶/۹۸**	۱۲۴۲/۹۴**
b×c	۲	۲۱۸۰/۰۵	۳/۸۸	۵۷/۳۱	۷/۶۱	۵۴۴/۳۶**
a×b×c	۴	۶۰۶۸۰۵/۲۳*	۱۱/۰۶**	۱۷۳/۵۸**	۷۲/۶۲**	۱۵۳۷/۷۱**
خطا	۳۴	۲۰۱۴/۶۶	۱/۳۷	۳۶/۸۴	۴/۰۸	۷۲/۸۴
ضریب تغییرات (درصد)		۲۳/۸۷	۲۳/۴۰	۲۴/۸۸	۲۵/۳۳	۱۷/۲۴

* و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۱۱- مقایسه میانگین میزان پتاسیم، کلسیم، سیلسیم و عملکرد پروتئین تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

تیمارها						
سیلیکات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلرید کلسیم (میلی‌مولار)	سولفات پتاسیم (میلی‌گرم درلیتر)	میزان پتاسیم ساقه پی پی ام	کلسیم ساقه (میلی‌اکی والان در لیتر)	سیلیسیم ساقه (میلی‌گرم در گرم وزن خشک)	عملکرد پروتئین (گرم در مترمربع)
صفر	صفر	صفر	۱۸۶/۱۰^{abcd}	۳/۵^{df}	۱۵/۹۵^{g}	۲۶/۰۲^{f}
		۲۰	۲۱۵/۲۰^{abc}	۴/۱۳^{def}	۱۷/۵۰^{fg}	۳۰/۵۳^{def}
	۶	صفر	۲۱۳/۳^{abc}	۴/۴۰^{cdef}	۲۶/۶۵$^{b-f}$	۴۰/۴۲^{cde}
		۲۰	۱۳۶/۹۰^{d}	۵/۰۰^{cde}	۱۸/۰۰^{efg}	۴۳/۳۲^{cd}
	۱۲	صفر	۱۳۸/۷۰^{d}	۵/۰۰^{cde}	۱۸/۵۵^{def}	۵۳/۰۳^{bc}
		۲۰	۲۰۳/۹۰^{abcd}	۵/۵۰^{bcd}	۱۸/۰۰^{efg}	۶۲/۸۸^{ab}
۱۵۰	صفر	صفر	۲۱۶/۴۰^{abc}	۲/۶۰^{f}	۱۹/۰۵$^{d-g}$	۲۷/۵۰^{ef}
		۲۰	۱۷۵/۴۰^{abcd}	۴/۴۶^{cdef}	۲۷/۶۵$^{b-e}$	۴۳/۹۱^{cd}
	۶	صفر	۱۵۸/۸۰^{cd}	۶/۱۰^{bc}	۲۲/۴۵$^{b-g}$	۵۲/۲۲^{bc}
		۲۰	۲۳۴/۴۰^{a}	۵/۶۰^{bcd}	۴۹/۰۰^{a}	۷۳/۰۷^{a}
	۱۲	صفر	۴۲۱/۴۰^{abc}	۸/۹۰^{a}	۲۰/۱۰$^{c-g}$	۵۲/۱۸^{bc}
		۲۰	۲۰۷/۴۰^{abcd}	۶/۲۰^{bc}	۱۹/۷۵$^{b-g}$	۷۱/۱۵^{a}
۳۰۰	صفر	صفر	۲۳۸/۵۰^{ab}	۵/۰۰^{cde}	۲۳/۵۰^{bc}	۴۳/۳۲^{cd}
		۲۰	۱۶۰/۹۰^{abcd}	۴/۵۰^{cdef}	۲۹/۵۵^{b}	۵۹/۹۹^{ab}
	۶	صفر	۱۸۳/۱۰^{abcd}	۶/۱۳^{bc}	۳۲/۵۰^{b}	۵۹/۰۰^{ab}
		۲۰	۱۵۷/۸۰^{bcd}	۶/۰۰^{bcd}	۲۸/۵۰^{b}	۷۲/۲۸^{a}
	۱۲	صفر	۱۸۲/۹۰^{abcd}	۷/۴۰^{ab}	۳۰/۷۵^{b}	۷۱/۶۲^{a}
		۲۰	۱۷۵/۷۰^{abcd}	۷/۳۷^{ab}	۲۴/۷۰$^{b-g}$	۷۰/۲۹^{a}

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول پیوست ۱۲- میانگین مربعات مقاومت خمشی و برشی ساقه تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	مقاومت خمشی ساقه	مقاومت برشی ساقه
تکرار	۲	۰/۰۱۳**	۱/۵۴
سیلیکات سدیم (a)	۲	۰/۰۰۵**	۱۳۹/۸۸**
کلرید کلسیم (b)	۲	۰/۰۰۳*	۳۶/۷۷
سولفات پتاسیم (c)	۱	۰/۰۰۱	۲۳/۵۴
a×b	۴	۰/۰۰۱	۱۶۲/۰۲**
a×c	۲	۰/۰۰۰۳	۲۴/۸۳
b×c	۲	۰/۰۰۵**	۳۵/۱۳
a×b×c	۴	۰/۰۰۳*	۲۷/۲۸
خطا	۳۴	۰/۰۰۰۹۵	۲۱/۸۰
ضریب تغییرات (درصد)		۲۶/۷۰	۲۵/۱۹

* و ** به ترتیب به مفهوم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول پیوست ۱۳- مقایسه میانگین مقاومت خمشی ساقه جو تحت تأثیر برهم‌کنش سه جانبه محلول‌پاشی سیلیکات سدیم، کلرید کلسیم و سولفات پتاسیم

تیمارها			مقاومت خمشی (مگا پاسکال)
سیلیکات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)	کلرید کلسیم (میلی‌مولار)	سولفات پتاسیم (میلی‌گرم درلیتر)	
صفر	صفر	صفر	۰/۰۳^{e}
		۲۰	۰/۱۰^{cd}
	۶	صفر	۰/۱۱^{bcd}
		۲۰	۰/۱۰^{cd}
	۱۲	صفر	۰/۱۰^{cd}
		۲۰	۰/۱۰^{cd}
۱۵۰	صفر	صفر	۰/۱۱^{bcd}
		۲۰	۰/۰۸^{cd}
	۶	صفر	۰/۱۲^{bcd}
		۲۰	۰/۱۴^{abc}
	۱۲	صفر	۰/۱۰^{cd}
		۲۰	۰/۱۱^{bcd}
۳۰۰	صفر	صفر	۰/۱۱^{bcd}
		۲۰	۰/۱۱۶^{bcd}
	۶	صفر	۰/۱۱۹^{bcd}
		۲۰	۰/۱۹^{a}
	۱۲	صفر	۰/۱۶^{ab}
		۲۰	۰/۰۹۹^{cd}

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

منابع

احمدی، ج.، صیفی، ا. و امینی دهقی، م. ۱۳۹۱. تأثیر محلول‌پاشی ریزمغذی های آهن، روی و کلسیم بر عملکرد دانه و روغن ارقام کنجد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۵ (۳): ۱۱۵-۱۳۰.

اسدی، ا. حقنیا، م.، لکزیان، ا. و مفتون، م. ۱۳۹۳ .تأثیر مقادیر مختلف سیلیسیم و نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژی، عملکـرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم. نشریه زراعت.۱۰۳ (۴): ۶۶ -۷۸.

