

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشکده کشاورزی

رساله دکتری کشاورزی اکولوژیک

**تأثیر اسپرمیدین بر رشد و برخی صفات سویا در شرایط تنش خشکی**

**نگارنده: معصومه حیدرقلی نژاد کناری**

استاد راهنما:

**دکتر منوچهر قلی پور**

استادان مشاور:

**دکتر حمید عباس دخت**

**دکتر همت‌اله پیردشتی**

شهریور ۹۸

باسمه تعالی

تاریخ:

مدیریت تحصیلات تکمیلی تاریخ ویرایش:

دانشکده : کشاورزی

گروه : زراعت

رساله دکتری خانم معصومه حیدرقلی نژاد کناری به شماره دانشجویی ۹۳۰۰۴۸۵

تحت عنوان: تأثیر اسپرمیدین بر رشد و برخی صفات سویا در شرایط تنش

خشکی

در تاریخ ۱۳۹۸/۶/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ رساله دکتری ارزیابی گردید و با درجه

بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر حمید عباس دخت		نام و نام خانوادگی: دکتر منوچهر قلی پور
	دکتر همت اله پیردشتی		

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
			نام و نام خانوادگی: دکتر بهنام کامکار
	نام و نام خانوادگی: دکتر احمد غلامی		نام و نام خانوادگی: دکتر حسن مکاریان
			نام و نام خانوادگی: دکتر مهدی برادران

تقدیم به:

بارزش ترین واژه‌های زندگی‌ام

پدر و مادرم

و

تقدیم به دو گوهر زندگی‌ام

همسر مهربان و پسر عزیزم

که با همراهی خود در این مسیر بر ثبات قدمم افزوده و قلب آکنده از محبتشان پشتیبانم

بوده است. برایشان آرزوی بهترین‌ها را دارم.

## تشکر و قدردانی

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت، هر نفسی که فرو می‌رود ممد حیات است و چون برمی‌آید مفرح ذات. خداوند متعال را شاکرم که در تمامی مراحل زندگی مرا یاری نموده و مسیر تحصیل علم را بر من ارزانی داشته است.

قدردان و سپاسگزار اساتید و معلمان گرانقدری هستم که در تمام مراحل تحصیل با چراغ علم خویش مشعل دانایی و دانش را بر من برافراشته و یاری رسانم بوده‌اند.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر قلی‌پور استاد راهنمای ارجمندم که مرا از راهنمایی‌های خود بهره‌مند ساختند، از اساتید مشاور محترم جناب آقای دکتر پیردشتی که در اجرای این تحقیق از راهنمایی‌های ارزشمند ایشان بهره بسیار بردم و جناب آقای دکتر حمید عباس‌دخت کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر بهنام کامکار و جناب آقای دکتر حسن مکاریان و جناب آقای دکتر مهدی برادران فیروزآبادی که زحمت مطالعه و داوری پایان‌نامه اینجانب را متحمل شدند، صمیمانه سپاسگزارم.

در پایان از تمامی کسانی که در این راه از راهنمایی و مساعدت آن‌ها در طول این دوره تحصیل بهره‌مند شدم کمال تشکر و قدردانی داشته و توفیق و سلامتی برای همه این عزیزان را از درگاه خداوند متعال آرزومندم.

## تعهدنامه

- اینجانب معصومه حیدرقلی نژاد کناری دانشجوی دوره دکتری رشته بوم شناسی کشاورزی - آگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تأثیر اسپرمیدین بر رشد و برخی صفات سویا در شرایط تنش خشکی تحت راهنمایی جناب آقای دکتر منوچهر قلی پور متعهد می شوم.
- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
  - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
  - مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک با امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
  - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
  - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
  - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای زنده) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
  - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطالب با ید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوط ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده:

