بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

نقش پرولین و سیلیس بر عملکرد و اجزا عملکرد سویا (*Glycine max L.*) در مدارهای مختلف آبیاری

نگارنده: شهین عاکف

استاد راهنما
دکتر محمدرضا عامریان

استاد مشاور
مهندس مهدی رحیمی

پاییز ۱۴۰۰

تقدیم به "همراهان تمام لحظات زندگی‌ام"

مادرم؛

اسطوره گذشت و عشق که وجودش سرچشمه لطف است و مهربانی

همسرم؛

همراه صبورم که حمایت‌هایش بی انتهاست و بودنش مایه دلگرمی من

و

همه کسانی که دوستشان دارم.

سپاسگزاری

امروز که به توفیق ایزد مهربان، راهی دیگر از زندگی را با موفقیت سپری کردم، بر خود واجب می‌دانم که از منت گذاران این راه قدردانی نمایم.

نخست سزاوار است نهایت سپاس قلبی خود را تقدیم حضور استاد راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر محمدرضا عامریان گردانم که در تمامی این مدت با بردباری مرا رهنمایی فرمودند.

از جناب آقای مهندس مهدی رحیمی که با قبول زحمت مشاوره مرا در انجام این کار یاری داده‌اند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از اساتید بزرگوار آقایان دکتر حسن مکاریان و دکتر احمد غلامی که زحمت بازخوانی و داوری پایان‌نامه را تقبل نموده‌اند سپاسگزارم.

از جناب آقای دکتر حمیدرضا اصغری به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی سپاسگزارم.

در این تلاش کوچک با تمام عشق و اشتیاق از مادر عزیزم، نخستین آموزگار زندگیم تشکر می‌کنم که بودنش تاج افتخاری است بر سر من و از همسر عزیزم که نشانه لطف الهی در زندگی من است و همواره حامی و مشوق من بوده است. سرو وجودشان، همیشه سرسبز و استوار باد.

در انتها از تمامی دوستان و همکلاسی‌هایم و همه کسانی که در این مدت گوشه‌ای از خاطرات شیرین دوران زندگی‌ام را ساختند سپاسگزارم.

چکیده

با توجه به محدود شدن آب آبیاری به مرور زمان و اهمیت تنش خشکی در گیاهان زراعی همچون سویا، به منظور بررسی تاثیر دو ماده سیلیس و پرولین برای ایجاد تحمل به شرایط کم‌آبیاری و بهبود رشد در گیاه سویا، آزمایشی در تابستان ۱۳۹۸ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در بسطام به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. فاکتور اصلی شامل مدار آبیاری با سه سطح ۸، ۱۲ و ۱۶ روز، فاکتورهای فرعی شامل: محلول پاشی سیلیسیوم با دو سطح ۰ و ۳ میلی‌مولار و محلول پاشی پرولین با سه سطح ۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار اعمال گردید. در پایان آزمایش پارامترهای وزن خشک گیاه، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، قطر ساقه، تعداد دانه در غلاف، اندازه غلاف، وزن صد دانه، کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، سدیم و پتاسیم بذر و پرولین مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار شدن اثر ساده دور آبیاری بر وزن صد دانه شد، که بیشترین و کمترین وزن صد دانه به ترتیب در تیمار دور آبیاری ۱۶ و ۸ روزه مشاهده گردید. اثر ساده محلول پاشی سیلیسیوم باعث افزایش ارتفاع بوته و وزن خشک گیاه گردید. همچنین اثر ساده محلول پاشی پرولین موجب افزایش پتاسیم گیاه و کاهش هدایت روزنه ای گردید. در اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس مشاهده شد که هدایت روزنه‌ای و وزن خشک گیاه افزایش پیدا کردند ولی پرولین کاهش پیدا کرد. همچنین اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین باعث افزایش کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید و عملکرد دانه گردید. در محلول پاشی سیلیس به همراه پرولین نیز افزایش کلروفیل a، b و کل مشاهده گردید ولی باعث کاهش پرولین گشت. تعداد غلاف در بوته نیز در اثر متقابل دور آبیاری، محلول پاشی سیلیس و پرولین افزایش پیدا کرد. در نهایت با توجه به نتایج می توان استنباط کرد که محلول پاشی پرولین نسبت به سیلیس تاثیر بهتری در شرایط کمبود آب بر گیاه داشته است.

کلمات کلیدی: گیاهان روغنی، عملکرد دانه، سطوح آبیاری، رنگیزه‌های فتوسنتزی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- کلیات ٦
۱-۲-۱- تاریخچه سویا ٦
۱-۲-۲ اهمیت سویا ٦
۱-۳- سطح زیر کشت و تولید سویا در جهان و ایران ۷
۱-۴- مشخصات گیاه شناسی ۷
۱-۴-۱- تیپ رویش گیاه سویا ۱۰
۱-۴-۲- تیپ رشد و ارقام ۱۱
۱-۴-۳- گلدهی ۱۲
۱-۴-۴- غلاف دهی و پر شدن نیام ۱٤
۱-۴-۵- میزان روغن و پروتئین ۱٤
۱-۵- تنش خشکی ۱۵
۱-۵-۱- تعریف تنش خشکی ۱۵
۱-۶- سیلیس و نقش آن در گیاهان ۱۷
۱-۷- پرولین و نقش آن در گیاه ۱۸

فصل دوم: بررسی منابع ۲۱

۲-۱- تنش خشکی ۲۲
۲-۱-۱- تاثیر تنش خشکی بر رشد رویشی سویا ۲۲
۲-۱-۲- تاثیر تنش خشکی بر رشد زایشی و عملکرد سویا ۲۳
۲-۲- سیلیس ۲٤
۲-۲-۱- وظایف سیلیس در گیاه ۲٤
۲-۲-۲- تاثیر سیلیس بر تنش‌های محیطی ۲۵
۲-۲-۳- علایم کمبود سیلیس ۲۷
۲-۲-۴- تاثیرات سیلیس بر عکس العمل‌های رشدی ۲۷
۲-۳- پرولین ۲۹
۲-۳-۱- تجمع پرولین در گیاه ۲۹
۲-۳-۲- نقش پرولین بر تنش‌های زیستی و غیر زیستی ۲۹
۲-۳-۳- تأثیر کاربرد خارجی پرولین در گیاهان ۳۱

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۳۳

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش ۳٤
۳-۲- مشخصات طرح آزمایش ۳٤
۳-۳- مشخصات رقم بذر ۳٥
۳-۴- عملیات کاشت، داشت و برداشت ۳٥
۳-۵- صفات زراعی و مورفولوژیک ۳٦
۳-۵-۱- وزن خشک گیاه ۳٦
۳-۵-۲- ارتفاع بوته ۳٦
۳-۵-۳- قطر ساقه ۳٦
۳-۶- عملکرد و اجزای عملکرد ۳٦
۳-۷- صفات فیزیولوژیک ۳٦
۳-۷-۱- رنگیزه‌های فتوسنتزی ۳٦
۳-۷-۲- محتوای نسبی آب برگ ۳۷
۳-۷-۳- هدایت روزنه ای ۳۷
۳-۷-۴- سدیم و پتاسیم بذر ۳۸
۳-۷-۵- پرولین ۳۸
۳-۸- تجزیه و تحلیل داده‌ها ۳۹

فصل چهارم: نتایج و بحث ٤۱

۴-۱- صفات مورفولوژیک ٤۲
۴-۱-۱- وزن خشک گیاه ٤۲
۴-۱-۲- ارتفاع بوته ٤۳
۴-۱-۳- قطر ساقه ٤٤
۴-۱-۴- عملکرد کل گیاه ٤٥
۴-۱-۵- تعداد غلاف در بوته ٤٦
۴-۱-۶- تعداد دانه در غلاف و طول غلاف ٤۷
۴-۱-۷- وزن صد دانه ٤۸
۴-۲- صفات فیزیولوژیک ٥۰
۴-۲-۱- کلروفیل a ٥۰
۴-۲-۲- کلروفیل b ٥۱
۴-۲-۳- کلروفیل کل ٥۳
۴-۲-۴- کاروتنوئید ٥٥
۴-۲-۵- محتوای نسبی آب برگ ٥٦
۴-۲-۶- هدایت روزنه‌ای ٥٦
۴-۲-۷- سدیم بذر ٥۸
۴-۲-۸- پتاسیم بذر ٥۹
۴-۲-۹- پرولین ٥۹
۴-۳- نتیجه گیری ٦۲
۴-۴- پیشنهادات ٦۳

فهرست شکل ها

نمودار (۴-۱) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس بر وزن خشک گیاه سویا ٤٢
نمودار (۴-۲) اثر محلول پاشی سیلیس بر ارتفاع بوته در گیاه سویا ٤٣
نمودار (۴-۳) اثر محلول پاشی سیلیس بر قطر ساقه در گیاه سویا ٤٤
نمودار (۴-۴) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر عملکرد گیاه سویا ٤٦
نمودار (۴-۵) اثر دور آبیاری بر وزن صد دانه در گیاه سویا ٤٩
(نمودار ۴-۶) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کلروفیل a در گیاه سویا ٥١
(نمودار ۴-۷) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کلروفیل b در گیاه سویا ٥٢
(نمودار ۴-۸) اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین بر کلروفیل b در گیاه سویا ٥٣
(نمودار ۴-۹) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کلروفیل کل در گیاه سویا ٥٤
(نمودار ۴-۱۰) اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین بر کلروفیل کل در گیاه سویا ٥٤
(نمودار ۴-۱۱) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کاروتنوئید در گیاه سویا ٥٦
(نمودار ۴-۱۲) اثر محلول پاشی پرولین بر پتاسیم بذر در گیاه سویا ٥٩
(نمودار ۴-۱۳) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس بر پرولین در گیاه سویا ٦٠
(نمودار ۴-۱۴) اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین بر پرولین در گیاه سویا ٦١

فهرست جدول ها

جدول ۱-۱ مراحل رشد و نمو سویا بر اساس تقسیم بندی فهر و کاونیس (۱۹۷۷) ٣
جدول ۴-۱- اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس و پرولین بر تعداد غلاف در بوته ٤٧
جدول ۴-۲- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک ٤٩
جدول ۴-۳- ادامه تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک ٥٠
جدول ۴-۴- اثر دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس و پرولین بر هدایت روزنه ای ($mol.m^{-2}.s^{-1}$) در گیاه سویا ٥٨
جدول ۴-۵- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک ٦١
جدول ۴-۶- ادامه تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک ٦٢

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه مردم زیادی در دنیا از مسئله سوء تغذیه بخصوص کمبود پروتئین رنج می‌برند و بنظر می‌رسد به علت پر هزینه بودن پروتئین‌های حیوانی، کمبود از طریق پروتئین‌های گیاهی تامین شود. پروتئین موجود در دانه‌های روغنی نسبت به غلات در سطح بالاتری قرار دارد (ناصری، ۱۳۷۰).

سویا (*Glycine max*) یکی از مهمترین محصولات زراعی جهان است که برای تولید روغن و پروتئین کشت می‌شود. همچنین زراعت سویا در ایران از نظر تامین بخشی از روغن مورد نیاز کشور از اهمیت خاصی برخوردار است (خواجویی نژاد و همکاران، ۱۳۸۴).

این گیاه در بسیاری از کشورهای جهان از جمله آمریکا، برزیل، چین، مکزیک و آرژانتین کشت می‌شود. تولید جهانی سویا در سال ۲۰۱۸ حدود ۳۴۹ میلیون تن بود که از این مقدار تولید، ایالات متحده آمریکا با تولید ۱۲۳ میلیون تن و برزیل با تولید ۱۱۸ میلیون تن، ۶۹٪ از تولید جهانی سویا را به خود اختصاص دادند (فائو، ۲۰۲۰). در کشور ما، سطح زیرکشت سویا در چند سال اخیر بین ۴۰ تا ۶۰ هزار هکتار بوده که تقریبا ۱۵٪ آن دیم و ۸۵٪ آن آبی بوده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶).

استفاده از طبقه بندی ارائه شده توسط فهر و کاونیس که برای ارقام رشد محدود سویا می‌باشد، بسیار معمول است (خواجه پور، ۱۳۸۵).

در این طبقه بندی مراحل رشد و نمو گیاه سویا، بر اساس تشخیص گره‌ها به دو دوره رویشی و زایشی تقسیم شده است (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱ مراحل رشد و نمو سویا بر اساس تقسیم بندی فهر و کاونیس (۱۹۷۷)

مراحل رشد	عنوان مرحله	توصیف
رویشی(V)		
Ve	سبز شدن	لپه‌ها در سطح خاک ظاهر می‌شوند.
Vc	لپه ای	برگ ساده گره به اندازه کافی باز شده است.
V1	اولین گره	برگ‌های ساده گره به اندازه کافی باز شده‌اند، زیرا لبه‌های برگ به هم متصل نیستند.
V2	دومین گره	برگ‌های سه برگچه‌ای‌در بالای گره برگ‌های ساده به اندازه کافی توسعه یافته‌اند.
V3	سومین گره	سه گره در ساقه اصلی با برگ‌های کاملا توسعه یافته وجود دارد، شمارش از گره برگ‌های ساده آغاز می‌شود.
Vn	گره n ام	تعداد n گره با برگ‌های توسعه یافته روی ساقه اصلی وجود دارد. N می‌تواند هر شماره‌ای را شامل گردد در صورتی که از مرحله اولین گره شمارش شده باشد.
زایشی(R)		
R1	شروع گلدهی	حداقل یک گل باز شده در یکی از گره‌های ساقه اصلی دیده می‌شود.
R2	پایان گلدهی	گل باز شده در یکی از دو گره انتهایی ساقه اصلی با برگ توسعه یافته کامل دیده می‌شود.
R3	شروع نیام دهی	نیامی با طول ۵ میلی‌متر در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای برگ توسعه یافته دیده می‌شود
R4	پایان نیام دهی	نیامی در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای دارای برگ توسعه یافته دیده می‌شود.
R5	شروع تشکیل دانه	بذری با طول ۳ میلی‌متر در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای برگ توسعه یافته دیده می‌شود.
R6	پرشدن کامل نیامها	نیام حاوی یک بذر سبز است که حفره نیام را پر کرده و در یکی از ۴ گره انتهایی ساقه اصلی دارای برگ توسعه یافته دیده می‌شود.
R7	شروع رسیدگی	یک نیام دارای رنگ رسیدگی در ساقه اصلی دیده می‌شود.
R8	رسیدگی کامل	۹۵ درصد از نیام‌ها رسیده‌اند.

گیاهان در معرض عوامل تنش مختلفی قرار دارند که ممکن است منجر به آسیب ساختاری و اختلال در عملکرد فیزیولوژیکی گیاه گردد. تنش خشکی یکی از عوامل تنش محیطی است که باعث کاهش بهره‌وری گیاهان می‌شود (کاتارزینا و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به اینکه کشور ما در اقلیم خشکی قرار دارد وکمی رطوبت باعث کاهش در عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد (خواجویی نژاد و همکاران، ۱۳۸۴). در بین گیاهان زراعی،سویا حساسیت زیادی به کمبود آب دارد. شناخت دقیق از صفات و خصوصیات اصلاحی و همچنین جنبه‌های مختلف کشت سویا به ویژه در مورد تحمل خشکی در ارقام مختلفی که در ایران کشت می‌شوند، از اهمیت خاصی برخوردار است. در کل هر تنشی که بر گیاه وارد گردد عملکرد آن گیاه را نسبت به شرایط عادی کاهش می‌دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۱). بنابراین یافتن راهکارهایی برای کم کردن اثر عملکرد گیاه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (خان،۲۰۰۲).

در شرایط کمی رطوبت، به نظر می‌رسد استفاده از بعضی عناصر ممکن است به عنوان راهکاری برای جلوگیری از اثرات آسیب گذار تنش خشکی مؤثر باشد و موجب سازگاری گیاه با شرایط گردد. سیلیسیوم به عنوان یک استراتژی موثر برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود مقاومت گیاهان به خشکی پذیرفته شده است (ژو و گانگ، ۲۰۱۴) همچنین چندین مطالعه نشان داده‌اند که سیلیسیوم نقش مهمی در تحمل گیاه به تنش های محیطی ایفا می کند (گانس و همکاران، ۲۰۰۸). سیلیسیوم دومین عنصرفراوان در پوسته زمین است (ما و همکاران، ۲۰۰۶) و ممکن است یک عنصر نیمه ضروری برای گیاهان باشد. با این حال اثرات مفید سیلیکون بر روی گیاه، به طور فزاینده ای، تنش های زیستی و غیرزیستی را کاهش می دهد (پیلون اسمیت و همکاران، ۲۰۰۹).

اثر مفید سیلیس در برابر تنش خشکی در غلات ممکن است مرتبط با فعالیت بیشتر H+-ATPase موجود در غشا و H+-ATPase در تونوپلاست و جذب کردن بیشتر یون پتاسیم، و در نتیجه افزایش غلظت

داخل سلولی و جذب و نگهداری آب و تأثیر بر روی فعالیت برخی آنزیم‌ها و فرآیندهای فیزیولوژیکی باشد (لیانگ،۲۰۰۷).

هنگامی که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، ترکیبات تنظیم کننده اسمزی را سنتز می‌کنند که نقش تنظیم کننده فشار اسمزی و تثبیت کننده آنزیم‌ها و غشاها را ایفا می‌کنند (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). در نتیجه ترکیبات سنتز شده نقش عمده‌ای در غلبه بر تاثیر منفی تنش خشکی دارند. پرولین یکی از این ترکیبات است که در تعدیل پتانسیل اسمزی و حفاظت از مولکول‌های پروتئینی در مدت کمبود آب نقش دارد (رونتین، ۲۰۰۲). علاوه بر این، ثابت شده است که پرولین به عنوان یک مولکول چاپرون عمل می‌کند که یکپارچگی پروتئین‌ها را حفظ می‌کند و از تجمع آنها جلوگیری می‌کند (راجندر اکومار و همکاران، ۱۹۹۴)، یکپارچگی غشا را حفظ می‌کند (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷) و به عنوان یک آنتی اکسیدان عمل می‌کند که رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد (شارما و دیتز، ۲۰۰۶). اشرف و فولاد به این نتیجه رسیدند که اثر محافظتی پرولین به پارامترهای مختلفی بستگی دارد: نوع گونه گیاهی، مرحله رشد و زمان و غلظت مورد استفاده از پرولین (۲۰۰۷).

عموما میزان پرولینی که در گیاهان با شرایط مطلوب آبیاری مشاهده می‌گردد محدود و حدود ۰/۶-۰/۲ میلی گرم بر گرم ماده خشک می باشد، اما مقدار پرولین پس از یک تنش کم آبیاری و کاهش آب بافت‌ها به حدود ۴۰-۵۰ میلی گرم بر هر گرم ماده خشک می‌رسد (عباس زاده، ۱۳۸۶). محلول پاشی پرولین بر گیاهان، باعث افزایش مقدار پرولین گیاه شده و به موجب آن به حفظ و افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش کمک نموده و تاثیر تنش بر کاهش عملکرد محصول را کم می‌نماید (هوکو و همکاران،۲۰۰۷).

در قالب این پژوهش اهداف زیر مطالعه و دنبال گردید:

۱. بررسی تاثیر پرولین بر عملکرد سویا در دورهای مختلف آبیاری

۲. بررسی تاثیر سیلیس بر عملکرد سویا در دورهای مختلف آبیاری

۳. تاثیر همزمان پرولین و سیلیس بر عملکرد سویا در دورهای مختلف آبیاری در شاهرود

۱-۲- کلیات

۱-۲-۱- تاریخچه سویا

سویا گیاهیست بومی ایالت منچوری چین در شرق آسیا و از دو هزار و هشتصد سال قبل از میلاد در کشور چین کاشته میشده و از سال ۱۹۰۰ به عنوان دانه‌ای روغنی کشت شده است. سویا به اسم‌های مختلفی معروف است از جمله: لوبیا روغنی، سوژا، پشم باقلا، لوبیا چینی و ... (افکاری، ۱۳۸۸). این گیاه با اقلیم و خاک های متنوعی سازگاری دارد. مهمترین استان‌های تولید کننده سویا در ایران، گلستان،مازندران، لرستان، گیلان، اردبیل و آذربایجان شرقی می باشند (خواجه پور، ۱۳۸۵).

در ایران سویا برای اولین بار که به زارعین برای کشت تحویل داده شد سال ۱۳۴۱ و شهر بهشهر بود (میرزایی، ۱۳۸۳).