آق‌خان، م. و مینایی، م. ۱۳۸۶. طراحی و ساخت کمباین مکشی برای برداشت بذرهای مرتعی. مجله تحقیقات مرتع ایران. ۱۴ (۲): ۱۴۲-۱۵۵.

بابادائی سامانی، ر.۱۳۸۷. گلکاری عمومی(اصول و مدیریت گلخانه). انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.۱۴۰ صفحه.

بای بوردی،ا. ۱۳۹۵. تأثیر زئولیت و محلول پاشی سلنیوم و سیلسیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا تحت شرایط تنش شوری. *پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۷۰ (۱۴): ۱۵۷-۱۷۴.*

بداغی، س. *۱۳۸۶. تأثیر عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی خوی. ۹۸ صفحه.*

بیات، ح. ۱۳۹۱. تأثیر سیلسیم بر رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک اطلسی ایرانی. مجله علوم باغبانی. ۲۶ (۱): ۱۰-۱۶.

بیگلرزاده، م.، آقایی میبدی، ح. و لاریجانی، ب. ۱۳۸۹، غنی‌سازی مواد غذایی با کلسیم، مجله علمی سازمان نظام پزشکی جمهوری اسلامی ایران. ۲۸ (۲): ۱۹۰-۲۰۴.

بی‌نام.۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال۹۵-۱۳۹۴. جلد اول. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.

پارسا، م. و باقری، ع. ۱۳۸۷. حبوبات. جهاد دانشگاهی (دانشگاه فردوسی مشهد). ۵۲۸ صفحه.

پیرمرادیان، م. ۱۳۷۶. تغذیه برگی درختان میوه. انتشارات نقش جهان تهران. ۳۲ صفحه.

پیوست، غ.، زارع، م. و سمیع‌زاده لاهیجی، ح. ۱۳۸۷. اثر متقابل سطوح مختلف سیلیسیم و تنش شوری بر رشد کاهو پیچ تحت شرایط کشت در سیستم لایه نازک محلول غذایی. نشریه علوم و صنایع کشاورزی. ۲۲(۱): ۸۶-۸۹.

جمشیدی، پ.، برادران فیروزآبادی، م.، علومی، ح و نقوی ه. ۱۳۹۵. بررسی محلول پاشی کود روی و کلسیم بر عملکرد و صفات فیزیولوژیکی گلرنگ تحت تنش سرب. *پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۵ (۲): ۳۶۸-۳۷۹.*

حسن‌دخت، م.ر. ۱۳۸۶. مدیریت گلخانه. تهران: انتشارات سلسبیل. ۳۷۶ صفحه.

حق‌پرست تنها، م. ۱۳۷۱. تغذیه و متابولیسم گیاهان. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت. ۵۲۷ صفحه.

خدابنده، ن. ۱۳۷۴. غلات. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۰۶ صفحه

خسروی مشیزی، م. و سرچشمه‌پور، م. ۱۳۹۴. تأثیر محلول‌پاشی کلسیم و پتاسیم بر رشد گیاه، عملکرد و خصوصیات پس از برداشت میوه دو رقم طالبی مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۵ (۱۷) : ۱۸ - ۳۰.

خلدبرین، ب. و اسلام‌زاده، ط. ۱۳۸۰. تغذیه معدنی گیاهان آلی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز. ۹۰۲ صفحه.

خواجه‌پور، م.ر. ۱۳۸۹. اصول و مبانی زراعت. جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. ۳۹۸ صفحه.

خوشگفتارمنش ا. ۱۳۸۶. مبانی تغذیه گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۴۶۲ صفحه.

دهقانی‌پوده، ص. ۱۳۹۱. اثر سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیکون روی رشد و نمو توت فرنگی تحت شرایط تنش آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان. ۸۴ صفحه.

سیدلرفاطمی، ل.، طباطبایی، س.ج. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸ .اثر سیلیسیوم بر رشد و عملکرد گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری، مجله علوم باغبانی. ۲۳ (۸): ۸۰-۹۸.

صادقی لطف‌آبادی، س.، کافی، م. و خزاعی، ح. ۱۳۸۹. بررسی اثرات تعدیل‌کنندگی کاربرد خاکی و محلول-پاشی کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم بر صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم در شرایط تنش شوری. نشریه آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی).۲۴ (۲): ۳۸۵-۳۹۳.

صالحی، ل.، چهرازی، م. و معزی، ع. ۱۳۹۸. تأثیر هیومی‌پتاس و سولفات پتاسیم روی برخی صفات بیوشیمیایی و ماندگاری گل شب‌بو. فن‌آوری تولیدات گیاهی. ۱۹ (۱): ۱۳۱-۱۴۲.

صداقت، ن. و پیردشتی، ک. ۱۳۹۴. اثر محلول‌پاشی عناصر سیلیس، پتاسیم و روی بر برخی ویژگی‌های زراعی و خسارت بیماری بلاست و کرم ساقه‌خوار برنج. مطالعات حفاظت گیاهان. ۲۸ (۴). ۵۲۵-۵۳۱.

صفاری، ح. ۱۳۷۵. بررسی توازن پتاسیم در تعدادی از مزارع گندم‌خیز استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کـشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۹۴ صفحه.

عابدی بابا عربی، س.، موحدی دهنوی، م. و ادهمی، ا. ۱۳۹۰. تأثیر محلول پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴ (۱): ۷۵-۹۵.

عزیزی، م.، عبدل‌زاده، ا.، مهربان جوینی، پ. و صادقی‌پور، ح.ر. ۱۳۹۴. اثر کاربرد سیلیسیم در افزایش مقاومت به شوری با کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه علف برهنشی. نشریه علمی پژوهشی مرتع. ۹ (۱): ۴۳-۵۴.

عطارزاده، م.، رحیمی، ا.، ترابی، ب. و دشتی، ح. ۱۳۹۴. تأثیر محلو ل‌پاشی نیترات کلسیم، پتاسیم دی هیدروژن فسفات و سولفات منگنز بر تجمع یونی و ویژگی‌های فیزیولوژیک گلرنگ در شرایط تنش شوری. پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۲۸ (۱۰۷): ۱۳۳-۱۴۲.

علیزاده گنجی، م.، الماسی، ن. و فره‌پور، م. ۱۳۸۶. عنصر پتاسیم و نقش حیاتی آن در بدن انسان. اولین همایش زمین شناسی *زیست محیطی و پزشکی*، تهران. دانشگاه شهید بهشتی.

غازان شاهی، م. ۱۳۷۶. آنالیز خاک و گیاه (ترجمه). چاپ هما، تهران. ۳۱۱ صفحه.

فرجی، ف.، اصفهانی، م.، علیزاده، م. و اعلمی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک ساقه بر خوابیدگی بوته در ۱۲ ژنوتیپ برنج. به‌زراعی کشاورزی. ۱۸ (۱): ۱۸۳-۲۰۱.

قادری، ج و. ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۷. نقش منگنز در افزایش عملکرد و غنی‌سازی دانه گندم. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۴۶ (۴): ۳۶-۴۸.