آب عامل محدودکننده رشد و نمو گیاهان زراعی است و تنش خشکی از عوامل اصلی خسارت به گیاهان زراعی در سراسر جهان است. امروزه پلی‌آمین‌ها شامل پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین پلی‌کاتیون‌های آلی با وزن ملکولی کم به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های فرآیندهای بیولوژیکی عمل حفاظت در مقابل تنش‌ها را انجام می‌دهند. در این راستا به‌منظور بررسی تاثیر اسپرمیدین بر رشد و برخی صفات سویا در شرایط تنش خشکی آزمایش دو مرحله‌ای شامل مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در شرایط آزمایشگاهی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۵ و آزمایش مزرعه در دو سال زراعی متوالی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در استان مازندران، جویبار، مرکز جهاد کشاورزی چپکرد بر روی سویا رقم کاسپین در شرایط تنش خشکی انجام شد. آزمایش جوانه‌زنی تیمارها شامل سه سطح تنش خشکی (صفر، ۲- و ۴- بار) و سه سطح اسپرمیدین (صفر، یک و دو میلی‌مولار) با ۴ تکرار بودند و سطوح مختلف تنش خشکی نیز با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول ۸۰۰۰ (PEG8000) ایجاد شد. نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین در غلظت یک میلی‌مولار باعث بهبود معنی‌دار خصوصیات جوانه‌زنی حداکثر جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی، زمان‌های رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، وزن گیاهچه و جوانه‌زنی نهایی در تنش خشکی متوسط (۲- بار) شد. غلظت بالای اسپرمیدین نتوانست باعث بهبود تحمل به تنش شدید در صفات مورد بررسی گردد. پیش‌تیمار بذر با اسپرمیدین باعث افزایش تحمل به تنش از طریق بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاهچه‌های سویا گردید. در شرایط مزرعه آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه جهاد کشاورزی چپکرد جویبار مازندران انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح (۳۰، ۵۰، ۷۰، ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح اسپرمیدین (صفر، نیم و یک میلی‌مولار) به‌عنوان عامل فرعی بودند. صفات مورد اندازه‌گیری شامل تعداد برگ، تعداد غلاف در گیاه، ارتفاع گیاه، تعداد دانه در گیاه، وزن هزار دانه، عملکرد ماده خشک تک بوته، عملکرد دانه تک‌بوته، شاخص پایداری غشاء (MSI)، محتوای نسبی آب برگ (RWC)، نشت الکترولیت (EL)، مالون دی‌آلدئید (MDA)، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )، رنگدانه‌های

فتوسنتزی، میزان پروتئین برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شامل کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گایاکول پراکسیداز (POD)، و میزان پرولین برگ بودند. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین بر روی تمامی صفات به جزء وزن دانه تاثیر معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) داشته است و بر روی میزان پرولین برگ اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که با کاهش میزان آبیاری استفاده از اسپرمیدین به خصوص در تنش‌های متوسط به بالا (آبیاری بر اساس کم‌تر از ۵۰ درصد نیاز آبی) توانست با بهبود صفات مورد بررسی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحمل گیاه به تنش را افزایش دهد.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پرولین، تابع مطلوبیت، رگرسیون چندگانه



### عنوان مقالات چاپ شده در مجلات علمی و پژوهشی:

- تاثیر پیش تیمار بذر با اسپرمیدین بر بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌های سویا تحت تنش خشکی
- تاثیر محلول پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین بر بهبود برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد سویا در شرایط کم‌آبیاری

### عنوان مقالات ارائه شده در همایش:

- تاثیر محلول پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین بر تحمل به تنش خشکی سویا رقم کاسپین در شرایط کم‌آبیاری
- بررسی اثر پلی‌آمین اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سویا در شرایط کم‌آبیاری
- تاثیر محلول پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین بر عملکرد سویا رقم کاسپین در شرایط کم‌آبیاری