۱-۲-۲ اهمیت سویا

از بااهمیت‌ترین گیاهان روغنی سویا می‌باشد که دارای حدود ۱۸-۲۲ درصد روغن و همچنین ۳۵-۴۰ درصد پروتئین است و عمده‌ترین منبع برای تولید روغن و پروتئین گیاهی در دنیا شناخته می‌شود و همچنین در بین گیاهان روغنی، بیشترین سطح زیر کشت را به خودش اختصاص داده است (زارع و همکاران، ۱۳۸۳). روغن سویا یک روغن نیمه خشک شونده می‌باشد که در ساختن رنگ، شمع، لاک، صابون، مرکب، مایونز و مارگارین به کار برده می‌شود. آرد آن نیز در تولید ماکارونی، شیرینی، نان و فرآورده‌های لبنی مثل شیر،دوغ، خامه، پنیر و سرشیر استفاده می‌گردد. همچنین کنجاله این گیاه برای خوراک دام استفاده می‌شود که دارای ویتامین‌های B و A می باشد. در صنعت و همچنین داروسازی نیز از سویا بهره می‌برند و در نتیجه نسبت به دانه‌های روغنی دیگر، سویا دارای سطح کشت بالاتری می‌باشد. در روغن سویا، اسید چرب لینولئیک نسبت به اسید چرب‌های دیگر مقدار بیشتری وجود دارد. در بدن انسان این اسید چرب نقش مهمی دارد چون

در سنتز هورمونی که بر عضلات صاف قلب تاثیرگذار است، فعالیت دارد (آلیاری، ۱۳۷۹). در کشور ما به دلیل جایگاه ویژه ای که سویا در مصارف صنعتی، اقتصاد و در تناوب کشت دارد، تحقیق بر روی عواملی که بر افزایش تولید سویا دارد بسیار با اهمین می‌باشد. در استان گلستان بیشترین کشت سویا (۸۰٪) به صورت کشت دوم (تابستانه) پس از گندم، کلزا وجو انجام می‌گردد که در مقایسه با کشت بهاره تولید بالاتری دارد (حاجی آبادی و همکاران،۱۳۷۷).

۱-۳- سطح زیر کشت و تولید سویا در جهان و ایران

بر اساس گزارشی که فائو در سال ۲۰۲۰ ارائه داده است، تولید جهانی سویا در سال ۲۰۱۸ برابر با ۳۴۹ میلیون تن و میانگین عملکرد برای مزارع در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹، ۳۱۷۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (لنگمیر، ۲۰۱۹). همچنین سطح زیر کشت سویا در کشور ما ۴۰۳۲۷ هکتار بوده که با تولید ۲۱۰ هزار تن رتبه ۲۵م در جهان را بدست آورده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۶).

سویا به نوعی یک پروتئین گیاهی می‌باشد که با افزایش روز افزون جمعیت می‌تواند جایگزین خوبی برای پروتئین حیوانی باشد. پیش بینی شده بود که درخواست سویا در هر سال به میزان ۹۲/۲٪ افزایش یابد در حالی که میزان تولید کاهش نیز یافته است (مدجدین، ۲۰۰۳). بر اساس با اهمیت بودن گیاه سویا، مطالعات بسیاری بر روی آن انجام گرفته است.

۱-۴- مشخصات گیاه شناسی

سویا با نام علمی *Glycine max* گیاهی است یکساله، دو لپه و از خانواده نخودیان (*Fabaceae*) و زیرخانواده پروانه آساها (*Papilionoideae*)، که گیاهی است دیپلوئید (۲n=۴) و برای تولید پروتئین و روغن در فصل بهار به عنوان کشت اول و به صورت کشت دوم در تابستان کاشته می‌شود. رشد بوته این گیاه به صورت استوار و پر از شاخ و برگ می‌باشد و متوسط ارتفاع بوته سویا ۶۰-۱۳۵ سانتی‌متر می‌باشد. میزان رشد رویشی و طول دوره رشد آن به دما، طول روز، رقم بذر و تاریخ کاشت وابسته است. ریشه‌های سویا، از

نوع مستقیم است که تا عمق ۱/۵ متری زمین نفوذ می‌کند. ریشه‌های فرعی نیز، بیشتر در عمق ۳۰ سانتی متری قرار می‌گیرند (ناصری، ۱۳۷۰؛ لطیفی، ۱۳۷۲؛ خواجه پور، ۱۳۸۵؛ افکاری، ۱۳۸۸). گره‌هایی بر روی ریشه های آن قرار دارد که باکتری‌های رایزوبیوم در آنجا فعالیت می‌کنند. کار این باکتری‌ها گرفتن کربوهیدرات از آوندهای گیاه و تثبیت نیتروژن و انتقال آن به گیاه می‌باشد. حدودا تا ۸۰ درصد نیتروژنی که گیاه به آن نیاز دارد ممکن است از این طریق تامین شود (خواجه‌پور، ۱۳۸۵). در درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی‌گراد رشد و فعالیت باکتری‌ها به حداکثر خودش می‌رسد و در دمای ۳۳ درجه سانتی‌گراد فعالیتش محدود می‌گردد. در زمانی که باکتری‌ها فعال می‌باشند، حدودا تعداد ۳۰ تا ۵۰ گره را روی ریشه‌های یک بوته می‌توان مشاهده کرد که احتیاج گیاه به نیتروژن را تامین می‌کنند. به طور متوسط هر گیاه ۱۹ تا ۲۴ گره بر روی ریشه دارد که بین ۲۰ تا ۳۵ روز بعد از کاشت بذر تشکیل می‌شوند. علامت فعالیت باکتری‌ها رنگ قرمز خونی گره‌ها می‌باشد و وقتی به رنگ سبز یا بدون رنگ دیده می‌شوند نشان از عدم فعالیت باکتری‌ها می‌دهد. ۳ تا ۴ هفته پس از سبز شدن گیاه، گره‌ها شروع به تثبیت نیتروژن می‌نمایند که اوج فعالیتشان در مرحله گلدهی است و بعد از تشکیل غلاف از کار می‌افتند. طی بررسی‌ها مشخص شده که مقدار تثبیت نیتروژن بین ۹۰ تا ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار است. از هنگام کاشت بذر تا شروع تثبیت، گیاه نیاز به نیتروژن دارد که این نیاز با کود دادن تامین می گردد (خواجه پور، ۱۳۸۵؛ افکاری، ۱۳۸۸)، عملکرد سویا تا میزان زیادی به وجود سیستم ریشه ای گسترده و غده‌های تثبیت کننده بستگی دارد. گسترش حجم ریشه در صورتی امکان پذیر است که آب و عناصر غذایی به مقدار کافی در اختیار گیاه باشد (لطیفی، ۱۳۷۲).

اندام‌های هوایی گیاه از کرک پوشیده شده است. سویا برگ‌های مختلفی دارد و اولین برگی که از خاک خارج می شود به صورت تک برگچه‌ای و متقابل است گه آن را برگ لپه می‌نامند. برگ‌های بعد از آن، نوک تیز و سه برگچه‌ای است و عرض آنها ۳ تا ۱۰ و طول آنها ۴ تا ۲۰ سانتی‌متر است. در زمان رسیدگی دانه گیاه، برگ‌ها می‌ریزند. در هر دو طرف برگ نیز روزنه‌ها مشاهده می‌شوند (خواجه پور، ۱۳۸۵؛ افکاری، ۱۳۸۸). گل‌های این گیاه به رنگ‌های بنفش، سفید یا ارغوانی و با آرایش خوشه‌ای در زاویه بین برگ و ساقه قرار دارند.

در هر خوشه بین ۳ تا ۱۶ گل قرار گرفته که اندازه آنها بین ۶-۷ میلی‌متر است. در حدود ۲۵ الی ۵۰ ٪ از گل‌ها به نیام تبدیل می‌گردند. گل سویا ترکیبی از ۵ کاسبرگ، ۵ گلبرگ (دو بال ، دو ناو و یک درفش) ، یک مادگی تک برچه‌ای، ۱۰ پرچم که یکی از آن‌ها آزاد است (دیادلفوس) و ۹ تای آنها به هم پیوسته هستند می باشد. حدودا ۲ تا ۴ هفته دوران گلدهی طول می کشد. سویا یک گیاه خودگشن می‌باشد که میزان دگرگرده‌افشانی به حشرات گرده‌افشان و فعالیت آنها وابسته است. در هر گل‌آذین بین ۱ تا ۵ نیام تشکیل می‌گردد. نسبت تبدیل گل به نیام بستگی به رقابت بین رشد رویشی و زایشی گیاه و تراکم بوته دارد. نیام‌ها به رنگ‌های قهوه ای، زرد، و خاکستری دیده می‌شوند. طول آنها ۳ تا ۷ سانتی‌متر می‌باشد و معمولا دارای ۳ تا ۵ دانه است. رنگ دانه ممکن است به رنگ‌های استخوانی، سفید، زرد کرم، زرد کاهی، قهوه‌ای مایل به سبز، سیاه یا قرمز باشد. بیشتر ارقام سویا دارای وزن هزاردانه بین ۶۰- ۲۰۰ گرم و به طور میانگین ۱۵۰ گرم می باشند. دانه‌ها میزان فراوانی پروتئین دارند (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۶؛ خواجه پور، ۱۳۸۵).

از لحاظ رشد، ارقام سویا به دو گروه تقسیم می شوند: رشد محدود و رشدنامحدود. سویا یک گیاه روزکوتاه می‌باشد که نسبت به طول روز، بیشتر از هر گیاه زراعی دیگر حساسیت نشان میدهد. دارای دو نوع تیپ پاکوتاه و پابلند است و میزان شاخه‌دهی آنها به رقم و شرایط محیطی متفاوت وابسته می باشد (کوچکی و سرمدنیا، ۱۳۸۶).

سویا خاک‌های لومی حاصلخیز با زهکشی مناسب را ترجیح می‌دهد اما در برابر طیف گسترده‌ای از خاکها مقاوم است. در خاک‌های متراکم، بوته‌ها معمولا کوتاه قد شده و ریشه گیاه، محدود و گره‌های کمی در آن حاصل می شود. میزان اسیدیته مناسب برای سویا ۶ تا ۵/۶ است. خاک اسیدی باعث کاهش فعالیت باکتری می‌شود. در برابر شوری مقاومت سویا از ذرت بیشتر ولی از پنبه کمتر است (ناصری، ۱۳۷۰).

۱-۴-۱- تیپ رویش گیاه سویا

جوانه زنی سویا در دمای ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد صورت میگیرد و اگر شرایط برایش مساعد باشد بعد از ۳ یا ۴ روز جوانه می زند. یکی از شرایط نامساعد برای جوانه زنی سویا درجه حرارت پایینتر از ۸ و بالاتر از ۳۸ درجه سانتی گراد است. برای رشد مطلوب در بیشتر ارقام سویا، درجه حرارت مناسب بین ۳۰ تا ۳۲ درجه می باشد. برای جوانه زدن، بذر سویا باید حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد وزن خودش را آب جذب کند و این مقدار رطوبت در طی ۵ روز باید در خاک تامین گردد (ناصری، ۱۳۷۰؛ خواجه پور، ۱۳۸۵؛ افکاری، ۱۳۸۸).

فتوسنتز، فرآیند تعادل بیوشیمیایی، دریافت تحریکات محیطی و تا حدودی ذخیره مواد غذایی از اعمال برگ می‌باشد. برگ‌ها نسبت به ساقه گیاه رشد محدودتری دارند و در گیاهان گل انتهایی تولید برگ‌های جدید با تشکیل گل متوقف می‌گردد (خواجه پور، ۱۳۷۲). سویا چهار نوع برگ دارد که به آنها هترومورف یا غیرهمگن می‌گویند:

۱- برگ‌های کوتیلدونی یا لپه: که اولین برگهایی هستند که پدیدار می‌شوند و دمبرگ ندارند. حاوی مواد غذایی می‌باشند و در اولین مراحل رشد که هنوز ریشه گیاه رشد نکرده است ظاهر می‌شوند و در عملکرد کلی با اهمیت می باشند.

۲- برگ‌های تک برگچه ای: بلافاصله در بالای برگ‌های لپه تشکیل می شوند.

۳- برگ‌های ضمیمه: برگ‌هایی کوچک هستند و در قاعده هر شاخه به صورت جفت شده قرار گرفته اند.

۴- برگ‌های اصلی سه برگچه ای: برگ‌های اصلی سویا مرکب است و هر برگ مرکب، سه برگچه ای و یا به ندرت ۴ برگچه ای می‌باشد. دمبرگ طویلی دارد و کرک تمام سطح آن را پوشانده است (لطیفی، ۱۳۷۲؛ آلیاری، ۱۳۷۹؛ خواجه پور، ۱۳۸۲، افکاری، ۱۳۸۸).

اندام‌های گیاه بر روی ساقه قرار گرفته‌اند که به عنوان یک قیم برای گیاه است. نقش ساقه، انتقال موادی است که از ریشه جذب شده است که آنها را به اندام‌های گیاه منتقل میکند همچنین در ذخیره مواد غذایی، انتقال مواد پرورده از اندام‌ها به ریشه، و انجام فتوسنتز نقش اساسی دارد. متوسط ارتفاع ساقه گیاه سویا بین ۶۰ تا ۱۳۵ (خواجه پور، ۱۳۸۲)، و یا ۶۰-۱۲۰ سانتی‌متر عنوان شده است (آلیاری، ۱۳۷۹). ساقه سویا مخروطی شکل است، با هر انشعاب در ساقه، از قطر ساقه اصلی کم گشته و با کم شدن تراکم تعداد انشعابات شاخه که اغلب در قاعده ساقه اصلی قرار دارند، قطر آن بیشتر می‌گردد. ساقه‌های فرعی در ارقام زودرس تعداد کمتری دارند و بالعکس در ارقام دیررس تعداد زیادتری ساقه مشاهده می‌گردد. هنگامی که ساقه‌های فرعی افزایش یابند، عملکرد دانه در بوته نیز افزایش پیدا می‌نماید. تعداد ساقه‌های فرعی در بوته بین ۵ تا ۶ عدد می‌باشد (آلیاری، ۱۳۷۹؛ خواجه پور، ۱۳۸۲).

گیاه سویا دارای ریشه‌های راست و جانبی است. منشا ریشه‌چه، ریشه راست و منشا ریشه اصلی، ریشه‌های جانبی می‌باشد. ریشه مستقیم تا عمق ۱/۵ متری زمین نفوذ می‌کند و ریشه‌های فرعی در ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک قرار می گیرند (ناصری، ۱۳۷۰؛ لطیفی، ۱۳۷۲؛ آلیاری، ۱۳۷۹؛ خواجه پور، ۱۳۸۵؛ افکاری، ۱۳۸۸). تا حدود زیادی حداکثر محصول سویا وابسته به وجود سیستم ریشه‌ای، تهیه بستر مناسب و عناصر غذایی کافی در خاک است (لطیفی، ۱۳۷۲).

۱-۴-۲- تیپ رشد و ارقام

سویاها از نظر تیپ رشدی به دو دسته تقسیم می‌شوند: رشد محدود و رشد نامحدود. گلدهی در ارقام محدودالرشد در قسمت انتهایی ساقه انجام می گردد و رشد رویشی گیاه همزمان با شروع گلدهی متوقف می‌شود ولی در رقم‌های رشد نامحدود، گلدهی در بین زاویه برگ‌ها انجام گرفته و رشد رویشی با رشد گل به طور همزمان انجام می‌گیرد (افکاری و یارنیا، ۱۳۸۸). در گیاه رشد محدود، گلدهی از بالا به سمت پایین می‌باشد و بالعکس در گیاه رشد نامحدود گلدهی از سمت پایین به سمت بالا است. در حالت رشد محدود در

قسمت بالای گیاه بزرگترین غلاف‌ها قرار می گیرند اما در حالت رشد نامحدود بزرگترین غلاف‌ها در قسمت پایین هستند (خواجه، ۱۳۸۵).

بر اساس حساسیت به طول روز و زودرسی گیاه، سویاها به ۱۳ گروه مختلف تقسیم می‌شوند: سه صفر، دو صفر، یک صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و X. به ارقام خیلی دیررس X می‌گویند.

ارقامی که با آب و هوای ایران مطابقت پیدا نمودند به چهار دسته تقسیم می گردند و شامل گروه‌های ۲ تا ۶ می‌باشند که در ذیل آورده شده است (افکاری و یارنیا، ۱۳۸۸):

۱-ارقام زودرس که شامل دو گروه ۲ و ۳ می‌شود (هاراسوی، لیندارین، استیل)

۲- ارقام متوسط رس که شامل گروه ۴ است (رونیک، کلارک، کنت، گرگان۳).

۳- ارقام دیر رس که شامل گروه ۵ است (دیر، هیل، فورمت).

۴- ارقام خیلی دیر رس که شامل گروه ۶ است (دیوس، لی و هود).

ارقام دو صفر تا چهار رشد نامحدود و گروه‌های ۵ تا ۸ در تیپ رشد محدود قرار می گیرند (افکاری و یارنیا، ۱۳۸۸).

۱-۴-۳- گلدهی

اندام تولید مثل جنسی گیاه گل آن است. به دلیل اینکه گل‌ها از برگی که به آنها نزدیک‌تر باشد بیشترین مواد غذایی را دریافت می‌کند، محلی که گل بر روی ساقه قرار گرفته بسیار با اهمیت است. گلی که در قسمت پایین تر گیاه قرار میگیرد به علت کم بودن نور، دانه‌های کوچکتر و کمتری تولید می کند، و همچنین به ریزش نیز حساس تر است. هرچه مقدار تعداد گلها کمتر باشد و دانه‌هایی که در یک گل تشکیل شده نیز بیشتر باشد، حساسیت گل به عوامل نامساعد محیطی نیز بیشتر است. گلها به دو دسته تقسیم می‌شوند: گل‌های انتهایی و گل‌های غیر انتهایی (خواجه پور، ۱۳۸۲).

خاصیت ژنتیکی، طول روز و شب و حرارت، تحریک کننده‌های اصلی تشکیل گل می باشند. نوع گل آذین، ترتیب قرار گرفتن گل‌ها روی محور گل را مشخص میکند. گل آذین در دو نوع رشد محدود ورشد نامحدود می باشد (آلیاری، ۱۳۷۹؛ اکرم قادری، کامکار و سلطانی، ۱۳۸۷).

یکی از حساس‌ترین گیاهان نسبت به طول روز گیاه سویا می باشد، که در صورت کوتاه بودن طول روز، ۳۰ روز بعد از کاشت مرحله گلدهی آن آغاز می‌شود. ارقام دیررس در برابر طول روز نسبت به زودرس‌ها حساسیت متفاوتی از خود نشان می دهند. دومین عامل که در گلدهی اهمیت دارد دما می باشد. برای بیشتر ارقام دمای مطلوب بین ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتیگراد است (ناصری، ۱۳۷۰؛ لطیفی، ۱۳۷۲). دمای پایین تر از ۲۰ درجه، باعث گلدهی ضعیف گیاه میشود. گل‌های سویا کوچک هستند و دمگلی کوتاه دارند. در محلی که دمبرگ به ساقه و یا شاخه فرعی متصل شده گل تشکیل می شود (لطیفی، ۱۳۷۲).

گلها به صورت خوشه‌ای، به اندازه ۶ تا ۷ میلی متر در زاویه داخلی برگ‌ها پدیدار می شوند. در هر خوشه گیاه بین ۳ تا ۱۶ گل ایجاد می شود. حدودا بین ۲۵-۵۰ (خواجه پور، ۱۳۸۵) یا ۲۵-۳۰ درصد از گلها به نیام تبدیل می‌گردند (آلیاری، ۱۳۷۹)، و بین ۲۰ تا۸۰ درصد گلها می‌ریزند و معمولا نیز آخرین و اولین گلها تمایل بیشتری به ریزش دارند. طول دوره گلدهی بین ۲ تا ۴ هفته به طول می انجامد و گرده افشانی به صورت خود گشن انجام می گیرد (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۶؛ آلیاری، ۱۳۷۹؛ خواجه پور، ۱۳۸۵).

سویا گیاهیست روز کوتاه و در روزهای کوتاه سریعا از فاز رویشی به فاز زایشی وارد می‌شود. روزهای بلند باعث می‌شوند گلدهی به تاخیر بیافتد. سویا در عرض‌های جغرافیایی پایین تر سریعتر وارد فاز گلدهی می شود. دمای بالا در شب باعث می شود گلدهی زودتر آغاز شود و در نتیجه میتوان گفت که رشد و نمو سویا تحت تأثیر طول روز، دما و اثر متقابل آنها می باشد (آلیاری و شکاری، ۱۳۷۹).

۱-۴-۴- غلاف دهی و پر شدن نیام

با ترکیب گامت نر و ماده، یا لقاح بذر تشکیل می شود. هنگامی که گامت ماده و نر کاملا رسیده باشند لقاح صورت می گیرد. وقتی دانه گرده روی کلاله بنشیند لوله گرده جوانه شکل می گیرد که این لوله وارد کیسه جنین می شود.پس از آن به زودی هسته رویشی تحلیل رفته ولی دو سلول اسپرم گرده به کیسه جنینی وارد می شوند. یکی از این سلول‌ها با هسته قطبی دیپلولید آمیزش یافته و باعث تشکیل بافت آندوسپرم تریپولید شده و هسته دیگر با سلول تخمک آمیزش یافته و هسته دیپلوئیدی را تشکیل می دهد که به موجب آن تخم لقاح یافته با سلول تخم شکل می گیرد (اکرم قادری و همکاران، ۱۳۸۷). در هر یک از خوشه‌های گل ۱-۵ نیام وجود دارد که اندازه آنها ۳ تا ۷ سانتی‌متر می باشد و در هر کدام ۲ تا ۳ عدد دانه وجود دارد (لطیفی، ۱۳۷۲؛ کوچکی و بنایان، ۱۳۷۶).