قزوینی، ح.، یوسفی، ا. و سعیدی، ع. ۱۳۸۱. جو ریحان؛ مناسب برای کشت در مناطق معتدل کشور. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.۲۷- ۳۲.

کافی، م. و زند، ا. ۱۳۷۹. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی. مشهد. ۱۱۹ صفحه.

کوچکی، ع. و خواجه حسینی، م. ۱۳۸۷. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشکاهی مشهد. مشهد. ۵۵۰ صفحه.

کوچکی، ع. و سرمدنیا، غ.ح. ۱۳۸۲. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ صفحه.

مجتهدی، م. و لسانی، ح.۱۳۸۴. گیاه سبز (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران. ۵۸۷ صفحه.

محقق، پ. و شیروانی، م. ۱۳۹۴.تأثیر کاربرد سیلیسیم بر رشد و عملکرد دو رقم خیار در سیستم هیدروپونیک. علوم و فنون کشتهای گلخانه‌ای. ۱ : ۳۵-۳۹.

مخلصیان، ص.، حداد، ر. و گروسی، ق. ۱۳۹۳. بررسی پاسخ آنزیمی و بیان نسبی ژن‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به تنش خشکی تحت تأثیر سیلیکون در گیاه جو. مجله علمی پژوهشی زیست فناوری گیاهان زارعی. ۴ (۸):۱۱-۲۰.

مشهدی جعفرلو، ا. خصوصی،م. گلچین، ا. ۱۳۹۰. حاصلخیزی خاک. انشارات *نقش بیان*. ۳۹۸ صفحه

مظفری، ح. و منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸۳. نقش کلسیم درکاهش اثرات شوری در گیاه خاکشیر. مجله پژوهش و سازندگی، ۱۷ (۹): ۹-۱۰.

معدنی‌پور، ا. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر هگزاکونازول، پنکونازول و سیلیکات کلسیم بر صفات کمی و کیفس سویا. نشریه علوم زراعی ایران. ۲ (۱۴): ۲۶-۳۸.

ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۹. کمبود پتاسیم در محصولات زراعی استراتژیک. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف های هرز. ۴ (۱۶). ۳۳-۵۰.

ملکوتی، م.ج. و طباطبایی، س.ج. ۱۳۷۷. ضرورت محلول‌پاشی کلرور کلسیم برای بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی و حل مشکل لهیدگی سیب در کشور. شورای عالی سیاست‌گذاری کاهش مصرف سموم و کودهای شیمیایی. نشر آموزش کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی. تهران. ایران.

ملکوتی، م.ج. و طهرانی، م.م. ۱۳۸۴. نقش ریز مغذی ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی (عناصر خرد با تأثیر کلان). دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ایران. ۳۹۸ صفحه.

ملکوتی، م.ج. و همایی، م. ۱۳۸۳ .حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک (مشکلات و راه حل‌ها). انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۴۸۲ صفحه.

ملکوتی، م.ج. و. ریاضی همدانی، ع. ۱۳۷۱.کودها و حاصلخیزی خاک (ترجمـه). مرکز نشر دانشگاهی. تهران، ایران. ۸۰۱ صفحه.

ملکوتی، م.ج.، داودی، م.ج.، سعادتی، ن.، ولی‌نژاد، م.، رمضانپور، م. و محمودی، م. ۱۳۸۷. تعیین حد بحرانی پتاسیم برای برنج و بررسی پاسخ آن به کلرور پتاسیم در اراضی شالیزاری مازندران. مجله علمی پژوهشی خاک و آب ویژه‌نامه مصرف بهینه کود. ۱۴: ۵۴- ۶۲.

موئز اردلان، م. و سوابقی فیروزآبادی، ج. ۱۳۷۶. تغذیه درختان میوه. انتشارات جهاد دانشگاهی. ۳۰۶ صفحه.

میرزائی، ش.، کرکودی، م. و خلج زاده، س. ۱۳۹۴. تعیین ارزش غذایی *بخش‌های* پروتئین دانه‌های گندم، جو و *ذرت عمل‌آوری شده، با* سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص. همایش *بین* المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی. *۱۳ اردیبهشت*. تهران – ملارد.

نجف، ح. و میرمعصومی، م. ۱۳۷۶. بررسی عکس‌العمل‌های فیزیولوژیکی سویا در شرایط تنش شوری. علوم و صنایع کشاورزی. ۱۳ (۱): ۷۵-۸۰.

نصابیان، ش.، قریشی ابهری، ج.، فرح‌آور، ف. و دامن‌کشیده، م. ۱۳۹۳. بررسی مزیت نسبی تولید ذرت در ایران. فصل‌نامه مدل‌سازی اقتصاد. ۵ (۱): ۱۲۲-۱۲۳.

نصری، م.، خلعتبری، م.، پاک نژاد، ف.، حسـن پور، ج. و کسـرای، پ. ۱۳۸۷. تأثیر سـطوح مختلف محلول‌پاشـی عنصر سیلیسیم و تراکم کاشت بر خصوصیات کمی کلزا در شرایط آب و هوایی ورامین. دانش کشاورزی ایران. ۵ (۳): ۳۱۵-۳۲۵.

نوروزی، م. و سپانلو، م. ۱۳۹۳. تأثیر پتاسیم بر اجزای عملکرد دو رقم جو در شرایط آبیاری با آب شور. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸ (۲): ۷-۹.

ولدآبادی، ع.ر. و علی‌آبادی فرهانی، ح. ۱۳۸۷. اثر کاربرد پتاسیم بر خواص کمی و توسعه ریشه در ذرت، سورگوم و ارزان در شرایط تنش خشکی. فصل‌نامه زراعت و اصلاح نباتات. ۴ (۲): ۳۷-۵۴.

یوسفی، م.، انتشاری، ش. و سعادتمند، م. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر تیمار سیلیس بر برخی خصوصیات ریخت-شناسی، تشریحی و فیزیولوژیک گاوزبان. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۵ (۱۸): ۱۶-۲۸.

Abdolrahman, I.B., Ghassemi-Golezani, K., Valizadeh, M. and Feizi Asl, V. 2007. Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordium voulgare* L.). Food, Agriculture and Environment. 5(3&4): 179-184.

Acreche, M.M., and Slafer, G.A. 2011. Lodging yield penalties as affected by breeding in Mediterranean wheats. Field Crops Research. 122: 40-48.

Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M. 2015 Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety. 119: 186-197.

Agarie, S., Agata, W., Uchida, H., Kubota, F., and Kaufman, B. 1993. Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plant (*Oryza Sativa* L.). Crop Protection Technology. 34: 225-234**.**

Aguayo, E., Escalona, V. and Art´es, F. 2008. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut melon. Postharvest Biology and Technology. 47: 397-406.

Ahmad, M., Hasseny, F. and Khorsh, Y. 2011. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum. Agricultural water management. 98 (12): 1808-1812.

Ahmad, P., Sarwat, M., Bhat, N.A., Wani, M.R., Kazi, A. and Tran, L. 2015. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. Plos One. 10 (1): 1-17.

Anten, N.P., Casado-Garcia, R., Pierik, R. and Pons, T.L. 2006. Ethylene sensitivity affects changes in growth patterns, but not stem properties, in response to mechanical stress in tobacco. Journal of Plant Physiology. 128: 274-282.