## فهرست مطالب

۲	فصل اول- کلیات تحقیق .....
۲	۱-۱- مقدمه .....
۳	۳-۱- تاریخچه سویا .....
۳	۴-۱- مرفولوژی و اکولوژی سویا .....
۳	۵-۱- بیان مسئله .....
۶	۶-۱- اهداف پژوهش .....
۶	۷-۱- فرضیات پژوهش .....
۷	فصل دوم- بررسی منابع .....
۸	۱-۲- تنش خشکی .....
۸	۱-۱-۲- خسارت تنش خشکی .....
۹	۲-۱-۲- راهکارهای گیاهان برای مقابله با تنش خشکی .....
۹	۳-۱-۲- تاثیرات تنش خشکی روی گیاهان .....
۹	۱-۲-۳-۱- رشد گیاهان زراعی و عملکرد .....
۱۱	۱-۲-۳-۲- روابط آب .....
۱۲	۱-۲-۳-۳- روابط مواد غذایی .....
۱۲	۱-۲-۳-۴- فتوسنتز .....
۱۴	۱-۲-۳-۵- تخصیص مواد فتوسنتزی .....
۱۴	۱-۲-۳-۶- آسیب اکسیداتیو .....
۱۵	۱-۲-۳-۷- آنزیم های آنتی اکسیدانت .....
۱۶	۲-۲- پلیآمینها .....
۱۷	۱-۲-۲- انواع پلی آمین ها .....
۱۷	۲-۲-۲- مسیر بیوسنتز پلی آمین ها .....
۱۸	۳-۳-۲- نقش پلی آمین ها در تنش های محیطی .....
۲۱	فصل سوم- مواد و روش ها .....
۲۲	۱-۳- آزمایش جوانه زنی .....
۲۲	۱-۱-۳- تیمارها و طرح آزمایش .....

۲۲	..... نحوه انجام آزمایش	۳-۱-۲
۲۳	..... صفات مورد بررسی و روش اندازه گیری	۳-۱-۳
۲۳	..... آزمایش مزرعه ای	۳-۲
۲۳	..... محل انجام آزمایش	۳-۲-۱
۲۴	..... آزمایش خاک مزرعه	۳-۲-۲
۲۶	..... تیمارهای آزمایش	۳-۲-۴
۲۷	..... عملیات زراعی و کاشت بذر	۳-۲-۵
۲۹	..... شاخص پایداری غشاء	۳-۲-۷-۲
۲۹	..... نشت الکترولیت	۳-۲-۷-۲-۲
۲۹	..... عصاره آنزیمی	۳-۲-۷-۳-۳
۳۰	..... پراکسید هیدروژن	۳-۲-۷-۴-۴
۳۰	..... مالوندی آلدئید	۳-۲-۷-۵-۵
۳۱	..... رنگدانه های فتوسنتزی	۳-۲-۷-۶-۶
۳۱	..... پروتئین محلول	۳-۲-۷-۷-۷
۳۲	..... پرولین	۳-۲-۷-۸-۸
۳۳	..... آنزیم گایاکول پراکسیداز	۳-۲-۷-۱۰-۱۰
۳۴	..... آنزیم آسکوربات پراکسیداز	۳-۲-۷-۱۱-۱۱
۳۵	..... کمی سازی واکنش ماده خشک و شاخص برداشت به پرولین و سه آنزیم آنتی اکسیدان	۳-۲-۸
۳۷	..... فصل چهارم- نتایج و بحث	
۳۸	..... آزمون جوانه زنی	۴-۱
۴۰	..... حداکثر جوانه زنی	۴-۱-۱
۴۱	..... سرعت جوانه زنی	۴-۱-۲
۴۴	..... شاخص های $D_{90}$ ، $D_{50}$ ، $D_{10}$	۴-۱-۴
۴۴	..... طول ریشه چه	۴-۱-۵
۴۵	..... وزن گیاه چه	۴-۱-۶
۵۱	..... آزمایش مزرعه ای	۴-۲
۵۳	..... ارتفاع گیاه	۴-۲-۲
۵۶	..... تعداد غلاف در گیاه	۴-۲-۳

۵۹	۴-۲-۴- تعداد دانه در گیاه
۶۱	۵-۲-۴- عملکرد دانه
۶۴	۶-۲-۴- عملکرد ماده خشک
۶۸	۸-۲-۴- رنگدانه های فتوسنتزی
۶۸	۱-۸-۲-۴- کلروفیل a
۷۱	۲-۸-۲-۴- کلروفیل b
۷۳	۳-۸-۲-۴- کاروتنوئیدها
۷۵	۹-۲-۴- نشت الکترولیت (EL)
۷۹	۱۰-۲-۴- شاخص پایداری غشاء (MSI)
۸۳	۱۲-۲-۴- اندازه گیری مالون دی آلدئید (MDA)
۸۵	۱۳-۲-۴- پراکسید هیدروژن
۸۸	۱۴-۲-۴- پروتئین محلول
۹۰	۱۵-۲-۴- پرولین
۹۳	۱۶-۲-۴- آنزیم کاتالاز (CAT)
۹۵	۱۷-۲-۴- آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)
۹۷	۱۸-۲-۴- آنزیم گایاکول پراکسیداز (POD)
۱۱۴	منابع