از مراحل بحرانی گیاه سویا، دوره پرشدن غلاف‌ها می باشد. هر نوع تنشی که در این مرحله اتفاق بیافتد باعث اختلال در انتقال مواد پرورده از منبع به مخزن میشود که باعث می شود بر عملکرد گیاه تاثیر گذارد (مونیرا، ۱۹۹۳).

۱-۴-۵- میزان روغن و پروتئین

پروتئین‌ها مولکول‌هایی هستند دارای نیتروژن با اندازه بزرگ و ساختمان بسیار پیچیده که اکثرا توسط هیدرولیز پیوند پپتیدی، اسیدهای آمینه را تولید می‌کنند (اکرم قادری، کامکار و سلطانی، ۱۳۸۷).

سویا در جهان یکی از مهمترین محصولات از لحاظ تولید روغن و پروتئین به شمار می آید که دانه آن از نظر مواد معدنی و ویتامین‌ها، ارزش غذایی بالایی دارد. پروتئین دانه سویا دارای اسیدهای آمینه مورد نیاز برای تغذیه انسان می باشد (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۳). همچنین دارای ۴۵-۴۰ درصد پروتئین و ۱۸-۲۲ درصد روغن می باشد. ارقام روغنی سویا دارای پروتئین کمتر و روغن بیشتر می باشد (مرشد و رحمان،۲۰۰۸ ؛ اصفر علی و همکاران، ۲۰۰۹).

دانه سویایی که در شرایط آب و هوایی گرم رشد یافته باشد میزان روغن بیشتری دارد. روغن سویا از اسیدهای چرب غیر اشباع (اولئیک، اوراسیک) و اشباع (پالمتیک، بوتریک) تشکیل شده است. که حدود ۸۵ درصد از آن شامل روغن غیر اشباع میباشد. یکی از عوامل مهم در سنتز اسیدهای چرب، شدت نور می‌باشد . زمانی که نور افزایش پیدا می کند میزان اسیدهای چرب اشباع نیز افزایش می یابد (اصغرعلی و همکاران، ۲۰۰۹). بین پروتئین و روغن موجود در دانه‌های روغنی همبستگی منفی وجود دارد. در سویا نسبت پروتئین به روغن ۱ به ۲ می باشد (دانایی، ۱۳۷۸؛ اصغرعلی و همکاران، ۲۰۰۹).

یکی از فاکتورهای مهم در افزایش پروتئین دانه، تشکیل گره بر روی ریشه است که محیط زیست باکتری می باشد (هوفر و همکاران، ۲۰۰۹). بذرهایی که رنگ آنها قرمز یا قهوه ای می باشد روغن کمتر از ۱۲ درصد دارند، و پروتئین آنها بیشتر می باشد. اسیدهای چرب سویا شامل: استئاریک ۴ درصد، اسید پالمتیک ۱۲ درصد، اولئیک ۲۵ درصد، لینولئیک ۱۰ و ۴۹ درصد می باشد (آلیاری، ۱۳۷۹). وقتی که تنش وجود دارد بین عملکرد دانه و رسیدگی محصول همبستگی منفی وجود دارد. تنش باعث کاهش میزان پروتئین دانه می‌شود (دانشیان، ۱۳۷۹؛ شری سینگ، ۲۰۰۷).

۱-۵- تنش خشکی

۱-۵-۱- تعریف تنش خشکی

تنش شرایطی است که گیاه با قرار گرفتن تحت تاثیر شدتی از یک عامل محیطی، افت ظاهری، بازده و یا ارزش پیدا می کند (مک کریس و همکاران، ۲۰۰۰). یکی از مهمترین عواملی که باعث افت عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان شده است، تنش‌های محیطی هستند. در صورتیکه تنش‌های محیطی اتفاق نمی افتادند، عملکرد واقعی گیاه می بایست با عملکردهای پتانسیل گیاه برابر می بود؛ در حالی که در مقدار زیادی از گیاهان زراعی عملکرد گیاهان به طور میانگین بین ۲۰-۱۰ درصد کمتر از پتانسیل عملکرد واقعی آنان است (کافی و دامغانی، ۱۳۷۹).

خشکی به دلیل وجود یک یا چند عامل آب و هوایی ایجاد می گردد که باعث می شود در داخل گیاه کمبود به وجود آید. شرایط محیطی هوا یا خاک یا هر دو که باعث می شود گیاه به آب کافی برای انجام اعمال حیاتی‌اش دست نیابد و تکرار آن موجب از دست رفتن آب بافت گیاه می شود، خشکی نامیده می شود (لویت،۱۹۸۰). بلوم (۱۹۹۶) بیان نموده که خشکی یک تنش چند بعدی است که گیاهان را در سطوح مختلف تحت تاثیر قرار می دهد.

زمانی خشکی رخ می دهد که ترکیبی از عوامل محیطی و فیزیکی، باعث کاهش فراهمی آب در محیط ریشه یا ساختار گیاه شده و در نتیجه آن مقدار محصول نهایی کاهش یابد. به دلایل مختلفی ممکن است این کاهش محصول مشاهده گردد: با تاخیر استقرار بوته‌ها یا عدم آن، ضعیف ماندن یا از بین رفتن بوته‌هایی که استقرار یافته اند، تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان و همچنین مستعد شدن گیاه نسبت به حمله بیماری‌ها و آفات (امام و نیک نژاد، ۱۳۸۳).

از دیدگاه فیزیولوژی خشکی فقط فقدان بارندگی نمی باشد بلکه حداقل حاصل تلاقی ۷ تنش محیطی می باشد که شامل (تبخیر زیاد، کاهش رطوبت قابل دسترس در خاک، تابش خورشیدی زیاد، افزایش دمای اندام‌های گیاهی، افزایش سختی خاک، تجمع نمک و غیر قابل دسترس شدن مواد غذایی در افق‌های بالایی خاک) می باشد (کافی و مهدوی دامغانی، ۱۳۷۹).

تنش خشکی، رشد گیاه زراعی (گاربریلا و فویر، ۲۰۰۲)، فتوسنتز برگ (امام و نیک نژاد، ۱۳۸۳)، تنفس و پیری برگ (امام و ثقه الاسلامی، ۱۳۸۴) را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. مقاومت به خشکی یک واژه عمومی است که دامنه‌ای از مکانیزم‌های مختلف را در بر می گیرد که گیاهان زراعی به موجب آنها در مناطق با آب و هوای خشک قادر می شوند شرایط خشکی را تحمل کنند (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۸۷).

در این زمینه پنج اصطلاح را در زمان بررسی مقاومت به خشکی به کار می برند:

۱-مقاومت به خشکی: توانایی گیاه زمانی که در معرض دوره‌هایی از تنش خشکی قرار گرفته، برای زنده ماندن، رشد و عملکرد رضایت بخش.

۲-فرار از خشکی: توانایی گیاه در کامل کردن چرخه زندگی خود پیش از آنکه با شرایط کمبود رطوبتی شدید روبرو گردد.

۳- اجتناب از خشکی (تحمل خشکی با پتانسیل آب بافتی بالا): توانایی گیاه برای تحمل دوره‌های کمبود بارندگی، در حالی که پتانسیل آب بافتی بالایی را در خود حفظ می کند.

۴- تحمل خشکی (تحمل خشکی با پتانسیل آب یافتی پایین): توانایی گیاه برای مقاومت در مقابل کمبود آب که بر مبنای مقدار و دوام بتانسیل آبی پایین در گیاه اندازه گیری می شود.

۵- التیام (بهبود پس از خشکی): توانایی گیاه برای از سر گرفتن رشد و تولید، پس از برطرف شدن تنش خشکی، با حداقل کاهش غیر قابل جبران در عملکرد می باشد (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۸۷).

۱-۶- سیلیس و نقش آن در گیاهان

سیلیس بعد از اکسیژن، دومین عنصر فراوان در پوسته زمین (۳۱٪) است (اسپوسیتو ، ۱۹۸۹؛ مارچنر، ۱۹۹۵؛ کورالز و همکاران، ۱۹۹۷؛ اپستین، ۱۹۹۱). سیلیس یک عنصر غیرفلزی است که دو شکل آلوتروپی، ساختار بلورین تیره و ساختار پودری دارد. ساختار بلورین آن به الماس شبیه است. سیلیس توسط جونز برزیلیوس دانشمند سوندی در سال ۱۸۲۳ کشف شد. این عنصر عموما، به صورت سیلیکات یا سیلیکا (اکسید سیلیس) موجود است و به صورت غیر ترکیبی یافت نمی شود. ترکیب اصلی گرانیت‌ها، رس‌ها، کوارتز و ماسه سیلیس میباشد که بر محیط زیست اثر منفی ندارد. قابلیت استفاده این عنصر برای گیاهان به مقدار زیاد، به چگونگی سرعت هوادیدگی این کانی‌ها بستگی دارد. شکل قابل استفاده این عنصر در گیاهان به صورت مونوسیلیسیلیک اسید ($Si(OH)_4$) است که در PH بیشتر از ۹.۴ یونیزه می شود، اما در PH بین ۲ تا ۹،

حلالیت آن مستقل از pH است (مکیگ و کلاین، ۱۹۶۳) و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد حل پذیری آن ، در حدود ۲ میلی مول در لیتر می باشد (مارچنر، ۱۹۹۵).

در زمان تعرق و با از دست دادن آب در اندام هوایی، اسید مونوسیلیسیک غلیظ شده، و تبدیل به فرم ژل سیلیس ($SiO_2.nH2O$) شده و باعث تحمل گیاه در برابر تنش می شود. گیاهانی مانند خانواده غلات و سیپراسه می‌توانند در خود مقادیر زیادی سیلیسیوم را ذخیره کنند که کاربرد سیلیسیوم در این گیاهان متضمین کننده رشد بهتر آن‌ها می باشد (اپستین،۱۹۹۹).

گیاهان سیلیس دوست به گیاهانی می گویند که مقدار زیادی از اسید سیلیسیلیک را در خود جذب کنند. گیاهان دولپه‌ای مقادیر کمتری از اسید سیلیسیلیک را در خود جذب می کنند. توسط ریشه‌ها اسید سیلیسیلیک جذب شده، و در برگ‌های پهن گیاه انبار می شود و در اندام‌های هوایی به وسیله تعرق حرکت می کند و توسط این اندام‌ها استفاده می شود (ماتسئو و همکاران، ۱۹۹۵)، به طوری که در برنج بیش از ۹۰ درصد این عنصر در قسمت‌های هوایی گیاه یافت می‌شود (منگل و کرکبی، ۱۳۶۷).

۱-۷- پرولین و نقش آن در گیاه

پرولین نوعی اسید آمینه با فرمول $C_5H_9NO_2$ می باشد که داخل کلروپلاست تولید می شود و درون سیستوسول تجمع می‌یابد (آشتون و دشپال، ۱۹۹۳).

در گیاه در پاسخ به بیان ژن استرس، اسید آمینه پرولین القا می‌شود سپس درسیتوسول تجمع یافته و در تنظیمات اسمزی سیتوپلاسمی فعالیت می کند. با وجود اینکه در تنش‌های زیستی و غیر زیستی پرولین نیز تولید می‌شود، اما اطلاعات به دست آمده در مورد مکانیسم تولید پرولین به عنوان تنظیم کننده‌ها کم است. در حال حاضر بین قابلیت تحمل گیاه در شرایط استرس و تجمع پرولین در گیاه ارتباطی قوی وجود دارد. در شرایط سرما افزایش تولید پرولین را شاهد هستیم که موجب افزایش تحمل گیاه می‌شود؛ با توجه به

این نکته کاربرد خارجی پرولین نیز در شرایط تنش باعث افزایش قابلیت تحمل گیاهان می گردد (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷).

در تنش شوری برای حفظ تورژسانس، گیاه ترکیباتی می سازد که پتانسیل آبی درون سلول‌ها را منفی کرده و به گیاه اجازه حفظ آماس را می دهد. پرولین دارای وزن مولکول پایینی است و به عنوان یک اسمولیت قابلیت انحلال بسیار بالایی دارد و اگر گیاه با غلظت بالایی از آن روبرو باشد معمولا برای سلول سمیت ندارد و در واکنش‌های طبیعی سلول اختلال ایجاد نمی کند (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷). از نقش‌های اسمولیت‌ها علاوه بر تنظیم اسمزی، می توان به سم زدایی، جلوگیری از ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن و جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن اشاره نمود (ارکات و نیلسن، ۲۰۰۰). غیر از پرولین، اسمولیت‌های دیگر شامل پلی اول‌ها، گلایسین بتالین، قندهای محلول و قندهای الکلی می باشند (چینوسامی و همکاران، ۱۹۸۰).

در زمان تنش‌های خشکی گیاهان، به منظور تنظیمات اسمزی، بعضی اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین، قندها، بتائین و کاتیون‌های غیرآلی را درون سلول‌های خود تولید و یا تجمیع می‌کنند که در هنگام از دست دادن آب گیاه، موجب حفظ آماس می‌گردند (تورنر و جونز، ۱۹۸۰).

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- تنش خشکی

۲-۱-۱- تاثیر تنش خشکی بر رشد رویشی سویا

یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد سویا، کمبود رطوب است و اگر فراهمی آب برای ریشه با مشکل مواجه شود و یا تعرق در گیاه با سرعت بالا رخ دهد، گیاه تنش خشکی را تجربه می‌کند (اوبر و شارپ، ۲۰۰۳). برای اینکه بذر سویا جوانه بزند، ۵۰ درصد وزن خود به آب و رطوبت برای بالا آمدن از سطح خاک، نیاز دارد (جان، ۲۰۰۱).

تنش رطوبتی در سویا از زمان استقرار گیاه تا گلدهی اهمیت زیادی ندارد (جان، ۲۰۰۱). بورد (۲۰۰۲) و بروئینگ (۲۰۰۰) حساس‌ترین مرحله زندگی گیاه سویا به تنش خشکی را مرحله گلدهی و غلاف‌دهی می‌دانند.

تنش‌های کوتاه و متوسط در فرایند رشد رویشی به طور کل روی عملکرد سویا اثر نمی‌گذارد، برعکس تنش دراز مدت و شدید می‌تواند به شکل تغییرناپذیری اثر گذاشته و باعث مرگ سلول گیاهی گردد (لنز، ۲۰۱۲). تنش خشکی بسته به شدت تنش، روی گیاه تاثیر می‌گذارد و هر چه شدت تنش خشکی بیشتر باشد تاثیر جدی‌تری دارد (سالکجلالی و همکاران، ۲۰۱۲).

تنش خشکی به طور معمول تولید گیاهی را کاهش می‌دهد، فتوسنتز را محدود می‌کند، باعث تغییر پذیری در میزان کلروفیل شده و تعادل فتوسنتز را به هم می‌زند. همچنین فعالیت فتوشیمیایی را محدود کرده و باعث کاهش آنزیم‌های چرخه کلوین می‌گردد (گانگ و همکاران، ۲۰۰۵). وست گیت و همکاران (۲۰۰۴)، گزارش دادند در مراحل رشد اولیه گیاه تنش رطوبتی باعث تحلیل رفتن برگ گیاه شده که در نتیجه این اتفاق فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد.

با توجه به گزارش دانشیان و همکاران (۱۳۸۸) تنش رطوبتی تاثیر معنی داری بر تعداد شاخه، ارتفاع بوته، تعداد گره، تعداد غلاف و تعداد دانه در متر مربع و عملکرد دانه داشت. همچنین تنش رطوبتی موجب

کاهش تعداد برگ در گیاه و شاخص سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی می گردد. این اتفاقات بر روی فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نیز اثر می گذارد از جمله فتوسنتز، انتقال، جذب و تنفس و باعث کاهش رشد می‌شود (کموداینی و همکاران، ۲۰۰۲). محمدی نسب و همکاران (۱۳۸۴)، طی آزمایشی اعلام داشتند که تنش‌های رطوبتی موجب کاهش عملکرد دانه، وزن خشک گیاه، تعداد غلاف‌ها، تعداد گره در ساقه اصلی و تعداد دانه در هر گیاه می‌شود.

کاهش تثبیت نیتروزن در پاسخ به تنش کم آبی در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است. خشکی از طریق افزایش مقاومت گره‌ها در برابر گازها موجب ایجاد شرایط غیر هوازی می شود و القاء پیری را در گره‌ها تسریع و موجب غیر فعال شدن آنزیم نیتروژناز می شود (گالوس و آیگور، ۲۰۰۵). رزمی و همکاران (۱۳۸۹) در آزمایشی نتیجه گرفتند که با افزایش فواصل آبیاری طول دوره رشد و ارتفاع بوته کاهش یافت. مطالعه جنوبی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که تعداد گره، ساقه و ارتفاع گیاه تحت تاثیر تنش کم آبی کاهش یافت.

۲-۱-۲- تاثیر تنش خشکی بر رشد زایشی و عملکرد سویا

در مراحل اولیه رشد زایشی تنش خشکی باعث می شود غلاف‌ها زودتر از موعد تولید شده و در نتیجه احتمال ریزش آنها نیز افزایش می‌یابد (لیو، ۲۰۰۴). بنابراین تعداد غلاف در گیاه کاهش یافته (دسکلاس و همکاران، ۲۰۰۰) و در نتیجه عملکرد دانه نیز کاهش می‌یابد (کوکوبان و همکاران، ۲۰۰۱). مطالعه فردریک و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که تحت شرایط خشکی، عملکرد دانه سویا ۲۳ درصد کاهش یافت. عمدتا این مسئله به دلیل عدم باروری دانه در شاخه‌های فرعی بود.

پژوهشگران گزارش کردند که حین تشکیل بذر، تنش رطوبتی بر روی گیاه مادری باعث می شود که بذرها چروکیده و کوچک گردد و بنیه و قدرت رویش بذر را کاهش می‌دهد (گالش و بیاتی، ۱۳۸۵). همچنین خدام زاده و همکاران (۱۳۸۶) بیان نمودند، اعمال تنش خشکی بر گیاه مادری برخی ژنوتیپ‌های سویا با کم آبیاری، سبب کاهش معنی‌دار درصد جوانه زنی بذر گردید.

از جهتی دیگر، یکی از عواملی که بر تثبیت نیتروژن در گیاه تاثیرگذار است تنش خشکی می باشد که از طریق تاثیر بر مقدار کربوهیدرات تولید شده در گیاه و انتقال آن به ریشه، به طور غیر مستقیم بر تثبیت نیتروژن تاثیر می‌گذارد و به موجب کمبود نیتروژن در گیاه، صفات مختلفی را از جمله عملکرد دانه تحت تاثیر قرار می دهد (راواری و هوم، ۲۰۰۳).

پژوهش رزمی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که با افزایش فواصل آبیاری اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته کاهش یافت. خشوعی و همکاران (۱۳۸۹) نیز بیان نمودند که تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در گیاه، تعداد غلاف در گیاه وعملکرد دانه تحت تاثیر تنش رطوبتی کاهش یافتند. نتایج حاصل از اجرای آزمایش جنوبی و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد که عملکرد دانه، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و درصد روغن دانه تحت تاثیر تنش خشکی کاهش یافت. در بررسی اثر تنش خشکی بر سویا محسن بیگی و همکاران (۱۳۸۹) مشاهده نمودند که با افزایش تنش آبی میزان پروتئین دانه و عملکرد دانه کاهش معنی‌دار ولی روغن دانه افزایش معنی داری نشان داد.

برای تعیین بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی، ایزانلو و همکاران (۱۳۸۱) طی پژوهشی بر روی ارقام تجاری سویا، به این نتیجه رسیدند که در کل نسبت به تنش خشکی اکثر صفات مورد بررسی، واکنش منفی نشان می دهند که در این بین عملکرد دانه نسبت به صفات دیگر آسیب بیشتری پیدا کرد. همچنین دانشیان و همکاران (۱۳۸۱) گزارش نمودند عملکرد دانه سویا به علت کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه در گیاه، در اثر تنش رطوبتی کاهش یافت. آنها همچنین متوجه شدند که مقدار پروتئین دانه با تشدید تنش کاهش و مقدار روغن دانه افزایش یافت، اما در کل تنش در عملکرد پروتئین و روغن دانه تاثیر منفی داشت.

۲-۲- سیلیس

۲-۲-۱- وظایف سیلیس در گیاه

سیلیس در گیاهان سه وظیفه اصلی را بر عهده دارد؛ وظایف فیزیولوژیکی، ساختمانی و حفاظتی.

از وظایف فیزیولوژیکی سیلیس در گیاه می توان به افزایش اکسیژن اشاره نمود که با تقویت دیواره کانال‌های هوایی بافت آئرانشیم انجام شده و به جهت جذب اکسیژن توسط ریشه صورت می گیرد، همچنین کاهش تعرق، کاهش سمیت فلزات سنگین مثل منگنز و واکنش با فسفر نیز از دیگر وظایف فیزیولوژیکی سیلیس می باشد.

برای وظایف ساختمانی سیلیس می توان به مقاومت به تراکم در دیواره سلولی که باعث افزایش مقاومت در طول دوره نفوذ خاکی می شود اشاره نمود. همچنین موجب افزایش استحکام در ساقه و اندام هوایی گیاه شده که خوابیدگی ساقه که توسط شرایط محیطی ایجاد می شود را کاهش می دهد. بهبود وضعیت نورگیری در گیاه نیز یکی دیگر از وظایف ساختمانی سیلیس می باشد. (سانگستر و هادسون، ۱۹۸۶).