Ashraf, M., Ashfaq, M. and Ashraf, M.Y. 2002. Effect of increased supply of potassium on growth and nutrient content in pearl millet under water stress. Biologia Plantarum. 451:141-144.

Azizinya, S.H., Ghannadha, M.R., Zali, A., Yazdi-Samadi, B. and. Ahmadi, A**.** 2005. An evaluation of quantitative traits related to drought resistance in synthetic wheat genotype stress and non-stress conditions. Journal Agriculture Science. 36: 281-293

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

Bao, L. 1985. Effect and management of potassium fertilizer on wetland rice in China... In: Wetland Soils. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines. 282-292.

Barker A.V. and Pilbeam D.J. 2007. Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group. Pp: 660 .

Bery, N. 2012. Morphology and yield in winter wheat grown in high yielding condition. Crop Sciences 42: 1107-1120.

Bocharnikova, E.A. and Matichenkov, V. 2008. Using Si fertilizers for reducing irrigation water application rate. Silicon in Agriculture Conference, Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October.

Bouzo, C.A. and Cortez, N. 2012. Effect of calcium foliar application on the fruit quality of melon. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 38: 1-66.

Bradford, M.M. 1976. **A** rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 7: 54-72.

Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Plant Nutrition and Soil Science. 168: 521-530.

Campling C.R. 1991. Processing cereal grain for cattle. review Livestock Animal Production Science. 28. 234-223.

Capdeville, G.D., Maffia, F. and Batista, U. 2005. Pre-harvest calcium sulfate applications affect vase life and severity of gray mold in cut roses. Scientia Horticulturae. 103: 329-338.

Carmen, B. and Roberto, D. 2010. Soil bacteria support and protect plants against abiotic stresses. In: Shaner, A. (Ed.), Abiotic stress in plantsmechanisms and adaptations. In Technological. 143-170.

Chaoming, Z., Jianfei, L. and Liping, C.H. 1999. Yield effects on the application of silicon fertilizer early hybrid rice. Journal Article. 2: 79-80.

Chaparzadeh, N. and Yavari, B. 2013. Antioxidant response of beans under the influence of foliar application of calcium carbonate. Plant Physiology. 4 (1): 907-915.

Chapman, H.D. and Pratt, D.F. 1961. Methods of analysis of Soil, Plant, and Water. University of California., Division of Agricultural Science. 60-68.

Chen, W., Yao, X. Cai, K. and Chen, J. 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. Biological Trace Element Research Impact Factor. 142 (1): 67-76.

Chérif, M., Asselin, A. and Bélanger, R.R. 1994. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by pythium spp. Phytopathology. 3(84): 236-242.

Christie, P.J., Alfenito, M.R. and Walbot, M.R. 1994. Impact of low-temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pathways: Enhancement of transcript abundance and anthocyanin pigmentation in maize seedlings. Planta. 194: 541-549.

Corrales, I., Poschenrieder, C. and Barcello, G. 1997. Influence of silicon pretreatment on aluminum tanicity in maizeroots. Plant Soil. 199: 203-209.

Cramer, G.R., Lauchli, A. and Epstein, E. 1986. Effects of NaCl and CaCl2 on ion activities in complex nutrient solutions and root growth in cotton. Plant Physiology. 81: 792–797.

Crook, M. and Ennos, A. 1996. Mechanical differences between free-standing and supported wheat plants, *Triticum aestivum* L. Annals of Botany. 77: 197-202.

Daneshian, J., Hrvan, A. and Jonoubi, P. 2002. Effect of drought stress and different amounts of potassium on quantitative and qualitative characteristics of soybean. Journal Agriculture Science. 8: 95-108.

Davenport, R.J., Reid, R.J. and Smith, F.A. 1997. Sodium- calcium interactions in two wheat species differing in sality tolerance. Phisiologia Plantarium. 99: 323- 327.

Davis, J., Westfall, J., Mortvedt, d. and Shanahan, F. 2002. Fertilizing winter wheat. Journal of Agronomy. 84: 1198-1203.

De Datta, S.K. and Mikkelson, D.S. 1985. Potassium Nutrition of Rice. PP: 699.

Deikman, J. and Hammer, P.E. 1995. Induction of anthocyanin accumulation by cytokinin in Arabidopsis thaliana. Journal of Plant Physiology. 108 (1): 47-57.

Doberman, A. 2002. Crop Potassium Nutrition Implications for Fertilizer Recommendations. Department of Agronomy and Horticulture. University of Nebraska, Lincoln, NE. PP: 19.

Domagala-Swiątkiewicz, I. and Błaszczyk, J. 2009. Effect of calcium nitrate spraying on mineral contents and storability of 'Elise' apples. Polish Journal of Environmental Studies 18(5): 971-976.

Elad, Y., Yunis, H. and Volpin, H. 1993. Effect of nutrition on suscptibilty of cucumber, eggplant and peper crops to Botrytis cinerea. Canadian Journal of Botany. 71:602-608.

Elawad, S.H. and Green, V. 1979. Silicon and rice plant environment. a review of recent research. Canadian Journal of Botany. 28: 235-253.

Elawad, S.H., Street, J.J. and Gascho, G.J. 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. Journal of Agronomy, 74(3): 481-484.

El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z.F., Abd El-Samad, E.H. and Riad, G.S. 2010. Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization. Journal of American Science. 6: 722-729**.**

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology, Proceeding of the National Academy of Sciences USA. 91: 11-17

Epstein, E. 1999. Silicon. Annual review of plant physiology and plant molecular biology. 50**:** 641-664**.**

Epstein, E. and Bloom, A. 2004**.** Mineral Nutrition of Plants: Principle and Perspectives. Sinauer Associates Publ., Second Edition, PP:380

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H. and Gunduz, O. 2004. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat Province of Turkey, Energy. 32:35–41.

Fageria, N.K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. Physiologia Plantarum. 68:323-328

Fallah, A. 2008. Studies effect of silicon on lodging parameters in rice plant under hydroponics culture in a greenhouse experiment. Silicon in Agriculture Conference, Wild Coast Sun, South Africa, 26-31 October.

Fallah, A. 2012**.** Silicon effect on lodging parameters of rice plants under hydroponic culture. International Journal of Agricultural Science. 2(7): 630-634.

Fallah, A. and Elyasi, H. 2012. Effect of different rate of silicate fertilizer on the growth and yield of Tarom Hashemi rice variety. Journal of Agronomy Sciences. 5 (7): 29-40.

Fatemi, L.S., Tabatabaei, S.J., and Fallahi, E. 2009. The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions Horticultural Science. 23 (1): 88-95.

Ferguson, I.B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. Plant Cell and Environment. 7: 477-489.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). 2016. FAO report on world cereal status in 2016. Available at: http://www.fao.org/ worldfoodsituation/csdb/en/.

Fournier, M., Alméras, T., Clair, B., and Gril, J. 2014. Biomechanical action and biological functions. The biology of reaction wood: Springer.139-169.

Fournier, M., Dlouhà, J., Jaouen, G., and Almeras, T. 2013. Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. Journal of Experimental Botany. 64: 4793–4815.

Frantz, J.M., Sturtz, C., Ranger, N. and Leisner, S. 2010. Silicon in ornamental crops. Agricultural water management. 24: 25-27.