## فهرست جداول

- جدول ۳-۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده ..... ۲۴
- جدول ۴-۱- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر برخی صفات ..... ۳۹
- جدول ۴-۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت گیاه چه های سویا..... ۴۰
- جدول ۴-۳- مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و اسپرمیدین بر صفات جوانه زنی رقم کاسپین سویا ..... ۴۳
- جدول ۴-۴- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد برگ سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۵۲
- جدول ۴-۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد برگ سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ... ۵۳
- جدول ۴-۶- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۵۴
- جدول ۴-۷- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری... ۵۶
- جدول ۴-۸- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد غلاف در گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۵۷
- جدول ۴-۹- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد غلاف در گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۵۸
- جدول ۴-۱۰- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد دانه در گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۶۰
- جدول ۴-۱۱- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد دانه در سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ۶۱
- جدول ۴-۱۲- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه تک بوته سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۶۲
- جدول ۴-۱۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه تک بوته سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۶۴
- جدول ۴-۱۴- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد ماده خشک تک بوته سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۶۵
- جدول ۴-۱۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد ماده خشک تک بوته سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۶۷
- جدول ۴-۱۶- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن هزار دانه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری .. ۶۸
- جدول ۴-۱۷- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل a سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۶۹

- جدول ۴-۱۸- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل a سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۰
- جدول ۴-۱۹- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل b سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۱
- جدول ۴-۲۰- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل b سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۳
- جدول ۴-۲۱- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کاروتنوئیدها سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۴
- جدول ۴-۲۲- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کاروتنوئیدهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۵
- جدول ۴-۲۳- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان نشت الکترولیت (EL) سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۶
- جدول ۴-۲۴- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان نشت الکترولیت (EL) سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۸
- جدول ۴-۲۵- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان شاخص پایداری غشاء سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۷۹
- جدول ۴-۲۶- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص پایداری غشاء (MSI) سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۸۰
- جدول ۴-۲۷- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان RWC سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۸۱
- جدول ۴-۲۸- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای نسبی آب برگ (RWC) سویا رقم کاسپین..... ۸۲
- جدول ۴-۲۹- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پراکسیداسیون اسیدهای چرب (MDA) سویا رقم کاسپین..... ۸۳
- جدول ۴-۳۰- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان مالوندیآلدئید سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۸۵
- جدول ۴-۳۱- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان  $H_2O_2$  در برگهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۸۶
- جدول ۴-۳۲- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان  $H_2O_2$  برگهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۸۷
- جدول ۴-۳۳- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین محلول برگهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری..... ۸۸

- جدول ۴-۳۴- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین محلول برگهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۸۹
- جدول ۴-۳۵- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پرولین برگهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۹۰
- جدول ۴-۳۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و اسپرمیدین بر میزان پرولین برگهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۹۱
- جدول ۴-۳۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین بر میزان پرولین برگهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری ..... ۹۲
- جدول ۴-۳۸- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان آنزیم کاتالاز ..... ۹۳
- جدول ۴-۴۰- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ..... ۹۶
- جدول ۴-۴۱- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم APX در برگهای سویا رقم کاسپین ..... ۹۷
- جدول ۴-۴۲- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز ..... ۹۸
- جدول ۴-۴۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (POD) ..... ۹۹
- جدول ۴-۴۴- مدلهای ارائه شده جهت بررسی رابطه های متغیرهای  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، پرولین ..... ۱۰۳
- جدول ۴-۴۵- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین میباشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تکبوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱ جدول ۴-۴۴} ..... ۱۰۳
- جدول ۴-۴۶- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین میباشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تکبوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۲ جدول ۴-۴۴} ..... ۱۰۴
- جدول ۴-۴۷- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین میباشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تکبوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۳ جدول ۴-۴۴} ..... ۱۰۵
- جدول ۴-۴۸- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین میباشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تکبوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۴ جدول ۴-۴۴} ..... ۱۰۵





جدول ۴-۵۹- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3$ ,  
X به ترتیب فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گاباکول پراکسیداز و پرولین میباشند. Dry matter :  
عملکرد ماده خشک تکبوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱۵ جدول ۴-۴۴}..... ۱۱۱