از وظایف حفاظتی سیلیس در گیاه می توان به مقاومت به تنش‌های زنده مثل حشرات و غیره و مقاومت به تنش‌های غیر زنده محیطی مانند خشکی و شوری اشاره نمود. همچنین سیلیسیوم باعث بهبود توسعه و رشد و عملکرد گیاهی می‌گردد (جونزوهاندرک، ۱۹۶۹). در پژوهشی کافمن و همکاران (۱۹۸۵) دریافتند که سیلیس موجود در اپیدرم و کرک گیاه، در گیاه ایجاد حفره و لوله‌های نوری می کند که نقش پنجره را برای گیاه بازی می‌کنند، و توسط آنها انتقال نور به اندام فتوسنتز کننده را تسهیل می کند. همچنین سیلیس به تنظیم تعادل کاتیونی - آنیونی (با مقاومت بیشتر گیاه به ورود آهن و آلومنیوم) کمک می‌کند (والاس، ۱۹۹۳).

۲-۲-۲- تاثیر سیلیس بر تنش‌های محیطی

سیلیس نقش‌های متعددی در گیاه دارد که از بین آنها می توان به بهبود خصوصیت مکانیکی بافت‌های گیاه، بهبود توازن مواد غذایی، افزایش مقاومت به استرس‌های زنده و غیر زنده وکاهش سمیت در اثر مواد معدنی اشاره نمود (کورالس و همکاران، ۱۹۹۷؛ چریف و همکاران، ۱۹۹۴). عنصر سیلیس موجب کاهش انواع تنش‌ها از قبیل شوری، خشکی، سمیت عناصر و سرمازدگی شده است. همچنین با تحریک نمودن سیستم آنتی اکسیداتیو در گیاه، تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین و انتقال فلزات سنگین به اندام‌هایی نظیر واکوئل

سلول‌های گیاهی، باعث کاهش اثرات تنش و سمیت فلزات سنگین در گیاهان می شود (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۵). کود سیلیس توانسته اثرات سمی یون‌های آلومینیوم، آهن و منگنز را کاهش دهد (لیانگ و همکاران، ۱۹۹۶). در پژوهشی هاتوری و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که با مصرف سیلیس در نشاهای خیار که تحت تنش اسمزی قرار داشتند، غلظت Co_2 موجود در فضای بین سلولی برگ کاهش یافت و اینگونه نتیجه گرفتند که سیلیس در شرایط تنش باعث کاهش آسیب به بافت‌های مزوفیل برگ شده و از این طریق سیلیس از کاهش فتوسنتز در شرایط تنش جلوگیری نمود. موریلو آمادور و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که با ته نشین شدن سیلیس در دیواره سلولی آوند چوبی از فرو ریختن آوندها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری کرده و با استحکام ساقه موجب کاهش ورس بوته می شود. نتایج مربوط به آزمایش‌های انجام شده توسط فلاح (۲۰۰۰) نیز نشان داده است که تیمارهای سیلیس تاثیر خاصی را بر کلروفیل برگ نمی گذارد.

اینگونه به نظر می رسد که در شرایط مطلوب، اثرات مثبت سیلیس چندان چشمگیر نبوده و تنها زمانی که گیاهان در معرض شرایط تنش قرار می گیرند، اثرات مفید سیلیس مشاهده می شود (لوین و ریمن، ۱۹۹۶؛ اپستین، ۱۹۹۱؛ ایوازاکی و همکاران، ۲۰۰۰). این عنصر باعث می شود که غشای سلولی گیاه مستحکم گردد و در گیاه نفوذپذیری غیرانتخابی را کاهش می دهد (محقق و همکاران، ۱۳۸۸). اپستین (۲۰۰۹) و اپستین و همکاران (۱۹۹۱) دریافتند علاوه بر اینکه افزایش سیلیس اثرات سودمندی بر رشد بسیاری از گیاهان دارد، بر مقاومت در برابر تنش‌های زیستی (بیماری و آفات) و غیرزیستی (شوری و فلزات سنگین) نیز تاثیر می گذارد. مریل (۲۰۰۵) نیز اعلام کرد، سیلیس به عنوان یک عنصر مفید برای گیاهان شناخته شده است که موجب افزایش مقاومت گیاهان به آفات می شود. یکی از نقش‌های سیلیس در افزایش مقاومت گیاهان در برابر آفات و بیماری‌ها، استحکام سلول‌های اپیدرمی در مقابل هیف قارچ می‌باشد (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۶). مکمل سیلیس در کشورهای ژاپن، کره و چین در تولید نیشکر و برنج و در اروپا در تولید محصولات گلخانه‌ای استفاده می گردد (کاتو و اوا، ۱۹۹۰).

۲-۲-۳- علایم کمبود سیلیس

بر اثر کمبود سیلیس تولید دانه در گیاه کاهش یافته، رشد رویشی آن شدیدا کم می شود و نشانه‌های کمبود، مانند پلاسیدگی گیاهان و بافت مردگی برگ‌های بالغ در گیاه نمایان می شود (یوشیدا و همکاران، ۱۹۶۹). در بعضی از گیاهان سبب بدشکل شدن و پلاسیدگی برگ‌ها شده و گرده افشانی را نیز به هم زده و در نتیجه دانه تشکیل نمی‌گردد (تاکاهاشی و مایاک، ۱۹۷۷). یکی دیگر از اثرات کمبود سیلیس، خشک شدن گیاه است، زیرا در شرایط کمبود تعرق افزایش یافته و در برخی از گیاهان، مثل غلات و گندمیان نقاط سوخته ای بر روی برگ مشاهده می شود، که دلیل آن مسمومیت منگنز و آهن بخاطر تجمع در قسمت‌های هوایی گیاه که غلظت سیلیس در آنها کم است می باشد (ولامیز و ویلیامز، ۱۹۶۷).

۲-۲-۴- تاثیرات سیلیس بر عکس العمل‌های رشدی

از تاثیرات سودمند سیلیس می توان به مقاومت گیاه در برابر انواع تنش‌هایی که در گیاهان رخ می‌دهد اشاره کردد؛ در واقع زمانی که گیاه تحت تاثیر این تنش‌ها قرار بگیرد، نقش سیلیس در گیاه بهتر آشکار می گردد. تنش‌ها را می توان به دو دسته طبقه بندی نمود: تنش‌های زیستی و غیر زیستی (ژو و همکاران، ۲۰۰۴). از تنش‌های زیستی می‌توان به انگل‌های ریشه‌ای، آفت، حشرات و پاتوژن‌های گیاهی اشاره نمود و از تنش‌های غیرزیستی می توان به شوری، خشکی و سمیت فلزهای سنگین اشاره کرد(ماو یاماجی، ۲۰۰۶).

گونه‌های گیاهی مختلف در برابر این تنش‌ها مقاومت و بردباری‌شان متفاوت است که این اتفاق به دلیل شاخصه‌های ژنتیکی متفاوت در انواع گونه‌های گیاهی میباشد. البته شرایط محیطی مثل تغذیه معدنی گیاه نیز به گونه‌ای با افزایش یا کاهش مقاومت و بردباری گیاهان در برابر این تنش‌ها در ارتباط است (لیانگ، ۱۹۹۲). در پژوهشی لیانگ و همکاران (۲۰۰۷) بیان نمودند که به نظر می رسد سیلیس در شرایط تنش شوری و خشکی تاثیر بسیار زیادی در افزایش عملکرد، رشد و جذب برخی از عناصر در گیاه را دارد. با رسوب سیلیس

در برگ، مقدار تعرق گیاه تا ۳۰ درصد کاهش یافته و گیاه از این طریق از از دست رفتن آب در شرایط تنش رطوبتی جلوگیری به عمل می آورد.

در خصوص تاثیرات منفی سیلیس در گیاه باید به این نکته اشاره نمود که این تاثیرات زمانی رخ می دهد که گیاه تحت تاثیر شرایط غیر طبیعی محیطی مانند تنش‌های مختلف زیستی یا غیرزیستی قرار بگیرد (داتنف و همکاران، ۲۰۰۱). از جمله تنش‌های غیر زیستی می توان به تنش شوری اشاره نمود که عملکرد و رشد گیاهی را به خصوص در مناطق گرم و خشک جنوب کشور تحت تاثیر قرار می دهد (داتنف و همکاران، ۲۰۰۱). افزایش بیوماس گیاهی و عملکرد بالای دانه در گیاهان دریافت کننده سیلیس با کاهش جذب سدیم، افزایش جذب پتاسیم و جذب بیشترCO_2، مرتبط می باشد (لیانگ، ۱۹۹۲). در شرایط تنش شوری و خشکی، تاثیرات مثبت سیلیس، بیشتر بر اثر افزایش توانایی دفاعی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی رخ می دهد. گزارش شده است که سیلیس موجب افزایش رشد طولی سلول به واسطه توسعه دیواره سلولی در ناحیه رشد شده و باید بیان نمود که سیلیس تاثیری بر تقسیم سلولی ندارد. سیلیس تحت شرایط تنش به عنوان یک حامل مکانیکی عمل نموده و باعث می گردد دیواره سلولی استوانه آوندی و بافت آندودرمی سخت شود، که به موجب آن از استوانه آوندی حفاظت می نماید و رشد طولی ریشه را افزایش می‌دهد (داتنف و همکاران،۲۰۰۱). اما در مورد مکانیسم‌هایی که بوسیله آنها سیلیس اثرات مخرب شوری را از بین می‌برد، باید گفت که این مکانیسم‌ها هنوز به درستی شناخته نشده اند و تحقیقات بیشتری جهت شناسایی مکانیسم های درگیر مورد نیاز است (داتنف و همکاران، ۲۰۰۱). نکته ای که باید عنوان نمود این است که اکثر تاثیراتی که سیلیس تحت شرایط تنش در جهت افزایش رشد و عملکرد گیاهی می گذارد با رسوب در اندام‌های مختلف گیاه مثل برگ، ریشه، پوست و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی حادث میشود (داتنف و همکاران، ۲۰۰۱).

۲-۳- پرولین

۲-۳-۱- تجمع پرولین در گیاه

یک پاسخ عمومی به تنش، تجمع پرولین آزاد است که در بیشتر جانداران از جمله گیاهان دیده می شود (اسکریر و موندای، ۱۹۹۰). پرولین در طی تنش خشکی در تمام اندام‌های گیاه سالم تجمع می یابد. در نتیجه در برگ‌ها بیشترین تجمع پرولین را شاهد هستیم. ضمنا محل تجمع پرولین در سطح سلولی، سیتوپلاسم می باشد (آسپینال و پالگ، ۱۹۸۱). در تنش‌های کم، مقدار پرولین تغییر چندانی نداشته ولی در تنش‌های شدید حدودا ۲۶ بار افزایش پرولین را داریم (جلیلیان، ۱۳۷۴).

لوتز و همکاران (۱۹۹۶) برای افزایش تجمع پرولین در زمان تنش چهار دلیل پیشنهاد نموده اند که شامل موارد ذیل می باشند:

۱. کاهش انتقال آن از طریق آوند آبکشی

۲. تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک

۳. تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها

۴. جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش

۲-۳-۲- نقش پرولین بر تنش‌های زیستی و غیر زیستی

به محض ایجاد تنش، عمومی ترین و فراوان ترین پاسخی که مشاهده می شود افزایش غلظت اسید آمینه پرولین است (کوزنتسوو و شویاکووا، ۱۹۹۹؛ سوریان و چالرمپول، ۲۰۰۹). پرولین به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی و همچنین محافظ در برابر تنش عمل می کند. به این شکل که مستقیما اثری متقابل با ماکرومولکول‌ها داشته و از این روش به حفظ شکل پروتئین‌ها و ساختار طبیعی غشاهای زیستی تحت شرایط تنش کمک می کند (کوزنتسوو و شویاکووا، ۱۹۹۹). محل ذخیره پرولین معمولا سیتوسل می باشد که

محلیست که به طور به سزایی در تنظیم اسمزی سیتوپلاسمی فعالیت دارد (کتچوم و همکاران، ۱۹۹۱). از لحاظ اسمزی این ماده بسیار فعال است و باعث ثبات غشایی و کاهش اثر NaCl بر روی غشای سلول می گردد (منصور، ۱۹۹۸). نقش مثبت پرولین در تعادل نمودن فشار اسمزی نسبت به تنش خشکی و شوری توسط محققین در گیاهان مختلف مانند یونجه (گینزبرگ و همکاران، ۱۹۹۸)، ذرت (رایاپتی و استوارت، ۱۹۹۱)و شاهی گوش موشی (کیوسو، ۱۹۹۶) گزارش شده است.

با اعمال تنش خشکی غلظت پرولین در برگ افزایش می‌یابد و همبستگی مثبت بین غلظت پرولین و سطح ویژه برگ نشان می دهد که در ارقام دارای برگ نازکتر، سازوکار تجمع پرولین بیشتر روی می دهد (سی و سه مرده و همکاران، ۱۳۸۳).

پرولین موجب محافظت از غشاها و پروتئین‌ها در برابر اثرات مختلفی مانند دمای بالا و غلظت بالای یون‌های معدنی شده و همچنین به عنوان پاک کننده رادیکال‌های هیدروکسیل عمل می نماید (کلاوسن، ۲۰۰۵).

با بررسی اثرات تنش خشکی و شوری در گیاهچه‌های گندم دوروم بر روی سوخت و ساز پرولین به این نتیجه رسیدند که در طی تنش‌های رطوبتی و شوری، فعالیت آنزیم پرولین دهیدروژناز کاهش یافته و فعالیت آنزیم دلتا پرولین -۵-کربوکسیلیک افزایش می یابد که این مسئله منجر به افزایش غلظت پرولین در گیاهچه‌های تحت تنش می شود (ماتیونی و همکاران، ۱۹۹۷). پرولین محلول می تواند بر روی حلالیت پروتئین‌های مختلف تأثیر گذاشته و مانع از غیر طبیعی شدن آلبومین گردد و این به علت برقراری رابطه‌ی متقابل بین مولکول پرولین و سطح آب گریز پروتئین‌ها است که به دلیل افزایش سطح کل آبدوست مولکول‌های پروتئینی، پایداری آنها افزایش می یابد. در سیتوپلاسم سلول تحت تنش، این پدیده‌ها حائز اهمیت حیاتی هستند (آسپینال و پلاگ، ۱۹۸۱). آنزیم‌ها نیز تحت تأثیر این سازوکار ایجاد شده توسط پرولین قرار گرفته و

به دلیل ساختمان پروتئینی خود محافظت می شوند. بطوریکه یکی از عوامل در جهت محافظت آنزیم‌ها، تجمع پرولین معرفی شده است (زیف نژاد و همکاران، ۱۹۹۷).

۲-۳-۳- تأثیر کاربرد خارجی پرولین در گیاهان

کاربرد خارجی پرولین سبب می‌شود اثرات رادیکال‌های آزاد و خسارات تنش اکسیداتیو در گیاه کاهش یابد (منصور، ۲۰۰۰). بررسی محلول پاشی پرولین در زمان تنش فرابنفش بر برگ گیاه باقلا نشان داد که کلروفیلa و b ، مجموع کلروفیلa و b، کارتنوئید و سطح برگ با اعمال پرولین نسبت به شرایط بدون تنش افزایش می یابد. در همین آزمایش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت محلول پاشی پرولین افزایش و فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز و آنزیم پراکسیداز کاهش یافته است (هوگو، ۲۰۱۳؛ زلاتو و همکاران، ۲۰۱۲؛ عمال و همکاران، ۲۰۱۵).

در گیاه برنج محلول پاشی پرولین همراه با اعمال تنش شوری باعث کاهش خسارت گردید.پرولین مانع از کاهش بیش از حد عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد چون باعث کاهش اثرات مخرب تنش شد (خوان و همکاران، ۲۰۰۸؛ صدیقه و همکاران، ۲۰۱۵).

در کیوی محلول پاشی پرولین بر سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک و تر گیاه تاثیر مثبت داشت (محمودی و همکاران، ۲۰۱۴). در پژوهش عبدالحمید و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد ۲۵ میلی مولار پرولین باعث شد کارتنوئید و رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین پارامترهای رشدی در گیاه شنبلیله افزایش یابد.

بررسی مطالعات دیگر نشان داده است که محلول پاشی پرولین در گیاهان تنباکو، سیب زمینی، ذرت، سورگوم و گندم سبب شد پارامترهای رویشی شامل سطح برگ، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، وزن خشک و عملکرد افزایش یابد (یسری و همکاران، ۲۰۱۵).

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳-۱- زمان و محل اجرای آزمایش

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در شهر بسطام کیلومتر ۸ جاده شاهرود-آزادشهر اجرا شد. شهرستان شاهرود در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده و میانگین ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۶۷ متر است. منطقه بسطام دارای اقلیم سرد و خشک است و بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی میانگین بارندگی سال زراعی ۹۷-۹۸، ۲۱۵/۸ میلی متر گزارش شده است. ایستگاه هواشناسی شاهرود، میانگین درجه حرارت سال زراعی ۹۷-۹۸ را ۱۵/۵درجه سانتیگراد اعلام کرده است.

۳-۲- مشخصات طرح آزمایش

این آزمایش به صورت فاکتوریل با سه فاکتور در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با ۳ تکرار انجام شده است. فاکتورها شامل مدار آبیاری با سه سطح (I_1: هر ۸روز، I_2: هر ۱۲روز و I_3: هر ۱۶روز) و محلول پاشی سیلیسیوم با دو سطح (S_1: ۰ میلی مولار، S_2: ۳ میلی مولار) و محلول پاشی پرولین با سه سطح (P_1: ۰ میلی مولار، P_2: ۲۵ میلی مولار و P_3: ۵۰ میلی مولار) می‌باشد. تعداد تیمارها در مجموع ۱۸ و تعداد کل کرت‌های آزمایش ۵۴ بود.

یک هفته قبل از کاشت با استفاده از گاوآهن برگردان دار اقدام به آماده سازی زمین گردید. سپس ابعاد کرت‌ها تعیین شد. هر کرت شامل چهار خط کاشت به طول ۴ متر و با رعایت فاصله بین خطوط ۶۰ سانتی‌متر بود.

عملیات کاشت در تاریخ ۴ تیر ۱۳۹۸ با دست و در عمق ۵ سانتیمتر انجام شد. فاصله دو بوته روی ردیف ۸ سانتی متر در نظر گرفته شد.

۳-۳- مشخصات رقم بذر

در این بررسی از رقم DPX سویا استفاده شد که از گرگان تهیه شد.

۳-۴- عملیات کاشت، داشت و برداشت

در تاریخ ۴ تیر ۱۳۸۹ کاشت بذر سویا به صورت دستی صورت گرفت و در ۵ تیر ۱۳۹۸ اولین آبیاری توسط سیستم آبیاری قطره ای انجام شد که تا شروع ساقه دهی (۳۰ مرداد ۱۳۹۸) به صورت منظم انجام گردید.

جهت کنترل علف‌های هرز، عملیات وجین دستی با توجه به شرایط مزرعه در چند مرحله انجام شد.

پس از ساقه دهی و استقرار کامل بوته‌ها از تاریخ ۳۰ مرداد ۱۳۹۸ اقدام به اعمال تیمارهای دور آبیاری شد. برای اعمال تیمارهای دور آبیاری به ترتیب ۸، ۱۲ و ۱۶ روز یک بار در نظر گرفته شد. تیمار پرولین در تاریخ ۲ شهریور با غلظت‌های صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی مولار و تیمار سیلیس که منبع آن متاسیلیکات سدیم بود در تاریخ ۴ شهریور با غلظت‌های صفر و ۳ میلی مولار به صورت محلول پاشی اعمال گردید. محلول پاشی‌ها در ابتدای صبح و در هوای صاف اعمال شد به نحوی که برگ‌های سویا کاملاً خیس شدند.

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های مورد نظر، ردیف‌های کناری در کرت برای حذف اثر حاشیه‌ای، حذف و از دو ردیف وسط با کسر ۵۰ سانتی متر از ابتدا و انتهای کرت اقدام به نمونه‌برداری شد. اولین نمونه برداری پس از گلدهی گیاهان در تاریخ ۱۸ شهریور و نمونه‌برداری نهایی در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی دانه‌ها در تاریخ ۱۰ آبان صورت گرفت.

۳-۵- صفات زراعی و مورفولوژیک

۳-۵-۱- وزن خشک گیاه

برای وزن خشک گیاه تعداد ۵ بوته از هر کرت به عنوان نماینده برداشت گردید و پس از منتقل کردن به آزمایشگاه به صورت مجزا در پاکت قرار داده شدند و در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد توسط دستگاه آون به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. پس از این مدت نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت یک دهم گرم وزن شدند. سپس از داده‌ها میانگین گیری شده و عدد آن ثبت شد.

۳-۵-۲- ارتفاع بوته

ارتفاع ۵ بوته بر حسب سانتی متر اندازه گیری شد و سپس میانگین گیری و ثبت گردید.

۳-۵-۳- قطر ساقه

توسط دستگاه کولیس با دقت یک دهم میلیمتر قطر ساقه پنج بوته اندازه گیری و سپس میانگین گیری و ثبت گردید.