Gagoonani, S., Enteshari, S., Delvar, K. and Behyar, M. 2011. Interactive effects of silicon and aluminum on the malondialdehyde (MDA), proline, protein and phenolic compounds in *Borago officinalis* L. Journal of Medicinal Plant Research. 5: 5818-5827.

Gao, X., Zou, C., Wang, L. and Zhang, F. 2006. Si decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. Journal of Plant Nutrition. 29: 1637–1647**.**

Gardiner, B., Berry, P. and Moulia, B. 2016. In press. Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. Plant Science. 245: 94-118.

Ghaderi, J. and Malakouti, M. 2000. Effects of methods and time of ca and micronutrient fertilizers application on improving dry farming wheat yield and quality.. Soil and Water Research. 14:11-21.

Ghoname, A.Z., Fawzy, E.F. El-Bassiony, A.M. Riad, G.S. and Abd El-Baky, M.M.H. 2007. reducing onion bulbs flaking and increasing bulb yield and quality by potassium and calcium application. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 1: 610-618**.**

Ghoulam, C., Foursy, A. and Fares, K. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experimental Botany. 47: 39-50.

Giunta, F., Motazo, R and Deidda, M. 1995. Effects of drought on leaf area development, biomass production and nitrogen uptake of durum wheat grown in Mediterranean environment. Australian Journal of Agricultural Research. 46: 99–111.

Glann, E., Brown, J. and Jamal-khan, M. 2012. Mechanisms of salt tolerance in higher plants. The University of Arizona:83-110.

Glick, B.R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. Microbiological Research. 169: 30-39**.**

Gunasekera, C.P., Martin, L.D., Siddique, K.H.M. and Walton, G. H. 2006. Genotype by environment interactions in Mediterranean-type environments: II. Oil and protein concentrations in rice seed. European Journal of Agronomy. 25: 13-21.

Haghighi, M. and Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae . 161: 111–117.

Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., Mortia, S., Luxova, M. and Lux, A. 2005. Application of Si enhanced drought tolerance in sorghum bicolor. Physiologiae Plantarum. 123:459-466.

Hattori, T., Lux Tanimoto, A., Luxova, E., Sugimoto, M., and Inanaga, Y. 2001. The effect of silicon on the growth of sorghum under drought. - In: Morita, S. (ed.): The 6th Symposium of the International Society of Root Research. pp. 348-349. Japanese Society for Root Research (JSRR), Nagoya.

Hawkins, H.J. and Lewis, O.M. 1993. Combination effect of NaCl salinity, nitrogen from and calcium concentration on growth, ionic content and exchange properties of Triticum aestivum L. cv. Gamtus. New physiologists. 124:161-17.

Hegazi, E., El-Sonbaty, R., Abd El-Naby S.K.M. and El-Sharony, T.F. 2011. Effect of potassium nitrate on vegetative growth, nutritional status and yield and fruit quality of olive cv. "Picual". Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants. 3: 252-258**.**

Heim, D., Nicholson, R.L., Pascholati, S.F., Hagerman, A.E. and Billet, W. 1983. Etiolated maize mesocotyls: A tool for investigating disease interactions. Phytopathol. 73: 424-428.

Hitaka, N. and Kobayashi, H. 1992. Studies on the lodging of rice plant. I. Preliminary studies in the impeded translocation in lodged stems. Crop Science Society of Japan. 3: 113-119.

Hocking, P.J., Reicosky, D.C., and Meyer, W.S. 2007. Effects of intermittent waterlogging on the mineral nutrition of cotton. Plant and Soil, 101 (2): 211-221.

Howltt, A.C. and Pogson, B.j. 2006. Carotenoid accumulation and function in seeds and nongreen tissues. Plant, cell and Environment. 29: 435-445.

Ibrahim, M.F.M., Faisal, A. and Shehata, S.A. 2016. Calcium chloride alleviates waterstress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. American Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 16 (4): 677-693.

Ingram, J. and Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Annual Review of Plant Biology. 47: 377-403.

Jayaraj, T. and Chandrasekharan, B. 1989. Foliar fertilization to enhance seed yield and quality in rice. Seed Research. 25: 50-52.

Jianfeng, M., Kazuo, N., and Eiichi, T. 1989. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 53: 347-356.

Jiang, Y. and Huang, B. 2016. Effect of calcium on antioxidant activities and water relationsassociated with heat tolerance in two cool season grasses. Journal of Experimental Botany. 52 (355): 341-349.

Juma, K. 2006**.** Response of *salanum retroflexum* dun. To nitrogen, phosphorus and potassium in pots. Crop Science. 33: 100-163.

Kalita, V., Ojha, N.J. and Talukdar, M.C. 1995. Effect of levels and time of potassium application onyield and yield attributes of upland rice. Journal of potassium Research, 11: 203-206.

Kamenidou, S., Cavins T.J and Marek, S. 2009. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. Scientia Horticalturae 119: 297-301.

Kashiwagi, T., Sasaki, H. and Ishimaru, K. 2005. Factors responsible for decreasing sturdiness of the lower part in lodging of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Plant Production Science. 8(2): 166-172.

Kato, N., Bornet, G. and Owa, N. 1990. Dissolution mechanism of silicate slage fertilizers in paddy. Soil Science and Plant Nutrition. 4: 609-610

Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. and Saltali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. Scientia Horticulturae. 93: 65-74.

Keeping, M.G., Kvedaras, O.L. and Bruton, A.G. 2009. Epidermal silicon in sugarcane: Cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer Eldana saccharina. Environmental and Experimental Botany. 66: 54-60.

Khalifa, R., Omaina, M., Hafez, M. and Abd-El-Khair, H. 2009. Influence of Foliar Spraying with Boron and Calcium on productivity, Fruit Quality, Nutritional Status and Controlling of Blossom End Rot Disease of Anna Apple Tres.Word Journal of Agricultural sciences. 5: 237-249.

Khayyat, M., Tehranifar, A., Akbarian, A., Shayesteh Nia, S. and Khabari, S. 2009. Effectsof calcium forms on electrolyte leakage, total nitrogen, yield and biomass production by strawberryplants under NaCl salinity. Journal of Central European Agriculture 10 (3): 297-302.

Kim, Y.H., Khan, A.L., Hamayun, M., Kang, S.M., Beom, Y.J. and Lee, I.J. 2011. Influence of short-term silicon application on endogenous physiohormonal levels of *Oryza sativa* L. under wounding stress. Biological Trace Element Research Impact Factor. 144 (1-3): 1175-1185**.**

Kokabi, S. and. Tabatabaei, S. J. 2011. Effect of different ratios of potassium to calcium on the yield and quality of galia melons in hydroponic. Journal of Horticultural Science. 25:178-184.

Kosobryukhov, A., Shabnova, N., Kreslavsky, V. and Matichenkov, V. 2008. Active silicon for increasing salt tolerance plants. Silicon culture conference south Africa. Institute of Basic Biological lems, Russian Academy of sciences, Pushchino, Moscow region. 56:142-290.

Kramer, P.J. 1983**.** Water relation of plants. Journal of Agronomy and Crop Science, 70: 630-634.