### فهرست شکل‌ها

- شکل ۳-۱- منحنی آمبروترمیک بلندمدت منطقه مورد آزمایش..... ۲۵
- شکل ۳-۲- منحنی آمبروترمیک منطقه مورد آزمایش در سال اول (۲۰۱۶)..... ۲۵
- شکل ۳-۳- منحنی آمبروترمیک منطقه مورد آزمایش در سال دوم (۲۰۱۷)..... ۲۶
- شکل ۴-۱- تاثیر پلی آمین اسپرمیدین بر حداکثر جوانه زنی سویا تحت تنش خشکی ..... ۴۱
- شکل ۴-۲- تاثیر اسپرمیدین بر وزن گیاهچه سویا تحت تنش خشکی ..... ۴۶
- شکل ۴-۳- تاثیر اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت کاتالاز در سویا تحت تنش خشکی ..... ۴۷
- شکل ۴-۴- تاثیر اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت پراکسیداز در گیاهچه سویا تحت تنش خشکی ..... ۴۸
- شکل ۴-۵- تاثیر اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت آسکوربات پراکسیداز در گیاهچه سویا تحت تنش خشکی ..... ۴۸
- شکل ۴-۶- اثرات ساده تنش خشکی (A) و اسپرمیدین (B) بر میزان پروتئین محلول در گیاهچه های سویا ..... ۵۰
- شکل ۴-۷- رابطه عملکرد ماده خشک مشاهده شده با عملکرد ماده خشک مورد انتظار در شرایط کم آبیاری و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۸- رابطه شاخص برداشت مشاهده شده با شاخص برداشت مورد انتظار در شرایط کم آبیاری و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۹- تابع مطلوبیت شاخص برداشت و عملکرد ماده خشک سویا در شرایط کم آبیاری و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۱۰- رابطه بین تعداد متغیرهای مستقل در مدل با ضریب تبیین در تابع مطلوبیت ..... ۱۱۲

# فصل اول

## کلیات تحقیق

## فصل اول - کلیات تحقیق

### ۱-۱- مقدمه

یکی از عمده‌ترین فرآورده‌های غذایی که تامین نیاز داخلی آن از اهمیت زیادی برخوردار است، روغن‌های خوراکی می‌باشند. دانه سویا حاوی ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین است که به عنوان مهم‌ترین منبع تولید روغن و پروتئین گیاهی محسوب می‌شود. زراعت این گیاه در ایران از نظر تامین بخشی از روغن مورد نیاز کشور مورد توجه است (دانشیان و همکاران، ۱۳۸۸). بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت سویا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در استان مازندران ۱۷۷۰ هکتار به صورت آبی و ۴۲۷۸ هکتار به صورت دیم می‌باشد که در مجموع با سطح ۶۰۴۸ هکتار حدود ۱۲ درصد سطح زیر کشت کشور را به خود اختصاص داده است. میزان تولید سویا در استان مازندران ۱۷۱۹۰ تن می‌باشد که ۱۲ درصد تولید کل کشور را شامل می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

### ۱-۲- جایگاه سویا در دنیا و ایران

بر اساس آمار منتشر شده توسط سازمان فائو، در سال ۲۰۱۶ کشور آمریکا با سطح ۳۶۲۲۸۶۶۰ هکتار و تولید ۱۱۶۹۲۰۳۰۰ تن سویا، و در سال ۲۰۱۷ با سطح زیر کشت ۳۶۲۲۸۶۶۰ هکتار و تولید ۱۱۹۵۱۸۴۹۰ تن اولین کشور بزرگ تولیدکننده این محصول در جهان می‌باشد. ایران در سال ۲۰۱۶ با سطح زیر کشت سویا حدود ۵۲۴۰۶ هکتار تولیدی بالغ بر ۱۳۹۳۲۵ تن و در سال ۲۰۱۷ با سطح زیر کشت ۸۳۰۰۰ هکتار تولیدی بالغ بر ۲۰۰ هزار تن داشته است (FAOSTAT, 2017).