۳-۶- عملکرد و اجزای عملکرد

عملکرد نهایی بر حسب گرم با اندازه گیری وزن خشک گیاهانی که یک متر مربع از هر کرت را اشغال کرده بودند، پس از در نظر گرفتن حاشیه‌ها محاسبه شد. اجزای عملکرد در گیاه سویا شامل تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه می باشد که مورد اندازه گیری قرار گرفت.

۳-۷- صفات فیزیولوژیک

۳-۷-۱- رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای تعیین غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید از روش Non maceration استفاده شد. ابتدا ۵۰ میلی‌گرم نمونه برگ تازه از هر تیمار آزمایشی در ۵ میلی‌لیتر دی متیل سولفوکسید (DMSO) در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت در آون قرار داده شد. سپس جذب نوری عصاره‌های برگی

توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۴۹ و ۶۶۵ نانومتر اندازه گیری شد. اعداد به دست آمده در فرمول‌های مربوطه جایگذاری شده و ابتدا کلروفیل a و b و سپس کلروفیل کل و کاروتنوئید بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید (هیسکوکس و ایسرالسیتام، ۱۹۷۸).

$$Chl\ a = (12.47 \times A665) - (3.62 \times A649)$$

$$Chl\ b = (25.06 \times A649) - (6.5 \times A665)$$

$$Chl\ t = Chl\ a + Chl\ b$$

$$C = ((1000 \times A480) - (1.29\ Chl\ a - 53.78\ Chl\ b))/\ 220$$

۳-۷-۲- محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه گیری محتوای نسبی آب برگ در ساعت ۱۰ صبح از آخرین برگ توسعه یافته به طور تصادفی نمونه گیری صورت گرفت و هر کدام در کیسه‌ای پلاستیکی بر روی یخ قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. وزن تر نمونه‌ها بلافاصله در آزمایشگاه با ترازوی دقیق اندازه گیری شد و سپس تمام نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال و در دمای ۴ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگی اندازه گیری شده و برگ‌ها مجدداً به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آون قرار داده شده و وزن خشک هر نمونه به دست آمد. با قرار دادن اعداد حاصل از فرمول، محتوای نسبی آب برگ به دست آمد (ریچی و همکاران، ۱۹۹۰).

$$RWC = ((Wi-Wd) / (Wf-Wd)) \times 100$$

۳-۷-۳- هدایت روزنه ای

جهت اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای، از جوان ترین برگ توسعه یافته استفاده شد. در هر کرت سه برگ انتخاب و هدایت روزنه‌ای برگ توسط دستگاه پرومتر مدل Neterland ساخت کشور هلند، اندازه گیری شد و سپس از داده‌ها میانگین گیری شده و ثبت گردید.

۳-۷-۴- سدیم و پتاسیم بذر

به منظور اندازه گیری میزان سدیم و پتاسیم، نمونه‌های بذر توسط آون خشک گردید و سپس با استفاده از آسیاب پودر شد. پس از آن به مقدار یک گرم از بافت خشک شده را داخل بوته چینی ریخته و در داخل کوره در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به مدت پنج ساعت قرار داده شد. سپس به هر کدام از نمونه‌ها ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک دو نرمال اضافه گردید و پس از قرار گرفتن در حمام بن ماری به مدت ۲۰ دقیقه و صاف شدن توسط کاغذ صافی، به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شدند. سپس نمونه‌ها با دستگاه فلم فتومتر Jenway قرائت شدند (چاپمن و پرات، ۱۹۶۱).

۳-۷-۵- پرولین

به منظور اندازه گیری محتوای پرولین برگ، ابتدا ۵۰۰ میلی‌گرم بافت زنده گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک در هاون ساییده، سپس مخلوط را با کاغذ صافی تصفیه و ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصله را در لوله آزمایش ریخته و ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نین هیدرین(حاصل از افزودن ۲۵/۱ گرم نین هیدرین به ۳۰ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال) و ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال به آن اضافه گردید. در مرحله بعد لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در بن ماری و در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند، پس از خروج نمونه‌ها در حمام یخ به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. سپس ۴ میلی لیتر تولوئن به محتوای حلاله اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه به وسیله ورتکس مخلوط شد. لوله‌ها مدتی در دمای اتاق ثابت قرار گرفتند. در این مرحله دو لایه مجزا ایجاد و سرانجام جذب نوری لایه رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از تولوئن به عنوان تیمار شاهد به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر W-Visible Jenway قرائت و مقدار پرولین بر حسب میکرومول بر گرم ماده تر تعیین گردید (بیتس، ۱۹۷۳).

۳-۸- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTAT-cو برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم شدند.

فصل چهارم

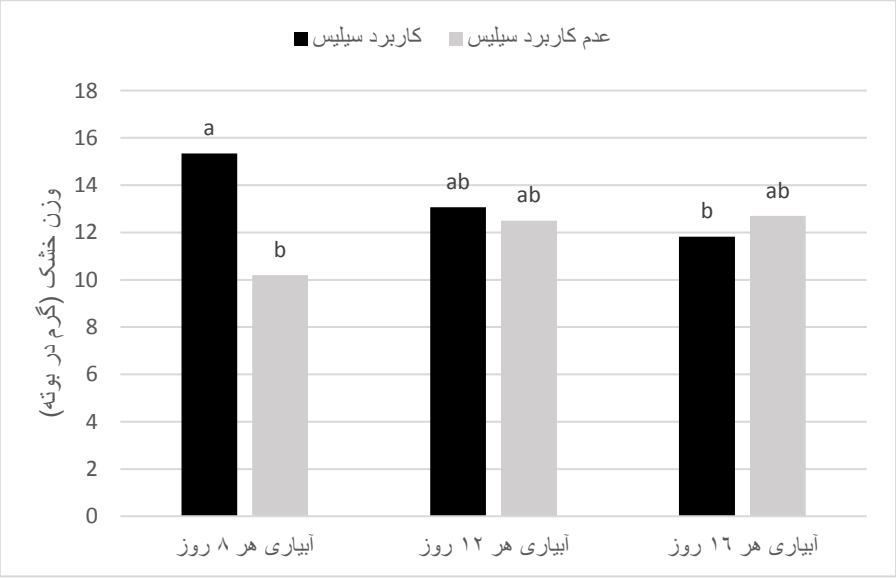
نتایج و بحث

۴-۱- صفات مورفولوژیک

۴-۱-۱- وزن خشک گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس بر وزن خشک گیاه در سطح ۵٪ معنی‌دار است (جدول ۴-۲).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها، تنها در دور آبیاری ۸ روز بین کاربرد و عدم کاربرد سیلیس تفاوت معنی دار مشاهده شد، بطوریکه در دور آبیاری ۸ روز، وزن خشک گیاه با ۱۵/۴۳ گرم اختلاف معنی داری با وزن خشک گیاه (۱۰/۱۲ گرم) در شرایط عدم کاربد سیلیس داشت. همچنین وزن خشک گیاه ۱۵/۴۳ گرم در شرایط کاربرد سیلیس با وزن خشک گیاه در شرایط آبیاری ۱۶ روز (۱۱/۸۲) اختلاف معنی دار مشاهده شد (نمودار ۴-۱). به نظر می‌رسد مصرف سیلیس باعث جهت گیری برگ‌ها در مقابل آفتاب و در نتیجه افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌شود (گوتارادی و همکاران، ۲۰۱۲)، و افزایش فتوسنتز و عملکرد موجب افزایش وزن خشک می‌شود. در آزمایشی که توسط گلچین و عزیز آبادی (۱۳۹۰) انجام شد دریافتند که کاربرد سیلیس در گلرنگ موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک کل در این گیاه می‌شود.



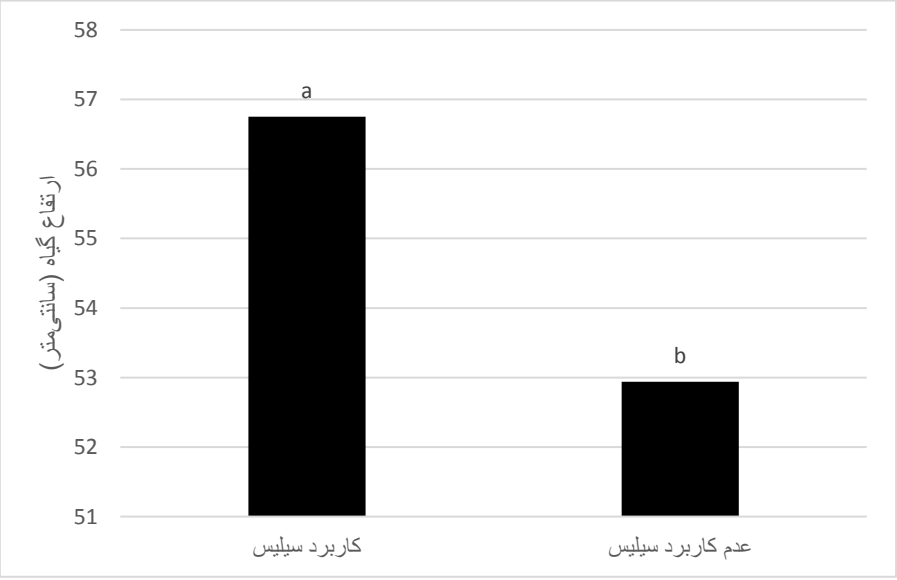
نمودار (۴-۱) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس بر وزن خشک گیاه سویا

۴-۱-۲- ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر اصلی فاکتور سیلیس بر ارتفاع بوته در سطح ۵٪ معنی دار شد (جدول ۴-۲).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به محلول پاشی سیلیس و عدم کاربرد سیلیس به میزان ۵۶/۷۵ و ۵۲/۹۴ سانتی‌متر بود که از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌دار داشتند (نمودار ۴-۲).

تحریک رشد گیاه در نتیجه مصرف سیلیس می‌تواند ناشی از دخالت این عنصر در بزرگ شدن سلول و یا تقسیم سلولی باشد (الواد و همکاران، ۱۹۸۲). نصری و همکاران (۱۳۸۷) و نصری و خلعتبری (۱۳۸۹) اعلام کردند که مصرف سیلیس سبب افزایش ارتفاع بوته گیاه کلزا می‌شود. علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش را در پژوهش‌های مختلف به دلیل کم شدن فشار تورژسانس سلول‌ها و در نتیجه کاهش حجم و تعداد سلول‌ها گزارش کردند (ویلسون، ۱۹۸۳؛کانگ و همکاران، ۲۰۰۰).



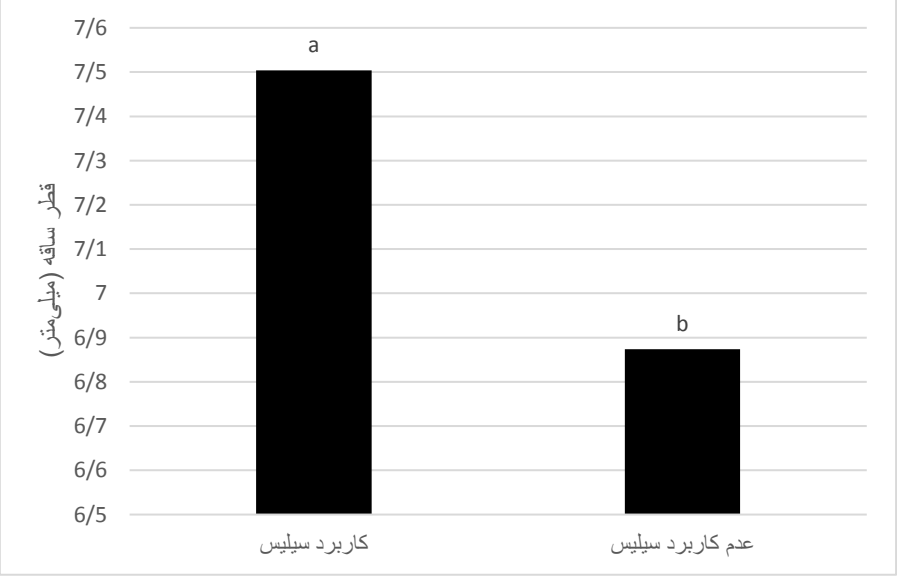
نمودار (۴-۲) اثر محلول پاشی سیلیس بر ارتفاع بوته در گیاه سویا

۴-۱-۳- قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی فاکتور سیلیس بر قطر ساقه در سطح ۵٪ معنی دار است (جدول۴-۲).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین و کمترین میزان قطر ساقه به ترتیب مربوط به محلول‌پاشی سیلیس و عدم کاربرد آن با میزان (۷/۵۰۴ و ۶/۸۷۴ میلی‌متر) بود که از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (نمودار۴-۳).

برخی محققین در پژوهش‌های مختلف به این نتیجه دست یافتند که قطر ساقه از جمله خصوصیات ژنتیکی گیاه است و تحت تاثیر تنش قرار نمی‌گیرد (حاج حسنی اصل و همکاران، ۱۳۸۹). جکندرا (۱۹۹۹) گزارش کرد قطر ساقه همبستگی منفی با افزایش سطوح تنش دارد.



نمودار (۴-۳) اثر محلول پاشی سیلیس بر قطر ساقه در گیاه سویا

۴-۱-۴- عملکرد کل گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل دور آبیاری و محلول‌پاشی پرولین بر عملکرد کل گیاه سویا در سطح ۵٪ معنی‌دار است (جدول۴-۲).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها، از بین این تیمارها میزان عملکرد در شرایط دور آبیاری ۱۲ روز و کاربرد ۲۵ میلی‌مولار پرولین با ۱۴۰۸کیلوگرم در هکتار، با میزان عملکرد در شرایط دور آبیاری ۱۶ روز و کاربرد ۲۵ میلی‌مولار با ۹۷۵.۳ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی دار دارند (نمودار۴-۴).

در واقع میزان محصول سویا تحت تاثیر تراکم گیاهی در واحد سطح، تعداد شاخه‌ها، تعداد گره‌های ساقه اصلی روی هر بوته، گلدهی، غلاف بندی، دانه بندی، پر شدن دانه و اندازه دانه می‌باشد (دانشیان و همکاران، ۱۳۸۸)، که تاثیر تنش خشکی در طول دوره رویشی سویا باعث کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه، وزن بوته، تعداد دانه، وزن دانه، تعداد غلاف، وزن غلاف و شاخص برداشت سویا می‌شود (شاهمرادی، ۱۳۸۲).

از عوامل موثر در کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی می توان به کاهش میزان هدایت روزنه‌ای، کاهش سرعت سوخت و ساز کربن و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه اشاره نمود (لیو و همکاران، ۲۰۰۴).

نمودار (۴-۴) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر عملکرد گیاه سویا

۴-۱-۵- تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر تعداد غلاف در سطح ۱٪ و اثر متقابل دور آبیاری، محلول پاشی سیلیس و پرولین در سطح ۵٪ معنی‌دار است (جدول۴-۳).

بیشترین تعداد غلاف در بوته با ۲۶/۵ غلاف در شرایط دور آبیاری ۱۲ روزه، بدون کاربرد سیلیس و کاربرد ۲۵ میلی مولار پرولین بدست آمد که با شرایط دور آبیاری ۸ روزه، بدون کاربرد سیلیس و کاربرد ۵۰ میلی مولار پرولین و همچنین دور آبیاری ۱۶ روزه، بدون کاربرد سیلیس و پرولین در یک گروه آماری بودند (جدول ۴-۱).

تعدادی از پژوهشگران حساس‌ترین جزء عملکرد سویا نسبت به تنش خشکی را تعداد غلاف در بوته اعلام نمودند. تنش رطوبتی باعث می شود توسعه اندام‌های رویشی و فتوسنتزکننده کاهش یافته و با ادامه رشد، مدت گلدهی نیز کاهش می یابد، از طرفی دیگر ریزش گل‌ها و سقط غلاف‌ها افزایش می‌یابد (دانشیان و همکاران، ۱۳۸۸؛ تارومینگکنگ و کتو، ۲۰۰۳). وقوع تنش خشکی در اوایل دوران غلاف‌بندی دارای بیشترین

تاثیر بر کاهش تعداد غلاف و دانه در گیاه است (تارومینگکنگ و کتو، ۲۰۰۳). از دلایل این امر می‌توان به اثر خشکی بر تقسیم سلول‌های تخمک اشاره کرد (شاهمرادی و همکاران، ۱۳۸۸). کارگر و همکاران (۱۳۸۳) نیز کاهش تعداد غلاف در بوته‌های سویا، تحت تنش خشکی را گزارش دادند.

جدول ۴-۱- اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس و پرولین بر تعداد غلاف در بوته

دور آبیاری	سیلیس	پرولین	تعداد غلاف در بوته
هر ۸ روز	عدم کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۳/۳۳c
		۲۵ میلی‌مولار	۱۳/۸۳c
		۵۰ میلی‌مولار	۲۲/۸۳ab
	کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۸/۸۳bc
		۲۵ میلی‌مولار	۱۷/۳۳bc
		۵۰ میلی‌مولار	۱۶bc
هر ۱۲ روز	عدم کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۸bc
		۲۵ میلی‌مولار	۲۶/۵a
		۵۰ میلی‌مولار	۱۳/۶۷c
	کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۸/۵bc
		۲۵ میلی‌مولار	۱۶/۸۳bc
		۵۰ میلی‌مولار	۱۵/۱۷c
هر ۱۶ روز	عدم کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۹/۸۳abc
		۲۵ میلی‌مولار	۱۲/۶۷c
		۵۰ میلی‌مولار	۱۴/۸۳c
	کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۸/۳۳bc
		۲۵ میلی‌مولار	۱۴c
		۵۰ میلی‌مولار	۱۷/۸۳bc

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌داری ندارند.

۴-۱-۶- تعداد دانه در غلاف و طول غلاف

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هیچ یک از تیمارهای مورد استفاده در این آزمایش بر روی این دو صفت معنی‌دار نبود (جدول۴-۳)، که حاکی از عدم تاثیر دور آبیاری، محلول پاشی سیلیس و پرولین بر روی تعداد دانه در غلاف و طول غلاف است.

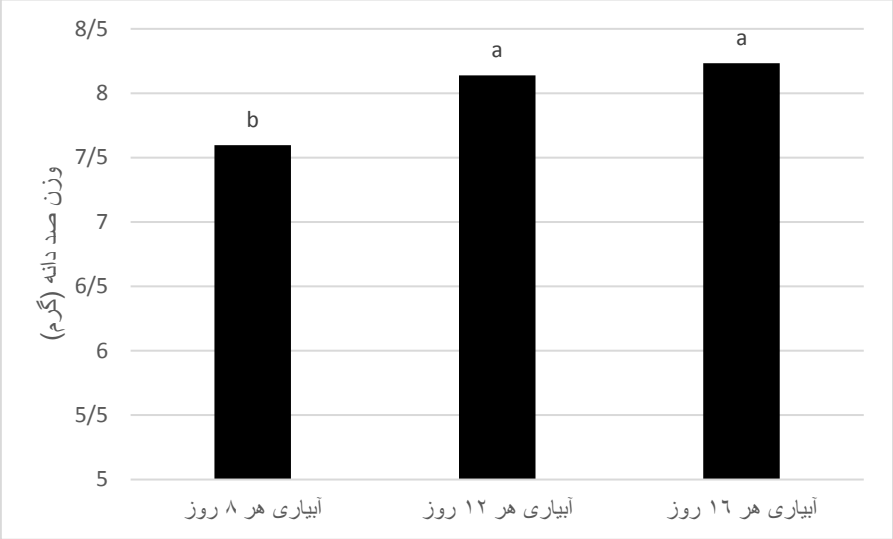
تعداد دانه در غلاف، جزء موثر در تعیین عملکرد دانه سویا است و این عامل در کنترل ژنوتیپ گیاه بوده و کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (گارنر، ۱۹۹۸).

۴-۱-۷- وزن صد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی فاکتور دور آبیاری بر وزن صد دانه گیاه سویا در سطح ۵٪ معنی دار است (جدول۴-۳).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در شرایط ۸ روز آبیاری کمترین میزان وزن صد دانه ۷/۶ گرم بود که با شرایط ۱۲ روز و ۱۶ روز اختلاف معنی‌دار داشت. بین وزن صد دانه در شرایط ۱۲ روز و ۱۶ روز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند (نمودار ۴-۵).

وزن دانه تحت تاثیر عوامل محیطی از قبیل آب مورد نیاز گیاه، تثبیت نیتروژن و... قرار می‌گیرد (کالاهام و توری، ۱۹۸۷). بیشتر شدن وزن صد دانه در دور آبیاری بالاتر می‌تواند به علت ایجاد مکانیسم‌های سازگاری به تنش خشکی در طی دوران تنش، کاهش دمای هوا در طی دوران پرشدن دانه و کاهش اختلاف پتانسیل آب بین محیط ریشه با خاک اطرافش باشد، که در مجموع باعث می‌شوند گیاه شدت تنش کمتری را طی این مرحله تجربه کند. ضمن اینکه توانایی بذور در حال پیرشدن برای جذب مواد آلی و ازت ذخیره شده در بخش‌های رویشی گیاه نظیر ساقه و برگ‌ها در حفظ وزن صد دانه بذر تحت شرایط تنش خشکی بی‌تاثیر نیست (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۱).