Krishnarao, R. and. Godkhindi, M. 1992. Distribution of silica in rice husks and its effect on the formation of silicon carbide. Ceramics International. 18 (4): 243-249.

Krizek, D., Britz. S.J. and Mirecki, R.M. 1998 Inhibitory Effects of Ambient Levels of Solar UV-A and UV-B Radiation on Growth of cv. New Red Fire Lettuce. Physiologia Plantarum. 103:1-7.

Kuepper, G. 2003. Foliar fertilization. ATTRA. available Kuznetsov, V., and Shevyakova, N.I. 1999. Proline under stress: Biological role, metabolism and regulation. Rus. Journal of Plant Physiology. 46: 274-287.

Kurtyka, R., Małkowski, E., Kita, A. and Karcz, W. 2008. Effect of calcium and cadmiumon growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. Polish Journal of Environmental Studies. 17 (1): 51-56.

Laffan, J. 1999. Cropping systems for sustainable wheat production. Continuing education, CB Alexander agricultural college, Tocal, NSW: PP. 87.

Lee, S.K., Sohnm, Y., Hamayun. Y. and Yoon, J. 2010. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. Plant and Soil. 80 (3): 333–340.

Lee, W., Kim, Y.C., Kim, K.Y., Yun, H.K., and Seo, T.C. 2002. Influence of silicate application on the sucrose synthetic enzyme activity of tomato in perlite media culture. Acta Hort. 633: 259-262.

Lennon, A. and Ho-Baillie, J. 2009**.** Direct patterned etching of silicon dioxide and silicon nitride dielectric layers by inkjet printing. Solar Energy Materials and Solar Cells. 93 (10): 1865-1874.

Leser, G.E. and Grusak, A.M. 2004. Field application of chelated calcium: postharvest effects on cantaloupe and honeydew fruit quality. Hort Technology. 14: 29-38

Lester, G.E. and Jifon, J.L. 2009. Foliar potassium fertilization improves fruit quality of field-grown muskmelon on calcareous soils in south Texas. Journal Sci Food and Agricaulture. 89**:** 2452-2460**.**

Lester, G.E., Jifon, J.L. and Makus, D.J. 2006. Supplemental foliar potassium applications with or without a surfactant can enhance netted muskmelon quality. Horticulture Science. 41(3): 741-744.

Lester, G.E., Jifon, J.L. and Makus, D.J. 2010. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: melon (*Cucumis melo* L.) case study. Plant and Soil 335: 117-131

Lester, G.E., Jifon, J.L. and Rogers, G. 2005. Supplemental foliar potassium application during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid and beta- carotene contents. Journal of American Society Horticulture Science. 130 (4): 649-653

Levent Tun, A., Kayab, C., 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: 173–178

Li, Q.F., Ma, C.C. and Shang, Q.L. 2007 Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 18: 531-536

Liang, Y., Q. Chen. 2003. "Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare*L.). Journal of Plant Physiology. 160(10): 1157-1164.

Liang, Y.C., Shen,Q.R., Shen, Z.G and Ma, T.S. 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barely cultivars. Journal of Plant Nutrition. 19: 173-183**.**

Liang, Y.C., Sun, W., Zhu, Y.G. and Christie, P. 2007. Mechanisms of silicon mediated alleviation of a biotic stresses in higher plants: a review. Environmental Pollution. 147: 422-428**.**

Liang, Y.C., Wong, J.W.C., Wei, L. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. Chemosphere. 58: 475–483.

Lin, D., Huang, D. and Wang, S. 2004. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. Scientia Horticulturae. 1 (102): 53-60**.**

Lionel-Jordan, M. and Sylvain, P. 2004. Leaf area establishment of a maize field crop under potassium deficiency. Plant and Soil. 265:75-92.

Liu, J.J., Lin, S.H. and gang, J.X. 2009. Effects of exogenous silicon on the activities of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in chilling-stressed cucumber leaves. 8: 1075-1086.

Ma, J.F. 2010. Si transporters in higher plant. In: Jahn, P.T., Bienert, P.G. (Eds.), MIPs and their Role in the Exchange of Metalloids. Advances in Experimental Medicine and Biology. 679: 99-109.

Ma, J.F. and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends plant Science. 11: 392-397.

Ma, J.F., Yamaji, N. and Mitani-Ueno, N. 2011. Transport of silicon from roots to panicles in different plant species. Proceedings of the 5th International Conference on Silicon in Agriculture, Beijing, China.

Maghsoudi, K., Emam, Y. and Pessarakli, M. 2013. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition. 27:105-124.

Mahajan, B.V.C. and Sharma, R.C. 2000. Effect of pre-harvest applications of growth regulators and calcium chloride on physic-chemical characteristics and storage life of peach. Haryana Journal of Horticultural Sciences 29:41-43.

Mahapatra, I.C. and Prasad, P. 1970. Response of rice to potassium in relation to its transformation and availability under waterlogged conditions. Fert. News 15 (2): 34-41

Malakouti, M.J. 1999. Necessity of optimal fertilizer application for increasing yield of high-yielding rice cultivars. (2nd part). Ministry of Agriculture publication. Technical Issue. pp: 71

Malakouti, M.J., and Souri, M.K. 2001. Effects of calcium applications on the color of apple juice in two varieties grown in the calcareous soils of Iran. International Symposium on Foliar Nutrition Fruit Plants. Meran. Italy**.**

Mali, M., and Arey, N.C. 2008. Silicon effects on nodule growth, dry matter production and mineral nutrition of cowpea. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 171: 835-840.

Marschner, H. 1985. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press, Inc. pp: 674.

Matichenkov, V. and Kosobrukhov, A. 2004. Si effect on the plant resistance to salt toxicity. 13 th International Soil Conservation Organisation Conference- Brisbane.

Matsuo, T., Kumazawa, K., Ishii, R., Ishihara, K. and Hirata, J. 1995. Science of the rice plant, Food and Agriculture Policy Research Center, Tokoyo, Japan, No. 2, PP. 1240.

McNulty, P. and. Mohsenin, N. 1979. Compaction of bulk corn carnal to failure. Transaction of the American Society of Association Executives. 2 (22): 264-269

Mehdi, S.M., Sarfarazm, m. and Hassani, **m**. 2001. Response of wheat to potassium application in six soil series of Pakistan.Journal of Biology Science. 6:429-431.

Mercurio, M. 2007. Effects of calcium nitrate and tannins on ethylene production and senescence of cut carnation flowers. Acta Horticulturae. 251: 59-67.

Metwally, M., Mazrou, M., Afify, M., Hend, E., Wahba, A., Makarem, M., Mohamed, A. and Mahfous, S. 2002. Effect of irrigation and vapor guard on growth, yield and chemical composition of Roselle. Plant Bull. 27: 533-548.

Mills H.A. and Jones J.B. 1996. Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders fruit yield and quality of strawberry. Scientia Horticulturae. 112: 215-220

Mita, S., Murano, N., Akaike, M. and Nakamura, K. 1997. Mutants of Arabidopsis thaliana with pleiotropic effects on the expression of the gene for beta-amylase and on the accumulationof anthocyanin thatis inducible by sugars. The Plant Journal. 11: 841-851.

Miyake, Y. and Takahashi, E. 1986. Effect of Silicon on the Growth and Fruit production of strawberry plants in a solution culture. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 32: 321-326.