### ۱-۳- تاریخچه سویا

سویا یکی از دانه‌های روغنی و علوفه‌ای است که مبدا آن را آسیای شرقی می‌دانند. این گیاه متعلق به تیره پروانه‌آسا (Leguminosae) و جنس *Glycin* که دارای بیش از چهل گونه مختلف است. شکل وحشی سویا شناخته نشده اما گونه *Glycin ussuriensis* که معمولاً در سراسر آسیای شرقی پراکنده بوده از اجداد احتمالی گونه‌های زراعی امروزه محسوب می‌شوند. امروزه انواع بسیاری از سویا در سراسر دنیا به وجود آمده که مصارف مختلف دارند و متناسب با شرایط محیطی مختلف بوده و دارای رشد و نمو کاملاً متفاوت می‌باشند. سویای روغنی جزء گونه max و سویای علوفه‌ای یا وحشی جزء گونه ussuriensis می‌باشد (کریمی، ۱۳۷۵).

### ۱-۴- مرفولوژی و اکولوژی سویا

سویا (*Glycin max L.*) گیاهی یکساله است که معمولاً دارای ساقه راست همراه با انشعابات زیاد است ولی در بعضی انواع ساقه خزنده یا پیچنده دیده می‌شود. برگ مرکب سویا دارای یک دم‌برگ بلند و معمولاً کرک‌دار قرار دارد. آرایش گل به صورت خوشه کوچک که از محل محور برگ بوجود آمده و حاوی هشت تا هفده گل به رنگ‌های سفید یا ارغوانی است. میوه سویا نیام است که در روی ساقه‌های کوتاه به صورت مجتمع به تعداد ۳ تا ۱۵ عدد دیده می‌شود. هر نیام حاوی ۲-۴ عدد دانه است. بهترین خاک برای کشت سویا خاک‌های رسی- شنی است و مناطق گرم و مرطوب مثل گیلان و مازندران را بر سایر مناطق کشور ترجیح می‌دهد (کریمی، ۱۳۷۵).

### ۱-۵- بیان مسئله

امروزه کمبود آب و کیفیت پایین آن یکی از چالش‌های بزرگ کشاورزی در بسیاری از نقاط گرمسیری و معتدل جهان است (اوریکیریزا و همکاران، ۲۰۰۳). آب یک عامل محدودکننده موثر بر رشد و نمو گیاه و عملکرد در نواحی خشک و نیمه‌خشک است و گیاهان اغلب در معرض دوره‌های

تنش کمبود آب تحت عنوان تنش خشکی قرار می‌گیرند. خشکی از عوامل اصلی خسارت به گیاهان زراعی در سراسر جهان است که میانگین عملکرد را تا ۵۰٪ کاهش می‌دهد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳) و دومین عامل اصلی کاهش عملکرد بعد از عوامل بیماری‌زا به‌شمار می‌رود (فرشادفر و همکاران، ۲۰۰۳). کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین با مشکل کم‌آبی مواجه می‌باشد. رشد فزاینده جمعیت، نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی و محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی مسئله کم‌آبی را به گونه‌ای بسیار جدی فراروی کشور قرار داده است (جهان و همکاران، ۲۰۱۵). مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر رشد و نمو گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران از اهمیت بسزایی برخوردار است. مدیریت استفاده از آب در مزرعه سبب صرفه‌جویی و حفاظت از منابع محدود آب و خاک، و موجب افزایش محصول می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۵). از طرفی به‌علت افزایش هزینه آب مصرفی و کاهش آب قابل دسترس در این مناطق، توجه زیادی به مدیریت تنش آبی شده است. کم‌آبیاری که در آن گیاه در مرحله‌ای خاص از رشد و یا در تمام فصل رشد تحت تنش آب قرار می‌گیرد، یکی از راه‌های به‌حداکثر رساندن کارآیی مصرف آب به ازای یک واحد آب مصرفی می‌باشد (سیدیکو و همکاران، ۲۰۰۰).