نمودار (۴-۵) اثر دور آبیاری بر وزن صد دانه در گیاه سویا

جدول ۴-۲- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک گیاه	ارتفاع بوته	قطر ساقه	عملکرد
تکرار	۲	۴۴/۴۵۸	۴۲/۱۲۷	۱۲/۰۴۷	۱۲۸۹۴/۳۵۹
دور آبیاری (I)	۲	۱/۵۷۶ns	۳۴/۵۸۰ns	۱/۲۶۲ns	۶۴۹/۵۳۴ns
سیلیس (S)	۱	۳۴/۹۲۹ns	۱۹۵/۷۰۱*	۵/۳۵۲*	۸۵/۳۷۸ns
اثر متقابل (IS)	۲	۴/۵۰۵*	۱۶/۶۵۹ns	۱/۳۵۸ns	۱۰۳۴/۰۵۸ns
پرولین (P)	۲	۱۸/۸۱۵ns	۲۵/۲۲۷ns	۰/۴۰۲ns	۹۲/۱۰۱ns
اثر متقابل (IP)	۴	۲۴/۷۲۹ns	۶۳/۳۱۸ns	۰/۴۶۳ns	۲۵۸۹/۶۱۰*
اثر متقابل (SP)	۲	۸/۴۰۸ns	۱۵/۲۸۰ns	۰/۰۰۴ns	۶۳۳/۶۴۵ns
اثر متقابل (ISP)	۴	۲۳/۹۸۳ns	۷/۹۲۵ns	۰/۴۳۵ns	۱۳۱۳/۵۷۸ns
خطا	۳۴	۱۰/۶۹۰	۳۹/۴۹۴	۰/۹۴۲	۹۱۱/۵۹۷
ضریب تغییرات (درصد)		۲۵/۹۴	۱۱/۴۶	۱۳/۵۰	۲۵/۷۵

ns، *، ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار بودن و معنی دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳- ادامه تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	طول غلاف	وزن صد دانه
تکرار	۲	۲۷۰/۴۷۷	۰/۰۵۷	۱۲/۰۴۷	۰/۱۴۲
دور آبیاری (I)	۲	۱۵/۷۲۷^{ns}	۰/۰۶۰^{ns}	۱/۲۶۲^{ns}	۲/۱۲۹*
سیلیس (S)	۱	۱/۱۸۵^{ns}	۰/۰۱۵^{ns}	۵/۳۵۲^{ns}	۱/۰۱۲^{ns}
اثر متقابل (IS)	۲	۱۷/۲۸۲^{ns}	۰/۰۲۹^{ns}	۱/۳۵۸^{ns}	۰/۷۰۰^{ns}
پرولین (P)	۲	۶/۲۵۵^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۴۰۲^{ns}	۰/۹۹۲^{ns}
اثر متقابل (IP)	۴	۷۴/۱۷۸**	۰/۰۴۱^{ns}	۰/۴۶۳^{ns}	۱/۲۹۹^{ns}
اثر متقابل (SP)	۲	۱۱/۶۷۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۹۸۵^{ns}
اثر متقابل (ISP)	۴	۵۹/۵۳۹*	۰/۰۶۴^{ns}	۰/۴۳۵^{ns}	۰/۹۳۴
خطا	۳۴	۱۹/۸۵۹	۰/۰۳۶	۰/۹۴۲	۰/۵۶۷
ضریب تغییرات (درصد)		۲۶/۰۲	۷/۱۹	۱۳/۵۰	۹/۴۲

ns، *، ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار بودن و معنی دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

۴-۲- صفات فیزیولوژیک

۴-۲-۱- کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تیمار دور آبیاری و محلول پاشی پرولین در سطح ۱٪ و اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین در سطح ۵٪ بر کلروفیل a معنی‌دار است (جدول ۴-۵).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین میزان کلروفیل a در شرایط آبیاری ۱۲ روز و کاربرد ۵۰ میلی‌لیتر پرولین بدست آمد، هر چند با میزان کلروفیل a در شرایط آبیاری ۱۶ روز و کاربرد ۲۵ میلی‌مولار پرولین و شرایط آبیاری ۸ روز و عدم کاربرد پرولین در یک گروه آماری قرار داشتند و کمترین میزان کلروفیل a در شرایط ۲۵ میلی‌مولار پرولین و دور آبیاری ۱۲ روز بدست آمد (نمودار ۴-۶).

در شرایط کمبود آب به طور قابل توجهی میزان کلروفیل و ظرفیت فتوسنتزی کاهش پیدا می‌کند، که علت این کاهش در ظرفیت فتوسنتزی، می‌تواند به علت بسته شدن روزنه‌ها و یا از طریق اختلال و آسیب

به پروتئین‌های ساختاری که در فتوسیستم‌ها به کار رفته‌اند باشد (لاولور، ۲۰۰۲)، در حالی که محلول پاشی پرولین می‌تواند باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده و میزان دی‌اکسیدکربن را افزایش دهد و در نتیجه فتوسنتز افزایش یابد (علی و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین رشاد و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که تیمار با پرولین موجب افزایش کلروفیل a، b و کل در گیاه چغندر گردید.

(نمودار ۴-۶) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کلروفیل a در گیاه سویا

۴-۲-۲- کلروفیل b

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل تیمار دور آبیاری و محلول پاشی پرولین در سطح ۱٪ و اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین نیز در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۴-۵).

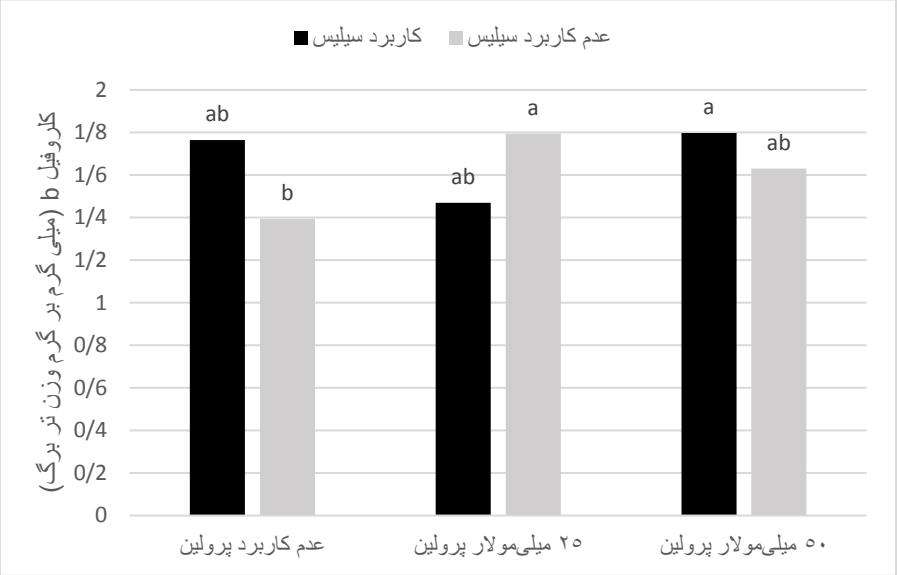
نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در دورهای آبیاری مختلف در شرایط عدم کاربرد پرولین اختلاف معنی داری مشاهده نشد. ولی در شرایط آبیاری ۱۲ روز و ۱۶ روز در میزان کلروفیل b در غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار پرولین اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (نمودار ۴-۷).

همچنین نتایج مقایسه میانگین ما در اثر متقابل سیلیس و پرولین بر میزان کلروفیل b نشان داد که در بین تیمارها، در تیمار عدم کاربرد سیلیس و پرولین صفر میلی‌مولار با عدم کاربرد سیلیس و پرولین ۲۵ میلی‌مولار اختلاف معنی‌دار مشاده شد (نمودار ۴-۸).

نتایج مطالعه ای نشان داد که تحت شرایط تنش خشکی کاهش میزان فتوسنتز با اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی همراه می‌باشد، فتوسیستم نوری به عوامل بازدارنده محیطی بسیار حساس بوده و تنش خشکی موجب خسارت به مرکز واکنش PSII می‌شود (آنسل و همکاران، ۲۰۰۰)

استفاده از اسید آمینه پرولین به صورت محلول پاشی در غلظت‌های کم تا حدود بسیار زیادی تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی را بهبود می‌بخشد (دیوانایی و همکاران، ۲۰۱۱).

(نمودار ۴-۷) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کلروفیل b در گیاه سویا



(نمودار ۴-۸) اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین بر کلروفیل b در گیاه سویا

۴-۲-۳- کلروفیل کل

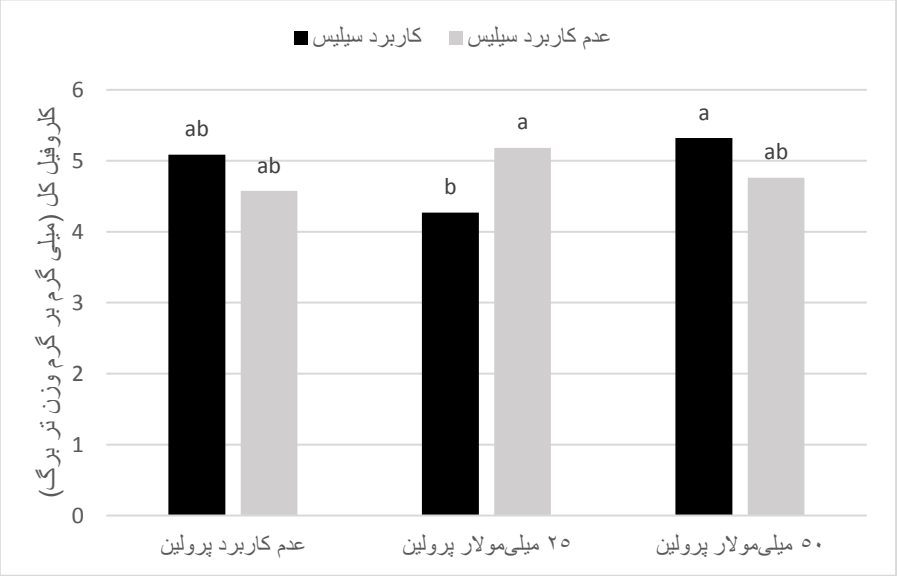
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمار دور آبیاری و محلول پاشی پرولین و اثر متقابل سیلیس و پرولین به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ بر کلروفیل کل معنی‌دار است (جدول ۴-۵).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش محلول پاشی پرولین در درو آبیاری ۱۲ روز، میزان کلروفیل کل افزایش پیدا کرد، به طوریکه بین تیمار ۱۲ روز آبیاری و غلظت ۲۵ میلی‌مولار پرولین و ۵۰ میلی‌مولار آن اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید (نمودار ۴-۹).

همچنین مقایسه میانگین داده‌ها بر کلروفیل کل در اثر متقابل سیلیس و پرولین نشان داد از بین این تیمارها در شرایط کاربرد سیلیس و کاربرد ۵۰ میلی‌مولار پرولین و شرایط کاربرد سیلیس و کاربرد ۲۵ میلی‌مولار پرولین اختلاف معنی‌دار دارند (نمودار ۴-۱۰)، که نشان می‌دهد با محلول پاشی میزان بیشتری پرولین، کلروفیل کل نیز افزایش پیدا کرده است.

تنش کم آبی موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش مقدار کلروفیل برگ و تخریب تشکیلات فتوسنتزی می‌گردد (کایزناک و همکاران، ۲۰۰۱). در اینجا محلول پاشی پرولین باعث افزایش بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و حفاظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش می‌شود (علی و همکاران، ۲۰۰۷).

(نمودار ۴-۹) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کلروفیل کل در گیاه سویا



(نمودار ۴-۱۰) اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین بر کلروفیل کل در گیاه سویا

۴-۲-۴- کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کاروتنوئید در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۴-۵).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین و کمترین میزان کاروتنوئید به ترتیب با میانگین‌های (۵/۳۱۵و ۳/۷۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) مربوط به تیمارهای دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه ۵۰ میلی‌مولار پرولین و دور آبیاری ۱۶ روزه به همراه ۵۰ میلی‌مولار پرولین بوده است (نمودار ۴-۱۱).

کاروتنوئیدها قادرند که انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه را گرفته و اکسیژن منفرد را به اکسیژن سه‌تایی تبدیل کنند و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن نقش آنتی‌اکسیدانی خود را ایفا کنند (کینگو و ژوجون، ۲۰۰۸). تنش کم آبی موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش مقدار کلروفیل برگ و تخریب تشکیلات فتوسنتزی می‌گردد (کایزناک و همکاران، ۲۰۰۱). احتمالا کاهش معنی‌دار مقدار کاروتنوئید مشاهده شده در این تحقیق به دلیل کاهش فاکتورهای لازم جهت سنتز کلروفیل و تخریب ساختمان آن می‌باشد، بدین معنی که کاتابولیسم کلروفیل در شرایط کم‌آبی افزایش می‌یابد (حاج غنی، ۱۳۹۴).

علاوه براین علت کاهش کاروتنوئید می‌تواند به دلیل پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش کم‌آبی باشد (تایز و زایگر، ۱۳۸۲). رشاد(۲۰۱۳) و عبدالحمید(۲۰۱۶) نیز در تحقیقات جداگانه متوجه شدند محلول‌پاشی پرولین موجب افزایش کاروتنوئید در برگ‌های چغندر و شنبلیله شد.

(نمودار ۴-۱۱) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی پرولین بر کاروتنوئید در گیاه سویا

۴-۲-۵- محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هیچ یک از فاکتورهای مورد آزمایش بر روی این صفت معنی‌دار نشدند (جدول ۴-۶).

از عوامل دخیل در محتوای نسبی آب برگ، تقلیل رشد و فعالیت ریشه و افزایش تبخیر و تعرق جامعه گیاهی شناخته شده‌اند (تارمینگ‌کو و کوتو، ۲۰۰۳)، که در نهایت موجب کاهش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌گردد (لک و همکاران، ۲۰۰۷). حاج غنی (۱۳۹۴) در تحقیقی بر روی گیاه ارزن بیان نمود، مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و محلول‌پاشی سیلیس برای صفت محتوای نسبی آب برگ نشان داد از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف آبیاری در تیمارهای محلول‌پاشی نبوده است.

۴-۲-۶- هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل دور آبیاری و محلول‌پاشی سیلیس و پرولین بر هدایت روزنه‌ای در سطح ۵٪ معنی‌دار است (جدول ۴-۶).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها مشخص شد که از بین تیمارها، در شرایط آبیاری ۸ روز، کاربرد سیلیس و کاربرد ۲۵ میلی‌مولار پرولین با شرایط آبیاری ۱۶ روز،عدم کاربرد سیلیس و کاربرد ۵۰ میلی‌مولار پرولین اختلاف معنی‌دار دارند (جدول ۴-۴).

کاهش هدایت روزنه‌ای در اثر کمبود آب نشان‌دهنده بسته‌شدن نسبی روزنه‌ها و کاهش تعرق که فرآیند خنک کننده گیاهان است می‌باشد (کریم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). بسته شدن روزنه از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی می‌باشد و به نظر می‌رسد که عمده‌ترین دلیل کاهش فتوسنتز در اثر تنش خشکی باشد. بسته شدن روزنه ممکن است قابلیت دسترسی به دی‌اکسیدکربن را برای روزنه محدود کند. عمده تفاوت‌های مشاهده شده در هدایت روزنه‌ای بین تیمارهای رطوبتی احتمالا ناشی از اقدام گیاه به بستن روزنه‌های برگ بوده تا از هدرروی آب جلوگیری شود (رضایی راد و همکاران، ۱۳۹۳).

محلول‌پاشی پرولین در گیاهان هدایت روزنه‌ای و میزان دی‌اکسیدکربن در فضای روزنه را افزایش می‌دهد که در نتیجه آن فتوسنتز گیاه نیز افزایش پیدا کرده و با افزایش عملکرد رو به رو خواهیم شد (علی و همکاران، ۲۰۰۷). در این بررسی مشخص شده محلول پاشی ۲۵ میلی‌مولار نسبت به ۵۰ میلی‌مولار نتایج بهتری به همراه داشته که ممکن است به دلیل مقاومت در برابر تنش و سازگاری گیاه در محلول‌پاشی پایین‌تر باشد.

جدول ۴-۴- اثر دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس و پرولین بر هدایت روزنه ای ($mol.m^{-2}.s^{-1}$) در گیاه سویا

دور آبیاری	سیلیس	پرولین	هدایت روزنه‌ای
هر ۸ روز	عدم کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۱۸/۹۳۳cdefg
		۲۵ میلی‌مولار	۱۴۱/۸cdefg
		۵۰ میلی‌مولار	۱۱۳/۷defg
	کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۴۴/۶abcd
		۲۵ میلی‌مولار	۱۶۳/۴ab
		۵۰ میلی‌مولار	۱۲۷/۰۶۷cdefg
هر ۱۲ روز	عدم کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۶۴/۰۶۷a
		۲۵ میلی‌مولار	۱۳۳/۷۳۳abcdef
		۵۰ میلی‌مولار	۱۲۷/۱۳۳cdefg
	کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۰۱/۲۶۷fg
		۲۵ میلی‌مولار	۱۱۹/۰۵cdefg
		۵۰ میلی‌مولار	۱۱۸/۲cdefg
هر ۱۶ روز	عدم کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۱۴/۳۵defg
		۲۵ میلی‌مولار	۱۲۹/۲bcdef
		۵۰ میلی‌مولار	۹۲/۵g
	کاربرد سیلیس	۰ میلی‌مولار	۱۵۱/۹۳۳abc
		۲۵ میلی‌مولار	۱۱۷/۹cdefg
		۵۰ میلی‌مولار	۱۰۷/۹efg

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌داری ندارند.

۴-۲-۷- سدیم بذر

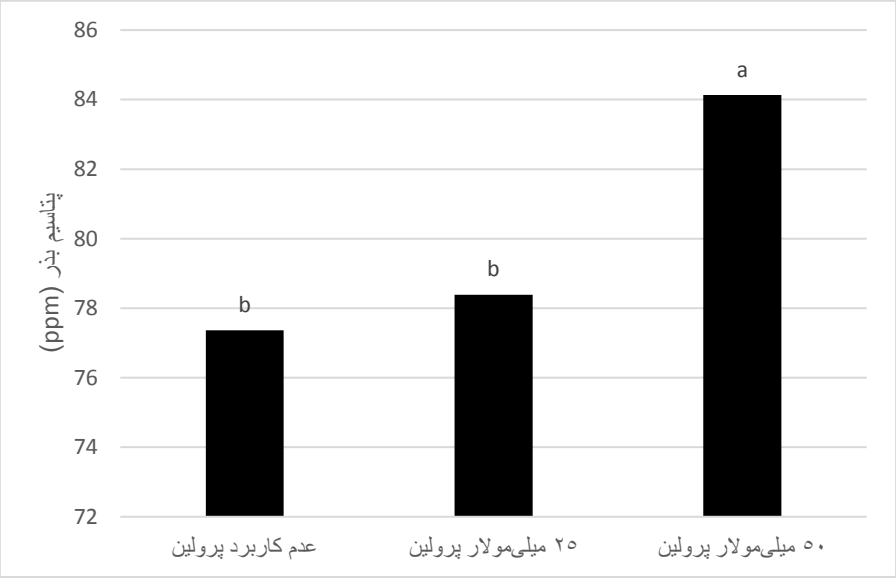
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر هیچ یک از فاکتورهای مورد آزمایش بر روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴-۶).

با توجه به اینکه دانه سویا روغنی و پروتئینی می‌باشد، این دو ماده در سویا باعث بی‌تاثیری در بالانس سدیم گیاه می‌شوند.

۴-۲-۸- پتاسیم بذر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلول پاشی پرولین بر پتاسیم سویا در سطح ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۴-۶).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان پتاسیم بذر در سطح کاربرد ۵۰ میلی‌مولار پرولین مشاهده شد که با دو سطح دیگر اختلاف معنی‌دار داشت (نمودار ۴-۱۲).