Moghbeli, T. and Arvin, M.J. 2013. Growth and fruit yield of cantaloupe cultivars and their response to polyethylene mulch and ethephon application. Horticultural Science. 13: 405-416.

Mohaghegh, P., Shirvani, M. and Ghasemi, S. 2010. Effect of silicon application on growth and yield of two cultivars of cucumber in hydroponic system. Plant Bull. 36: 35-39.

Moulia, B. and Fournier, M. 2009. The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view. Journal of Experimental Botany. 60: 461-486.

Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S. A. M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009. Foliarapplication of zinc and manganese improves seed yield and quality ofsafflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Ind. CropProd.30: 82-92.

Munns, R. 1988. Why measure osmotic adjustement Aust. Journal of Plant Physiology. 15: 717-726.

Munns, R. and. Schachtman, D.P. 1993. Plant responses to salinity significance in relation to time. Internationals Crop Science. 1: 741-745.

Murillo-Amador, B., Jones, H.G., Kaya, C. and Aguilar, R.L. 2006. Effects of foliar application of calcium nitrate on growth and physiological attributes of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) grown under salt stress. Journal of Plant Physiology. 1-3(58): 188-196**.**

Mussa, H.R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt stressed maize (*Zea mayz* L.). Agriculture and Biology Journal. 2: 293-297.

Na, L. and Jiashu, C. 2001. Effects of silicon on earliness and photosynthetic characteristics of melon. Acta Horticaltural Sinica. 28: 421-424**.**

Naeem, M. and Khan, M.M. 2006. Influence of calcium on crop yield and biochemicalattributes, anthraquinone and sennoside contents of Cassia tora L. Roxb.- A Medicinal legume.Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants. 12 (4): 61-73.

Narang, R.S., Mahal, S., Seema, S., Gosal, K.S. and Bedi, S. 1997. Response of rice and wheat to kfertilization under maximum yield research strategies. Journal of Environment and Ecology. 19 (2): 474-477.

Nasri, M., Zahedi, H. and Tohidi Moghadam, H.R. 2008. Investigation of water stress on macro elements in Rapeseed Genotypes Leaf (*Brassica napus* L.). American Journal Agricultural Biological Science. 3:669-672.

Neenan, M., and Spencer-Smith, J. 1975. An analysis of the problem of lodging with particular reference to wheat and barley. The Journal of Agricultural Science. 85: 495-507.

Neinhuis, C., Koch, K. and Barthlott, M. 2001**.** Movement and regeneration of epicuticular waxes through plant cuticles. Planta. 213: 427-434**.**

Nelson, S.C. 2005. Farming on the Fringes: Changes in Agriculture, Land Use and Livelihoods in Peri-Urban Dar Es Salaam, Tanzania. Macalester College, Geography Honors Projects, PP: 10.

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

Pavlovic, J., Samardzic, J., Maksimovic, V., Timotijevic, J., Stevic, N., Laursen, K.H., Hansen, T.H., Husted, S., Schjoerring, J.K., Liang, Y., and Nikolic, M. 2013. Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. New Phytologist. 198(4): 1096–1107.

Perrenoud, S. 1990. Potassium and Plant Health. International Potash Institute, Basel. Pp: 365.

Piechalak, A., Tomaszewska, B., Baralkiewicz, D. and Malecka, A. 2002**.** Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. Phytochemistry. 60: 153–162.

Pinthus, M.J. 1973. Lodging in Wheat, Barley, and Oats: the Phenomenon, its Causes, and Preventive Measures: Academic Press. PP: 175.

Puijalon, S. and Bornette, G. 2006**.** Phenotypic plasticity and mechanical stress: biomass partitioning and clonal growth of an aquatic plant species. Am. J. Bot., 93: 1090-1099.

Puijalon, S., Lena, J. and Bornette, G. 2007. Interactive effects of nutrient and mechanical stresses on plant morphology. Annals of botany .100: 1297-1305.

Raid, R.J. and Smith, F.A. 2000. The limits of sodium/ calcium interactions in Plant growth. Plant and Soil. 27: 709- 715.

Reddy, V.S., Gould, K., Sharma, R. and Reddy, A.R. 1994. Ultraviolet-B-responsive anthocyanin production in rice is associated with a specific phase of phenylalanine ammonia lyase biosynthesis. Plant Physiology. 105: 1059-1066.

Redman, R.E. 1985. Adaptation of grasses to water steress – leaf rolling and stomate distibution. Plant Physiology. 62: 833-842.

Reilly, B. 2014. Silicones as a Material of Choice for Drug Delivery Applications. Annual Meeting and Exposition of the Controlled Release Society. Honolulu, Hawaii. June 12 – 16.

Reynolds, O.L., Keeping, M.G. and Meyer, J.H. 2009. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. Annals of Applied Biology. 155: 171-186.

Roger, G.S. 2006. Development of a crop management program to improve the sugar-content and quality of rockmelons. Horticulture Australia Project Number: Vx00019.

Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. 2006. Alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Plant Physiology. 163: 847-855.

Rose, I., Felton, L.W. and Banks L.W. 2005 Responses of four soybean varieties to foliar potassium fertilizer .Australian Journal of Experimental Agriculture and animal Husbandry 21 (109): 236- 240.

Sairam, R.K. and Srivastava, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L. Variation in hydrogen proxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science**.** 186: 63–70.

Samuels, A.L., Glass, A.L., Ehret, D. and Menzies, J. 1993. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. Journal of Experimental Botany. 72: 433-440.

Sanchez, F.J.,Manzanares, M. and Ayerbe, L.1998. Turgor maintenance osmotic adjustment and soluble suger and proline accumulation. Journal of Experimental Botany.59: 225-235.

Saneoka, H.R., Moghaieb, E.A., Premachandra, G.S. and Fujita, K. 2004**.** Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrotis palustris* Huds. Plant Physiology. 52: 131-138.

Sarikhani, H., Golami, M. and Ershadi, A. 2010. Effect of salicylic acid and sulfur dioxide-releasing layer on the storage life of grape varieties Fakhri. Horticultural Science. 11: 309-320.

Savant, N.K., Snyder, G.H. and Datnoff, L. 1999. Silicon management and sustainable rice production. Advances in Agronomy. 58: 151-199.

Saxena, M.C. 1990. Problems and potential of chickpea production in the Nineties, PP. 13-25, in chickepea in the Nineties: Proceeding of 2nd International Workshop on chickpea Improvement, 4-8 Dec. 1989, ICRISAT Center, India, Patencheru, A. P.

Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., Sakran, A.M., Basalah, M.O. and Ali, H.M. 2012. Effect of calcium and potassium on antioxidant system of Vicia faba L. under cadmium stress. International Journal of Molecular Sciences. 13: 6604-6619.

Singh, S. and Jain, M.C. 2000. Growth and yield response of traditional tall and improved semi-tall rice cultivars to moderste and high nitrogen, phosphorus levels. Indian Journal of Plant Physiology. 5: 38-46**.**

Son, T.T., Anh, L.X., Ronen, Y. and Holwerda, H.T. 2012. Foliar potassium nitrate application for paddy rice. Better Crops. 96:29-31.