(نمودار ۴-۱۲) اثر محلول پاشی پرولین بر پتاسیم بذر در گیاه سویا

۴-۲-۹- پرولین

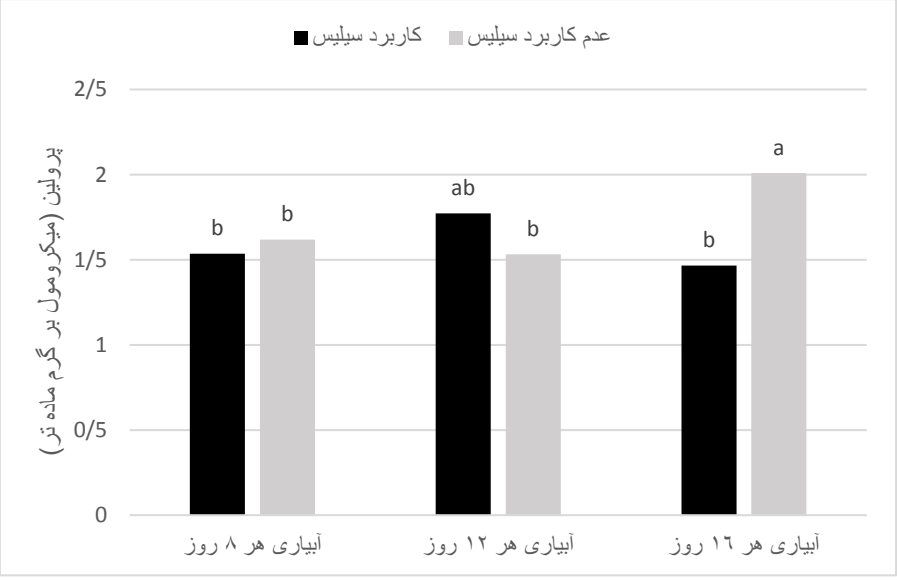
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس در گیاه سویا در سطح ۱٪ و اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین در سطح ۵٪ معنی‌دار است (جدول ۴-۶).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار دور آبیاری ۱۶ روز بدون کاربرد سیلیس است که با تیمار آبیاری ۱۲ روز آبیاری و با کاربرد سیلیس در یک گروه آماری می‌باشد و با دیگر سطوح اختلاف معنی‌دار دارد (نمودار ۴-۱۳).

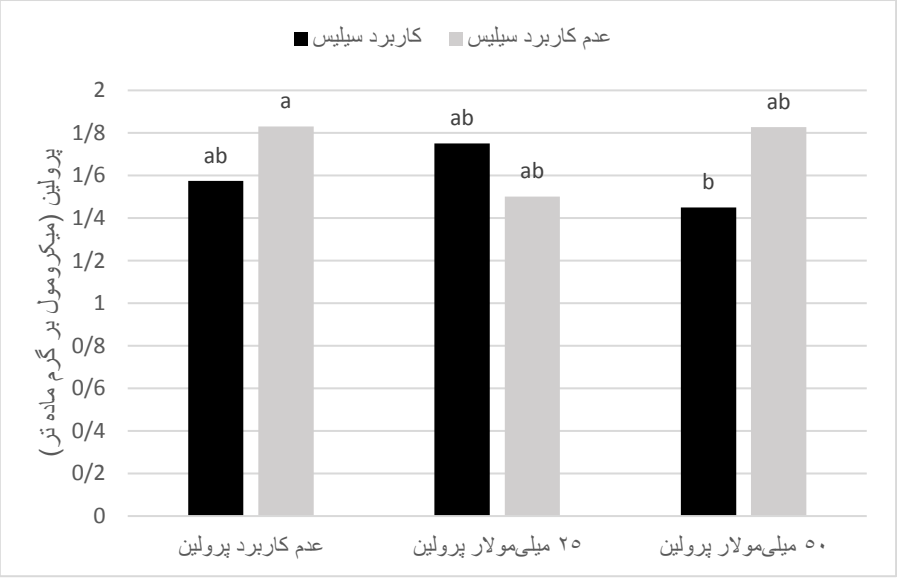
با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها از بین تیمارهای مورد آزمایش فقط تیمار عدم کاربرد سیلیس و پرولین با تیمار کاربرد سیلیس و پرولین ۵۰ میلی‌مولار دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (نمودار ۴-۱۴).

در زمانی که تنش رطوبتی داریم، با افزایش غلظت اسیدآمینه پرولین رو به رو می باشیم و با توجه به اینکه پرولین و کلروفیل هر دو از ماده مشترکی به نام گلوتامات سنتز می‌شوند، در نتیجه می‌توان بیان نمود که در شرایط تنش خشکی افزایش سنتز پرولین به کاهش سنتز کلروفیل منجر می‌شود (درویژه و همکاران، ۱۳۹۶).

عمده‌ترین راهکار تحمل به تنش در گیاهان تولید یکسری املاح آلی سازگار می‌باشد. این املاح با وزن مولکولی کم، ترکیبات بسیار مهمی هستند که حتی در غلظت‌های بالای سیتوزولی هم برای گیاهان غیرسمی هستند. در شرایط تنش میزان پرولین افزایش نشان داد که با نتایج درویژه و همکاران (۱۳۹۶) و عبدالعزیز و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. حبیبی و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که افزایش پرولین در دوران تنش رطوبتی ممکن است به علت تجزیه پروتئین‌ها باشد.



(نمودار ۴-۱۳) اثر متقابل دور آبیاری و محلول پاشی سیلیس بر پرولین در گیاه سویا



(نمودار ۴-۱۴) اثر متقابل محلول پاشی سیلیس و پرولین بر پرولین در گیاه سویا

جدول ۴-۵- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیلa	کلروفیلb	کلروفیل کل	کارتنوئید
تکرار	۲	۱/۲۳۴	۰/۲۴۵	۲/۵۷۴	۰/۸۸۷
دور آبیاری (I)	۲	۰/۰۵۷ns	۰/۰۹۱ns	۰/۱۸۱ns	۰/۰۹۰ns
سیلیس (S)	۱	۰/۰۰۴ns	۰/۰۶۸ns	۰/۰۳۸ns	۰/۰۲۳ns
اثر متقابل (IS)	۲	۰/۰۲۲ns	۰/۰۷۰ns	۰/۱۴۸ns	۰/۰۲۰ns
پرولین (P)	۲	۰/۲۵۵ns	۰/۰۸۲ns	۰/۴۶۴ns	۰/۱۳۴ns
اثر متقابل (IP)	۴	۲/۳۶۱**	۰/۶۲۹**	۵/۲۶۱**	۰/۰۶۶**
اثر متقابل (SP)	۲	۱/۱۷۲*	۰/۵۷۴*	۳/۱۵۲*	۰/۰۵۱ns
اثر متقابل (ISP)	۴	۰/۶۶۴ns	۰/۰۵۶ns	۰/۹۵۱ns	۰/۵۱۸ns
خطا	۳۴	۰/۳۷۰	۰/۱۵۸	۰/۸۵۴	۰/۵۹۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۸/۸۶	۲۴/۲۴	۱۹	۱۷/۳۶

ns، *، ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار بودن و معنی دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۶- ادامه تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	هدایت روزنه ای	سدیم	پتاسیم	پرولین
تکرار	۲	۴۰۹/۷۸۳	۲۵۰۸/۳۰۳	۵۰/۶۷۰	۱۰۰/۷۶۷	۰/۳۹۸
دور آبیاری (I)	۲	۳۲/۲۶۲^{ns}	۱۱۲۵/۷۵۵^{ns}	۱/۴۶۷^{ns}	۳۶/۳۱۲^{ns}	۰/۱۱۶^{ns}
سیلیس (S)	۱	۲۴/۹۷۰^{ns}	۴۲/۱۳۵^{ns}	۸/۴۸۱^{ns}	۷/۹۳۵^{ns}	۰/۲۲۱^{ns}
اثر متقابل (IS)	۲	۲۹۹/۱۲۲^{ns}	۳۱۹۹/۳۶۸**	۱۱/۲۷۲^{ns}	۲/۷۴۵^{ns}	۰/۶۹۷**
پرولین (P)	۲	۲۲۱/۳۳۶^{ns}	۲۱۶۳/۷۹۲**	۲۴/۳۰۳^{ns}	۲۳۹/۷۵۴**	۰/۰۳۰^{ns}
اثر متقابل (IP)	۴	۷۴/۰۷۶^{ns}	۶۵۶/۶۷۹^{ns}	۱۹/۶۰۹^{ns}	۳۱/۷۸۵^{ns}	۰/۳۰۵^{ns}
اثر متقابل (SP)	۲	۲۳۳/۹۸۰^{ns}	۸۲/۱۲۷^{ns}	۱۱/۹۵۰^{ns}	۴۱/۲۶۴^{ns}	۰/۴۹۶*
اثر متقابل (ISP)	۴	۱۱۲/۷۳۶^{ns}	۱۰۹۳/۹۴۷*	۱۰/۲۳۲^{ns}	۶۲/۵۳۶^{ns}	۰/۰۳۸^{ns}
خطا	۳۴	۱۲۸/۷۳۶	۴۴۰/۳۴۷	۱۰/۸۱۶	۴۷/۹۶۲	۰/۱۵۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۲۷	۱۶/۵۲	۸/۱۱	۸/۶۶	۲۳/۸۶

ns، *، ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار بودن و معنی دار بودن در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

۴-۳- نتیجه گیری

محلول پاشی سیلیس به تنهایی باعث افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه گیاه سویا گردید و عموما محلول پاشی پرولین نیز، در زمان طولانی شدن دور آبیاری سبب افزایش کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید گردید. همچنین محلول پاشی همزمان سیلیس و پرولین در زمان طولانی شدن دور آبیاری باعث افزایش تعداد غلاف در بوته گردید.

در مجموع از این نتایج می‌توان استنباط نمود که بسته به هدف ما از کشت سویا (استفاده از علوفه یا برداشت دانه سویا)، اگر هدف استفاده از علوفه برای خوراک دام باشد، توصیه به محلول پاشی سیلیس می‌شود و اگر هدف برداشت دانه سویا باشد، با توجه به اینکه پرولین با حفاظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش باعث افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه آن افزایش عملکرد دانه گیاه شده، توصیه به محلول پاشی پرولین می‌گردد.

۴-۴- پیشنهادات

۱. استفاده از محلول پاشی سیلیس و پرولین در مراحل مختلف رشد گیاه بررسی گردد تا موثرترین و مناسب‌ترین زمان برای تیماردهی مشخص گردد.

۲. اعمال تیمارهای محلول پاشی به دفعات ممکن است نتایج جالب توجهی را بدست آورد.

منابع

افکاری، ا. ۱۳۸۸. زراعت گیاهان صنعتی. ۵۳ ص.

اکرم قادری، ف.، کامکار، ب. و سلطانی، ا. ۱۳۸۷. علوم و تکنولوژی بذر (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۵۱۲ص.

آلیاری، ه. ۱۳۷۹. دانه‌های روغنی زراعت و فیزیولوژی. انتشارات عمیدی تبریز، ۱۸۲ص.

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

امام، ی. و ثقه الاسلامی، م. ۱۳۸۴. عملکرد گیاهان زراعی و فیزیولوژی و فرآیندها. شیراز، انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۹۳ ص.

امام، ی. و نیک‌نژاد، م. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. چاپ دوم، شیراز، انتشارات دانشگاه شیراز، ۵۷۱ ص.

ایزانلو، ع.، حسین زاده، ع. و مجنون حسینی، ن. ۱۳۸۱. تعیین بهترین شاخص‌های مقاومت به خشکی در ارقام تجاری سویا. چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج، موسسه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج.

تایز، لینکن و زایگر. ۱۳۸۲. فیزیولوژی گیاهی جلد دوم. ترجمه دکتر محمد کافی و همکاران، مشهد. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۳۷۹ ص.

جلیلیان، ع.، قبادی، ر. و فرینیا، ا. ۱۳۸۹. بررسی اثرات سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، شاخص برداشت و کارائی مصرف آب ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط متفاوت رطوبتی. همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان)، دانشکده کشاورزی.

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

حاج حسنی اصل،ن. و رسائی فر، م. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر عملکرد علوفه و برخی صفات زراعی ارزن، سورگوم و ذرت در کشت تاخیری. مجله پژوهش‌های به‌زراعی، جلد ۲، شماره ۱، ص: ۶۳-۷۴.

حاج غنی، ش. ۱۳۹۴. بررسی اثر سیلیسیوم در بهبود مقاومت به خشکی ارزن علوفه‌ای نوتریفید. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده کشاورزی.

حاجی آبادی، ح.، کشمیری، ح. و رئیسی، س. ۱۳۷۷. گزارش نهایی طرح مشترک تحقیقاتی ترویجی تراکم مناسب بوته سویا رقم ویلیامز در کشت دوم. مدیریت آموزش و ترویج سازمان کشاورزی استان گلستان، ۱۰ ص.

حبیبی، د.، اردکانی، م.ر.، محمودی، ا. و اصغر زاده، ا. ۱۳۸۹. اثر پلیمر سوپر جاذب و تقویت رشد گیاهی ریزوباکتری‌ها بر عملکرد و آسیب اکسیداتیو ذرت تحت تنش خشکی. کنفرانس بین المللی شیمی و مهندسی شیمی، ص: ۲۵۳-۲۵۷.

حداد، ر. و مشیری، ز. ۱۳۸۹. تاثیر سیلیکون در افزایش تحمل به خشکی در مرحله دوبرگی گیاه جو، ژنتیک نوین، ۵ (۴)، ص: ۴۷-۵۸.

خدام زاده، ا.ع.، دانشیان، ج. و حمیدی، ا. ۱۳۸۶. بررسی اثر اکوفیزیولوژیک تنش خشکی بر خصوصیات بذر و گیاه ارقام ولاین‌های سویا. دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین (پیشوا).

خشوعی، س.، زرغامی، ر.، مشهدی اکبر بوجار، م.، اویسی، م.، مدنی، ا. و طریق الاسلامی، م. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر کم‌آبی و تراکم بوته بر عملکرد دو رقم سویا در منطقه ورامین. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ۲ تا ۴ مرداد، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی ایران، ص: ۴۶۶۴-۴۶۶۷.

خواجویی نژاد، غ.، کاظمی، ح.، آلیاری، ه.، جوانشیر، ع.، آروین، م.، ۱۳۸۴. تاثیر رژیم های آبیاری و تراکم کاشت بر عملکرد, کارآیی مصرف آب و کیفیت دانه سه رقم سویا در کشت تابستانه در شرایط آب و هوایی کرمان. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۹، شماره ۴، ص: ۱۳۷-۱۵۱.

خواجه پور، م.ر. ۱۳۸۵. گیاهان صنعتی (چاپ سوم). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۵۸۰ ص.

خوشگفتارمنش، ا.ح. ۱۳۸۶. مبانی تغذیه گیاهی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۸۵ ص.

دانایی، م. ۱۳۷۸. ارزیابی از ژرم پلاسم سویا و دسته بندی بر اساس عملکرد، اجزای عملکرد و گروه‌های رسیدگی در ناحیه کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، کرج.

دانشیان، ج. ۱۳۷۹. بررسی الگوی تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا در شرایط تنش خشکی. هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج.

دانشیان، ج.، هادی، ح. و جنوبی، پ. ۱۳۸۸. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۵۵۰ ص.

درویژه، ح.، زواره، م. و قاسم نژاد، م. ۱۳۹۶. تاثیر محلول پاشی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی بابونه آلمانی در شرایط تنش آبی. نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی، دوره چهارم، شماره اول، ص: ۳۵-۶۰.

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

رستم زاده کلیبر، م.، فربودی، م.، حسین زاده مقبلی، ا.ه. و رزمی، ن. ۱۳۹۰. اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کشت دوم ارقام سویا در منطقه مغان. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، سال پنجم، شماره ۲۰، ص: ۱۵-۲۸.

رضایی راد، ه.، هوشمند، ع.، ناصری، ع.، سیاهپوش، م. ۱۳۹۳. تاثیر تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت در حضور سطح ایستابی کم عمق در شرایط اقلیمی اهواز. مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۱، ص: ۵۵-۶۶.

زارع، م.، زینالی خانقگاه، ح. و دانشیان، ج.۱۳۸۳. ارزیابی تحمل برخی ژنوتیپ‌های سویا به تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. دوره ۳۵، شماره ۴، ص: ۸۵۹-۸۶۷.

سلطان دهقان، م. ۱۳۷۵. بررسی برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و زراعی ارزن در شرایط خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

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

شاهمرادی، ش. ۱۳۸۲. بررسی اثرات تنش خشکی روی صفات کمی و کیفی ارقام و لاین‌های پیشرفته سویا. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

شاهمرادی، ش.، زینالی خانقاه، ح.، دانشیان، ج.، خدابنده، ن. و احمدی، ع. ۱۳۸۸. بررسی اثرات تنش خشکی در ارقام و لاین‌های پیشرفته سویا با تاکید بر شاخص‌های تحمل به تنش. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، دوره۴۰، شماره ۳، ص: ۹-۲۲.

طباطبایی، س.ع. و دهقان هراتی، ح. ۱۳۹۱. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سورگوم دانه‌ای. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال چهارم، شماره شانزدهم.

عباس زاده، ب.، شریفی عاشورآبدی، ا.، لباسچی، م.، نادری حاجی باقرکندی، م. و مقدسی، ف. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی بادرنجبویه. دو ماهنامه علمی پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، شماره ۴، دوره ۲۳، ص: ۵۰۴-۵۱۳.

فرجی، ا.، رئیسی، س.، کیانی، ع.، یونس آبادی، م.، صادق نژاد، ح.، کیا، ش. و باقری، م. ۱۳۹۵. تولید سویا در استان گلستان. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، ۳۰ص.

فلاح، ا. ۱۳۸۰. نقش سیلیس در گیاهان. انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور، ۳۲ص.

کارگر، س.م.ع.، قنادها، م.، بزرگی‌پور، ر.، خواجه احمد عطاری، ا.ع. و بابایی، ح. ۱۳۸۳. ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در تعدادی از ژنوتیپ‌های سویا در شرایط آبیاری محدود. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۵، شماره ۱، ص: ۱۲۹-۱۴۲.

کافی، م. و مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۶۷ ص.

کریم زاده، ه.، نظامی، ا.، کافی، م.، تدین، م. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات هدایت روزنه‌ای، دمای سایه انداز گیاهی و آب و برگ ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی در شرایط کم آبیاری. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال هشتم، شماره ۳۰، ص: ۱۰۵-۱۲۰.

کوچکی، ع.، بنایان، م. ۱۳۷۳. عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کوچکی، ع.، بنایان، م. ۱۳۷۶. زراعت حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۳۶ ص.

کوچکی، ع. و خواجه حسینی، م. ۱۳۸۷. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۵۵۰ ص.

کوچکی، ع.، سرمدنیا، غ.ح. ۱۳۸۶. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۴۰۰ص.

گالشی، س. و بیات ترک، ز. ۱۳۸۴. بررسی اثر تنش کم آبی پس از گرده افشانی بر قدرت بذر حاصله دو رقم گندم. نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره دوزادهم، شماره ۶، ص: ۱۱۳-۱۱۹.

گلچین، م. ۱۳۸۳. بررسی اثر سیلیس و ازت بر روی رشد و عملکرد برنج در شرایط گلدانی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه (گروه زیست شناسی)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

لطیفی، ن. ۱۳۷۲. زراعت سویا (ترجمه). چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۸۲ ص.

محسن بیگی، ا.، نصرتی، م.، اویسی، م. و طریق الاسلامی، م. ۱۳۸۹. بررسی اثر تنش خشکی و محلول پاشی کود آهن در مرحله گلدهی بر میزان عملکرد دانه، پروتئین و روغن دانه در گیاه سویا. همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشا روغنی، خرداد ماه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد.

محقق، پ.، خوشگفتار منش، ا.ح.، شیروانی، م. و قاسمی، س. ۱۳۸۸. تاثیر تغذیه سیلیسیوم بر رشد و عملکرد دو ژنوتیپ خیار در سیستم هیدروپونیک. اولین کنگره ملی هیدروپونیک و تولیدات گلخانه‌ای، دانشگاه صنعتی اصفهان، ص: ۷۲-۷۳.

محمدی نسب، ع.د.، قاسمی گلعذانی، ک.، احتری، ب. و زهتاب سلماسی، س. ۱۳۸۴. تاثیر زمان‌های مختلف آبیاری بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های دو رقم سویا. دومین کنفرانس بین المللی رویکردهای یکپارچه برای حفظ و بهبود تولیدات گیاهی در شرایط تنش خشکی، ایتالیا.

میرزایی، ح. ۱۳۸۳. پروتئین سویا. نشر علوم کشاورزی.

ناصری، ف. ۱۳۷۰. دانه‌های روغنی (ترجمه). انتشارات آستان قدس رضوی.

نصری، م. و خلعتبری، م. ۱۳۸۹. بررسی تراکم کاشت و عنصر سیلیس بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک در کلزا هیبرید. خلاصه مقالات همایش ملی دستاوردهای نوین در تولید گیاهان با منشا روغنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد.

نصری، م.، خلعتبری، م.، پاک نژاد، ف.، حسن پور، ج. و کسرایی، پ. ۱۳۸۷. تاثیر سطوح مختلف محلول پاشی عنصر سیلیسیوم و تراکم کاشت بر خصوصیات کمی کلزا در شرایط آب و هوایی ورامین. فصلنامه دانش کشاورزی ایران، جلد ۵، شماره ۳، ص: ۳۱۵-۳۲۵.

یارنیا، م. ۱۳۹۰. فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ۴۶۸ ص.

Abd EL-Aziz N.G., Mazher Azz A.M., EL-Habba E. 2006. Effect of foliar spraying ascorbic acid on growth and chemical constituents of Khaya senegalensis growth under salt condition. American Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 3: 207-214.

Abd Elhamid, E. M., Sadak, M. S. and Tawfik, M.M. 2016. Physiological response of Fenugreek plant to the application of proline under different water regimes. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 7(3): 580-594.