Sonobe, K., Hattori, T. and Inanaga, S. 2011. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. Journal of Plant Nutrition 34: 71-82**.**

Stapper, M. and Fisher, R.A. 1990. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. II. Growth, yield and nitrogen use. Aust. Journal of Agronomy. 41: 997-1019.

Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill Book Company. NewYork,USA. PP: 63.

Steingrobe, B. and Claassen, N. 2000. Potassium dynamics in the rhizosphere and K efficiency of crops. Journal Plant Nutrition.Soil Science. 163: 101–106.

Suzuki, N. 2005. Alleviation by calcium of cadmium-induced root growth inhibition in Arabidopsis seedlings. Plant Biotechnology. 22 (1): 19-25.

Taber, H.G. 2006. Potassium applacation and leaf sufficiency level for fresh-market tomatoes grown on a midwestern United States fine-textured soil. Horticulture Technology. 16: 247-252.

Takahashi, E., Ma, J.F. and Miyake, Y. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. Agriculture, Food. 2: 99-122.

Tanaka, K. Murata, K. Yamazaki, M. Onosato, K. Miyao, A. and Hirochika, H. 2003 Three distinct rice cellulose synthase catalytic subunit genes required for cellulose synthesis in the secondary wall. Plant Physiology. 133: 73-83.

Tavallali, V., Rahemi, M. and Panahi, B. 2008. Calcium induces salinity tolerance inpistachio rootstocks. Word Journal of Agricultural sciences. 63: 285-296.

Teulate, B., Rakikha, D. and Moneveux, P. 1997. Comparative Osmitic a adjustment in barley. Plant Bered. 116: 519-525.

Thalooth, A.T., tawfik, M. and Magda Mohamad, M. 2006.A comparative study on the effects of foliar application of Zinc,Potassium and Magnasium on growth,yield and some chemical constituents of mungbean plants growth under water stress condition.World Journal for Agriculture Science.2(1):37-46.

Veberic, R., Vodnik, D. and Stampar, F. 2005. Influence of foliar applied calcium and potassium on photosynthesis and transpiration of Beans . Acta Agriculture. 8: 143-155.

Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G. and Vanderlee J.J. 1989. Soil and Plant Analysis, a series of syllabi- Part 7, Plant Anal Proce. Wagen Agriculture University, the Netherlands. Pp: 47.

White, P.J. and Broadley, M.R. 2003. Calcium in plants. Annals of Botany. 92: 487-511.

Xue, A. and. Warkentin,T. 2001. Partial resistance to Mycosphaerella pinodes in field pea. Can.I nternational Journal of Plant Sciences. 81: 535–540.

Yamado, Y., Wittwer, S.H. and Bukdvac, M. 1965. Penetration of organic compounds through isolated cuticular membranes with special reference to C14 urea. Plant Physiology. 40: 170-175.

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. and Zhu, Q. 2001 Activities of starch hydtplytic enzymes and sucrose-phosphate synthase in the stems of rice subjected to water stress during grain filling. Journal of Experimental Botany. 52: 2169-2179.

Yogendra, N.D., Kumara, B.H., Chandrashekhar, N., Shashidhar, H.E. and Prakash, N.B. 2011. Silicon and nitrogen use efficiency in aerobic rice. Proceedings of the 5 th International Conference on Silicon in Agriculture, Beijing, China.

Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. 2000. Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. Plant Physiology. 38: 171-186.

Yoshida, S. 1978. The availability of silicon in paddy. Soil science, Kodansha. Tokyo (Japan). 293-299.

Yoshida, S., Navasero, S.A. and Ramirez, E.A. 1989. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characteristics of the rice plant. Plant Soil. 31: 46-56.

Zhang, C., Wang, L., Nie, Q., Zhang, W. and Zhang, F. 2008. Long-term effects of exogenous silicon on cadmium translocation and toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). Environmental and Experimental Botany. 62, 300–307

Zhang, F.Z., JIN, Z.X., Ma, G.H., Shang, W.N, Liu, H.Y. and Liu, Y. 2010. Relationship between lodging resistance and chemical contents in culms and sheaths of Japonica rice during grain filling. Rice Science. 17(4): 311−318.

Zhang, Q., Yan, C., Liu, J., Lu, H., Wang, W., Du, J., Duan, H. 2013. Silicon alleviates cadmium toxicity in *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. seedlings in relation to root anatomy and radial oxygen loss. Marine Pollution Bulletin. 76: 187–193.

Zuber, U., Winzeler, H. Messmer, M. and Stamp, P. 1999. Morphological traits associated with lodging resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agronomy of Crop Science. 182: 17-24.

Abstract

Nowadays, research has been done on the foliar application of elements, especially silicon, calcium and potassium, to alleviate adverse environmental effects such as cereal worms and improve their growth and development. Plant dormancy is one of the important factors in yield reduction in cereals and it is hoped that these elements will decrease plant dormancy and increase yield in cereals. Therefore, an experiment was carried out to study the effect of foliar application of different concentrations of sodium silicate, calcium chloride and potassium sulfate on the qualitative and quantitative characteristics of barley at Shahroud University of Technology, Faculty of Agriculture, in1396-1397. Treatments included foliar application of silicon from sodium silicate at three levels (zero, 150 and 300 mg / l), calcium from calcium chloride at three levels (0, 6 and 12 mM) and potassium from source Potassium sulfate was at two levels (zero and 20 mg / l). A factorial based on a randomized complete block design with 3 replications. Foliar application was performed at the desired concentrations before flowering. The results showed that the increase in barley grain yield obtained from the simultaneous application of sodium silicate 150 mg / l with 6 mM calcium chloride was significant and equivalent to 65% compared to the control. Foliar application of sodium silicate and calcium chloride also improved traits such as stem diameter, total chlorophyll, calcium content per stem, grain protein percentage and stem shear resistance. Interaction of sodium silicate 150 and 300 mg / l and potassium sulfate 20 mg / l also had positive effects on some agronomic and physiological traits such as spike dry weight, stem diameter, grain yield, leaf carotenoid and anthocyanin content, amount Silicon had grain protein percentage and flexural strength of stem. This treatment increased shoot flexural strength by 65% on average and barley grain protein by 85%. Foliar application of sodium silicate, calcium chloride and potassium sulfate improved most agronomic and physiological traits. Sodium silicate treatment with 300 mg / L, 12 mM calcium chloride in the presence and absence of potassium sulfate increased many important traits such as number of grains per spike, total chlorophyll, leaf soluble sugar, shoot calcium content, grain protein percentage. And flexural strength of the stem. As a result of this treatment, the amount of stem calcium increased from 3.5 mmol / l in control plants to 7.40 mmol / l. Barley protein percentage also improved dramatically (230%).

In general, in the experimental range, 300 mg / l sodium silicate and 12 mM calcium chloride had a greater effect on the studied traits.

Keywords: Yield components, Cereals, Sodium silicate, Calcium chloride, Potassium sulfa

دانشگاه صنعتی شاهرود
Shahrood University of Technology

School of Agriculture

Master Thesis in Agricultural Engineering

Study of agronomic and physiological response of spring barley to foliar application of silicon, calcium and potassium

Author: Razieh Nodehi

Supervisor

Dr. Mehdi Baradaran Firoozabadi

Consulting professors

Dr. Hossein Mirzaei moghadam

Dr. Ahmad Gholami

January 2020