Ahmadi, M.R., H. Zeinali Khaneghah, M.A. Rostami, and R. Choughani. 2000. Genetic characteristics and development methods of soybean, peanut and sesame. Agricultural Sciences of Iran. 4: 891-907. (In Persian).

Ali Q., Ashraf M., Athar H.R. 2007. Exognously applied proline at different growth stges enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. Pakistan Journal of Botany, 39: 1133-1144.

Amal, A. H., Abdel-ghafar, M. S., Abu-Elsaoud Amr, A., Elkelish Mohamed, A. S. and Abdelrazek, E. M. 2015. Role of external proline on enhancing defense mechanisms of *Vicia Faba L.* against ultraviolet radiation. American-Eurasian Journal of Sustainable Agricuture. 9(8): 22-34.

Asghar, Ali., Muhammad. Tahir., Muhammad. Ather. Nadeem., Asif. Tanveer. Muhammad. Asif., Allah. Wasaya., Jamil. Ur. Rehman1. 2009. Effect of Different Irrigation Management Strategies on Growth and Yield Soybean. Pak. j. life soc. Sci., 7(2):181-184.

Ashraf, M., Foolad, MR. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. Environmental and Experimental Botany 59(1): 206-216.

Ashton, J. D. and Deshpal, S. V. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. The Plant Journal. 4(2): 215-223.

Aspinall, D. and Paleg, L. G. 1981. Proline accumulation: The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Australia Journal. 205–241.

Bates, I.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free praline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Blum, A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation 20(2):135- 148.

Board. J. E. 2002. A regression model to predict soybean cultivar yield performance soybean cultivar .yield performance at late planting dates. Agron. J. 94: 483- 492.

Brevedan, R. E., D. B. Egli. 2003. Short period of water strees during seed filling .leaf senesence and yield of soy bean . crop. sci. 43:2083-2088.

Callaham, D. A. and J. G. Torrey. 1978. Isolation and cultivation in vitro of the actinomycete causing root nodulation in competition. Crop Sci. 199: 899-902.

Chapman H.D. and Pratt D.F, 1961. Methods of analysis of soil, plant, and water. Univ. Calif., Div. Agric. Sci. PP. 60-68.

Chinnusamy, V., Jagendorf, A. and Zhu, J.-K. .2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science. 45: 437-448.

Claussen, W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. Plant Science. 168: 241-248.

Corrales, I., Poschenrieder, C. and Barcello, J. 1997. Influence of silicon pretreatment on aluminum toxicity.in maize roots. Plant and Soil 199: 203- 209.

Datnoff, L. E., Synder, G. H., Korndorfer, G.H.2001. Silicon in agriculture Elseviier, Amesterdam.Pp:285. Sangster, A.G, Hodson, M.J. 1986. Silica in higher plants. Pp. 90-111. In Evered, D., Oconer, M. (eds). Silicon Biochemistry, Cibafound. Symp. 121, Wiley, Chichester, U.K.

Deivanai S., Xavier R., Vinod V., Timalata K., Lim O.F. 2011. Role of exogenous proline in ameliorating salt stress at early stage in two rice cultivars. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 7 (4): 157-174.

Desclaux, D., Tung-Thanh., H., Roumet, P., 2000. Identification of soybean characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Science. 40, 716–722.

Doss. B.D., Pearson, R.W. and Rogers, H.T. 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agron. J. 66: 297-299.

Eduerdo, E., Esculante, J. and Wilcox, R.W. 1993. Variation in seed protein among nodes of normal and high protein soybean genotypes. Agron. J. 75: 590-595.

Elawad, S. H., Gascho, G. J. and Street, J. J. 1982. Response of sugarcane to silicate source & rate. Growth & Yield. Agronomy Journal, 74: 481- 484.

Epstien, E. 1999. Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641-664.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development,29(1), 185–212.

FAO. 2020. From http://www.fao.org/.

Feher, W.R. and Caviness, C.E. 1977. Stage of soybean development. Lowa state. Uni. Press. PP: 80.

Frederick, J.R., Camp, C.R., Bauer, P.J., 2001. Drought stress effect on branch and main stem seed yield of soybean. Crop Science. 41, 759– 763.

Galves Lher, M. and Igor, A. 2005. Evidence for carbon flux short age and strong carbon\nitrogen interaction in nodules at early stage of water stress. J. Exp. Bot. 65: 2551-2561.

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

Garner, E. R. 1998. Genotypic variation of nitrogen fixation in soybean. Crop Sci. 161, 123-128.

Ghorayshy, S.R., Monroe, R. and Pendleton, J.W. 1971. The thirsty soybean. Agric. Exp. Stn. Res. 12: 5-6.

Ginzberg, I., Stein, H., Kapulnik, Y., Szabados, L., Strizhov, N., Schell, J., Koncz, C., and Zilberstein, A. 1998. Isolation and characterization of two different cDNAs of Δ1-pyrroline-5-carboxylate synthase in alfalfa, transcriptionally induced upon salt stress. Plant molecular biology, 38: 755-764.

Gong, H., Zhu. X., Chen. K., Wang , S. & Zhang, C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Science. 169: 313-321.

Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Romheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L. and Cesco, S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta (L.) Laterr*) plants. Plant Physiology and Biochemistry 56: 14-23.

Gunes, A., Pilbeam, D. J., Inal, A., & Coban, S. 2008. Infl uence of silicon on sunfl ower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(13-14), 1885-1903.

Henderson, D.W. and Miller, R.J. 1973. Irrigation. In: B.H. Beard and P.F. Knowles (eds.), Soybean research in California. Agric. Exp. Stn., Bull. 862: 34-40.

Hiscox, J.D. and Israelstom, G.F. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57: 1332-1334.

Hofer, M., P. 1. Schweiger., W. Hartl. 2009. Influence of irrigation on organic soybean production in the dry regions of eastern Austria. 1 Bio Forschung Austria, Rinnbockstrase. 15, 1110 Wien, Austria.

Hoque, M. A. 2013. Mitigation of salt stress by enhancement of antioxidant defense systems with proline in rice. BAU Research Proceedings. 23: 17-18.

Hoque, M. A., Okuma, E., Banu M. N. A., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., Murata, N. 2007. Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than exogenous betaine by increasing antioxidant enzyme activities. Journal Plant Physiology 164(5):553-561.

Jekendra, Y. 1999. Physical and morphological properties of forage crops with reference to cutting. Archivos de. Zootcnia, 48, 75-78.

John, M.G. 2001. Drought stress in soybeans. http://www.uwex.edu/ces/cty/mauitowoc/Ag papers/Drought stress soybean.pdf.

Jones, L.H.P., and Handreck K.1969. Silica in sails, plants and animals. Journal of Advances in Agronomy.19:107-149.

Kang, Sh., W. Shi, and J. Zhang. 2000. An improved water use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. Field Crops Research. 67: 207- 214.

Katarzyna Możdżeń, Bartosz Bojarski, Grzegorz Rut, Grzegorz Migdałek, Peter Repka, Andrzej Rzepka. 2015. Effect of drought stress induced by mannitol on physiological parameters of maize (*Zea mays L.)* seedlings and plants**.** Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences 2021 (2021): 86-91**.**

Kato, N. and Owa, N. 1990. Dissolution mechanism of silicate slag fertilizers in paddy soils. In: international congress of soil science, 14. Kyoto: 4: 609-610.

Kaufman, P.B., Dayanandan, P., Franklin, C.I., and takeoka, Y. 1985. Structure and function of silica bodies in the epidermal system of grass shoots. Annals of Botang. 55:487-507.

Ketchum, R. E., Warren, R. S., Klima, L. J., Lopez-Gutiérrez, F., and Nabors, M. W. 1991. The mechanism and regulation of proline accumulation in suspension cell cultures of the *halophytic grass Distichlis spicata L.* Journal of plant physiology. 137: 368-374.

Khan, A. G. 2002. The Significance of Microbes. In: Wong, M.H., Bradshaw, A.D. (Eds.), The Restoration and Management of Derelict Land: Modern Approaches. World Scientific Publishing, Singapore, pp.80-92.

Khan, W., Prithiviraj, B., and Smith, D. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Plant Physiology. 160: 485-92.

Kiyosue, T., Yoshiba, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., and Shinozaki, K. 1996. A nuclear gene encoding mitochondrial proline dehydrogenase, an enzyme involved in proline metabolism, is upregulated by proline but downregulated by dehydration in Arabidopsis. The Plant Cell Online. 8: 1323-1335.

Kokuban, M., Shimada, S., Takahashi, M., 2001. Flower abortion caused by parenthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. Crop Science. 4, 1517–1521.

Kowalczyk, K. and Zielony, T. 2008. Effect of aminoplant and asahi on yield and quality of lettuce grown on rockwool. Conference of Biostimulators in Modern Agriculture, 7-8 February 2008, Warsaw, Poland.

Kumudini, S., Hume, D.I. and Chu, G. 2002. Genetic improvement in shortseason soybean (nitrogen accumulation remobilization and partitioning). Crop Sci. 42: 141-145.

Kuznetsov, V. V. and Shevyakova, N. 1999. Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation. Russian Journal of Plant Physiology. 46: 274-287.

Lack, Sh., Naderi, A., Siadat, S.A., Ayeneband, A. and Nour–Mohammadi, G. 2007. Effect of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid SC. 704

at different nitrogen rates and plant population. J. Agric. Science Natural Resources. 14(2): 63-76.

Langemeier, M. and R. Purdy, 2019. International Benchmarks for Soybean Production. Center for Commercial Agriculture, Purdue University, May 2019.

Lawlor D.W. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata versus metabolism and the role of ATP. Annals of Botany, 89. 1-15.

Lensen, A. 2012. Soybean response to drought. retrived june 22, 2012. [onlin] department of agronomy. IOWA state University, From: www.crops.extension.iastate.edu**.**

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

Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., and Ding, R. 2007. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stressed barely (*Hordeum vulgar L.).* Journal of Plant Physiology 160: 1157-1164

Liang ,Y.1992. Effects of silicon on enzyme activite and sodium, potassiumand calcium consentration in barely under salt stress.Journal of plant & soil. 209:217-224.

Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., and Ding, R. 2007. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stressed barely (*Hordeum vulgar L*.). Journal of Plant Physiology 160: 1157-1164.

Liu F, Andersen MN and Jensen CR (2004) Root signal controls pod growth in drought-stressed soybean during the critical, abortion-sensitive phase of pod development. Field Crop Research. 85: 159-166.

Liu, Y., 2004. Physiological regulation of pod set in soybean (*Glycine max L. Merr*.) during drought at early reproductive stages. Ph.D. Dissertation. Department of Agricultural Sciences. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen. Denmark.

Lutts, S., Kinet, J. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa L.*) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany. 78: 389-398.

Mahmoudi, M., Samavat, S., Mostafavi, M., Khalighi, A. and Cherati, A. 2014. The Effects of Humic Acid and Proline on Morphological Properties of Actindia Deliciosa cv. Hayward under Salinity. Journal of Applied Science and Agriculture. 9(1):261-267.

Mansour, M. M. F. 1998. Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. Plant Physiology and Biochemistry. 36: 767-772.

Mansour, M. M. F. 2000. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. Biology Plant. 43: 491-500.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plant. Academic press. London.

Masdjidin, S., Sumaryanto. 2003. Estimating soybean production efficiency in irrigated Area of brantas river basin. indonesian journal of agricultural science. 4(2): 33-39.

Mattioni, C., Lacerenza, N. G., Troccoli, A. De Leonadis, A. M. and Di Fonzo. M. 1997. Water and salt stress-induced alterations in proline metabolism of Triticum durum seedlings. Physiologia plantarum. 101(4): 787- 729.

Mayaki, W.C., Tear, I.D. and Stone, L.R. 1976. Top and root growth of irrigated soybeans. Crop Sci. 16(1): 4-92.

Ma, J.F. and Takahashi, E. 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan, Elsevier Science.275 pp.

Ma, J.F , and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants.TRENDS in plant science.Vol.11 No.8.

Ma, J. F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S., Katsuhara, M., Ishiguro, M., Murata, Y. & Yano, M. 2006. A silicon transporter in rice. Nature, 440(7084), 688-691.

McCallum, M.H., Peoples, M.B. and Connor, D.J. 2000. Contribution of nitrogen by field pea (*Pisum sativum L.*) in a continuous cropping sequence compared with lucerne (*Medicago sativa L.*). Based Pasture Ley in the Victorian Wimmera. Aust. J. Agric. Res. 51: 13-22.

Mckeague, J.A., and Cline, M.G. 1963. Silica in Soil Solution. II. The absorption of monosilicic acid by soil and by other substances. Can.J.Soil Sci. 43: 83-46.

MC. Kerise, B.D., Murnagham, J., Jones, K.S. and Bowley, S.R. 2000. Ironsuperoxide dismutase expression in transgenic Alfalfa increase winter survival without a Detectable Increase in photosynthetic oxidative stress tolerance. Plant physiol. 22: 1427-1838.

Meyer, R.F. and Boyer, J.S. 1972. Sensitivity of cell division and cell elongation to low water potentials in soybean hypocotyls. Planta 108: 77-87.

Moran, J.F., Becana, M., Ormeatxe, I.I., Frechilla, S., Klucasc, R.V.L. and Tejo, D.A, 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. Planta. 194: 346-352.

Morshed, R. M., M. M. Rahman., M. A. Rahman. 2008. Effect of nitrogen on seed byield, protein content and nutrient uptake of soybean (*Glycine max L.*). J. Agric. Rural Dev. 6: 13 – 17.

Munier, N. G., B. Ney., C. Duthion. 1993. Sequentioal development of flower and seed on the main stem of an indeterminate soybean. crop sci. 33: 768-771.

Ober, E.S. and Sharp, R.E. 2003. Electrophysiological responses of maize roots to low water potentials: relationship to growth and ABA accumulation. J. Exp. Botany. 54(383): 813-824.

Okuma E., Murakami, Y., Shimoishi, Y., Tada, M. and Murata, Y. 2004. Effect of exogenous application of proline and betaine on the growth of tobacco cultured cells under saline conditions. Soil Science and Plant Nutrition 50(8):1301-1305.

Oncel, I., Keles, Y. and Ustun, A.S. 2000. Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. Environmental Pollution, 107: 315-320.

Orcutt, D. M, Nilsen, E. T. 2000. Physiology of plants under stress: Soil and biotic factors, Wiley, New York.

Pilon-Smits, E. A., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. 2009. Physiological functions of benefi cial elements. Current Opinion in Plant Biology, 12(3), 267-274.

Qinghua, S. H. and Zhujun, Z. 2008. Effect of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany. 63: 317-326.

Rajendrakumar, C. S., Reddy, B. V., Reddy, A. R. 1994. Proline-protein interactions: protection of structural and functional integrity of M4 lactate dehydrogenase. Biochemical and Biophysical Research Communications,201(2), 957–963.

Rashad EL-Sherbeny, M. and Telxira da Silv, J. A. 2013. Foliar treatment with proline and tyrosine effect the growth and yield of beetroot and some pigments in beetroot leaves. Journal of Horticultural Research. 21(2): 95-99.

Ravari, Z. and Hum, D.J. 2003. Performance of a superior Bradyrhizombium Japonicum and selected Sinorhizobium Ferdii strain with soybean cultivar. Agron.J. 84: 1051-1056.

Rayapati, P. J., and Stewart, C. R. 1991. Solubilization of a proline dehydrogenase from maize (*Zea mays L*.) mitochondria. Plant physiology. 95: 787-791**.**

Rontein, D., Basset, G. and Hanson, A. D. 2002. Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. Metabolic Engineering 4: 49- 56.

Salekjalali, M., Haddad, R. & Jafari, M. 2012. Effects of Soil Water Shortages on the Activity of Antioxidant Enzymes and the Contents of Chlorophylls and Proteins in Barley. American-Eurasian Journal of Agricaltural and Environmental Science, 12 (1) : 57-63.

Sharma, S. S., & Dietz, K. J. 2006. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. Journal of Experimental Botany, 57(4),711–526**.**

Shree, Singh. P.2007. drought resistance in the race Durango dry bean landraces and cultivars. agronomy journal. 99: 1219-1225.

Siddique, A., Islam, R., Hoque, A., Hasan, M., Rahman1, T. M. and Uddin. M. M. 2015. Mitigation of salt stress by foliar application of proline in rice. Universal Journal of Agricultural Research. 3(3): 81-88.

Skriver, K. and J Mundy, J. 1990. Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress. Journal Plant Cell. 2(6): 503–512.

Sposito, G. 1989. The Chemistry of soils. Oxford University Press, New York.

Suriyan, C. and Chalermpol, K. 2009. Proline Accumulation, Photosynthetic Abilities and Growth Characters of Sugarcane (*Saccharum officinarum L.*) Plantlets in Response to Iso-Osmotic Salt and Water-Deficit Stress. Agricultural Sciences in China. 8(1): 51-58.

Takahashi, E. and Miyake, Y. 1977. Silica and plant growth. Proc. Int. Semin. Soil. pp: 603-611.

Tarumingkeng RC and Coto Z. 2003. Effects of drought stress on growth and yield of soybean. Science Philosopy PPs 702, Term paper, Graduate School, Borgor Agricultural University (Institute Ppertanian Bogor), December 2003.

Turner, N. C. Jones, M. M. 1998. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. Plant Physiology. 78-103.

Vlamis, J. and Williams, D.E. 1967. Manganese and silicon interaction in the gramineae. Plant and soil, 27:131-140.

Wallace, A. 1993. Participation of silicon in cation-anion balance as a possible mechanism for alluminum and iron tolerance in some gramineae. Journal of Soil Science & Plant Nutirition.16:547-553.

Westgate, M. E., M. E. Otegui, and F. H. Andrade. 2004. Physiology of the corn plant. In: W. C. Smith, J. Betrán, and E. Runge (eds.), Corn: origin, history, technology and production. John Wiley and Sons. 235- 271.

Whitt, D.M. 1954. Soybean irrigation studies in Missouri. Soybean Dig. 19: 10-11.

Wilson, J.R. 1983. Effect of water stress on invitro dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. Australia Journal Agriculture Research. 34: 377-390.

Wung, D., M.C. Shanon, and C.M.Grieve. 2001. Salinity reduces radiation absorption and use efficiency in soybean. Field crop Research. 69: 267-277.

Yoshida, S., Narasero, S.A. and Ramirez, A. 1969. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characteristics of the rice plant. Plant and soil. 31: 46-56.

Yousry, M. M., El-Mesirry, D. S. and Shama, M. A. 2015. Effect of Proline on Resistance of Potato Crop (*Solanum tuberosum L.*) for the Negative Effects of Water Irrigation Salinity. Current Science International. 4(1): 172-177.

Zaifnejad, M., Clark, A. B. and Sullivan, C. Y. 1997. Aluminum and water stress effects on growth and proline of sorghum. Journal of Plant Physiology. 150(3): 338-344.

Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., and Yu, J. 2004. Silicon alleviates salt stress and ncrease antioxidant enzymes activity in leaves of salt- stressed cucumber. Journal of Plant Science 167: 527-533.

Zhu, Y., & Gong, H. 2014. Benefi cial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agronomy for Sustainable Development, 34(2), 455-472.

Zlatev, S. Z., Fernando, J. C. and Kaimakanova, M. 2012. Plant physiological responses to UV-B radiation. Emir. Journal Food Agricultural. 24(6): 481-501**.**

The role of proline and silicon on yield and yield components of soybean in different irrigation cycles (Glycine max L.)

Abstract

According to water limitation for irrigation over time and importance of drought stress in crops such as soybean, in order to analyze the effect of foliar application of silicon and proline to create tolerance of irrigation conditions and growth improvement in soybean plant, an experiment was conducted on the farm of the faculty of agriculture of Shahrood University of Technology in Bastam in the summer of 2019, in the form of a completely randomized block design with three replications. Treatment including irrigation cycles (8, 12 and 16 days), two levels of silicon (0 and 3 mM) and three levels of proline (0, 25 and 50 mM) were applied. Factors including plant dry weight, plant height, steam diameter, number of pods, number of seeds per pod, pod size, weight of one hundred grains, chlorophyll a, b and total chlorophyll, carotenoid, relative water content, stomal conductance, sodium and potassium of seed and proline were studied. The variance analysis showed that the effect of irrigation on weight of one hundred grains weight were observed in 16 and 8 days irrigation cycles, respectively. The effect of foliar application of silicon, increased plant height and plant dry weight. Also the effect of foliar application of proline, increased seed potassium and decreased stomal conductance. The interaction of irrigation and silicon foliar, increased stomal conductance and plant dry weight but decreased proline. Also the interaction of irrigation and proline foliar, increased chlorophyll a, b, total, carotenoid and grain yield. The interaction of foliar application silicon and proline, increased chlorophyll a, b and total chlorophyll but decreased proline. Also interaction of irrigation cycle, foliar application of silicon and proline increased the number of pods per plant. Therefore, according to the result, can be said that foliar application of proline has a better effect on plants than silicon.

Key words: oily plants, grain yield, irrigation, photosynthetic pigments.

Shahrood University of Technology

Faculty of agronomy science

M.Sc. Thesis

The role of proline and silicon on yield and yield components of soybean (*Glycine max L.*) in different irrigation cycles

Shahin Akef

Supervisor:
Dr.Mohammad Reza Ameriyan

Advisor:
Mr. Mehdi Rahimi

January 2022