پلی‌آمین‌ها در گروه آمین‌های آلیفاتیک هستند که در همه قسمت‌های موجودات زنده وجود دارند و در دامنه گسترده‌ای از فرآیندهای زیستی شامل رشد و نمو گیاه و پاسخ به تنش دخالت دارند. میزان پلی‌آمین‌ها به طور معنی‌داری با تنش محیطی تغییر می‌نماید، لذا این فرضیه وجود دارد که آن‌ها قسمتی از سازوکار دفاعی بر علیه تنش هستند. چون میزان پلی‌آمین‌ها در طول سازگاری به تنش در انواع گیاهان افزایش می‌یابد، لذا آن‌ها در این فرآیندها درگیر می‌شوند (مولتو و بزکاک، ۲۰۱۳). یکی از سازوکارهای تحمل به تنش، تجمع پلی‌آمین‌ها در سلول‌های گیاهی است. مطالعات در سال‌های اخیر روی پیدا کردن نقش پلی‌آمین‌ها جهت حفاظت گیاهان در مقابل تنش‌های متنوع محیطی متمرکز شده است. کمبود آب در خاک، یک فاکتور اصلی برای محدود کردن عملکرد گیاهان

زراعی است و فهم سازو کار مولکولی در کنترل واکنش اسمزی مفید می‌باشد تا تحمل اسمزی در گیاهان زراعی افزایش یابد. تنش اسمزی از رشد گیاه جلوگیری می‌کند و گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد. گونه‌های فعال اکسیژن با پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA واکنش می‌دهند و پراکسیداسیون لیپید غشاء آغاز می‌شود (باسو و همکاران، ۲۰۱۰). کاربرد پلی‌آمین‌ها یک راه مؤثر برای افزایش تحمل به تنش اسمزی در گیاهان زراعی است. پلی‌آمین‌ها می‌توانند به طور غیرمستقیم به عنوان خنثی‌کننده‌های فعال اکسیژن عمل نمایند (ورما و میشر، ۲۰۰۵).

در سال‌های اخیر مطالعات نشان داده است که میزان پلی‌آمین‌های داخل گیاه با محلول‌پاشی غلظت مناسبی از پلی‌آمین‌های خارجی افزایش می‌یابد که قادرند کارآیی فتوسنتز را در چندین تنش محیطی بهبود بخشند. در واقع استفاده از پلی‌آمین‌ها تحمل علیه چندین تنش غیرزنده را بهبود می‌بخشند (مولتو و بزکاک، ۲۰۱۳). در آزمایش‌های مختلف نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش تحمل به تنش کم‌آبی در گیاهان سویا و نخود (نیار، ۲۰۰۵)، لوبیا (لگوکا و کلاک، ۲۰۰۵)، جو (کوییس، ۲۰۰۳) و همچنین افزایش تحمل به تنش شوری در برنج (چتوپادهایای و همکاران، ۲۰۰۲) مشاهده شده است. در استان مازندران کشت سویا به صورت بهاره و تابستانه صورت می‌گیرد که اغلب در طول دوره تابستان با حداقل یک دوره تنش خشکی مواجه می‌شوند. از این‌رو با توجه به مشکل تنش خشکی و تأثیر سوء این تنش محیطی بر عملکرد و کیفیت سویا، در کنار انتخاب ارقام متحمل به تنش، انجام مطالعات مختلف در جهت دستیابی به روش‌ها و ترکیبات مناسب از جمله ترکیبات پلی‌آمین‌ها جهت کاهش آثار سوء این تنش بر عملکرد و کیفیت محصول ضروری می‌باشد.

رقم کاسپین دورگ (حاصل تلاقی ارقام هیل و تلار) رقمی با قابلیت رشد سریع و دارای مقاومت نسبی به تنش خشکی بوده که به عنوان رقم تابستانه، به‌خصوص برای کشت دیرهنگام بعد از برداشت برنج‌های زودرس در استان مازندران کشت می‌شود (عرب و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به این‌که کمبود رطوبت یکی از عوامل محدود کننده رشد سویا است (دانشیان و همکاران، ۱۳۸۸)، در این پژوهش به بررسی تاثیر پلی‌آمین اسپرمیدین بر روی سویا تحت تنش خشکی از مرحله جوانه‌زنی

در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه پرداخته شد و واکنش گیاه به اسپرمیدین از لحاظ برخی صفات مورد ارزیابی قرار گرفت.

#### ۱-۶- اهداف پژوهش

- ۱- بررسی تاثیر پیش تیمار بذر با پلی آمین اسپرمیدین بر بهبود خصوصیات جوانه زنی سویا و فعالیت برخی آنزیم های آنتی اکسیدانت گیاهچه های سویا تحت تنش خشکی
- ۲- تاثیر محلول پاشی اسپرمیدین بر عملکرد و اجزاء عملکرد سویا در شرایط کم آبیاری (مطالعه مزرعه ای)
- ۳- تاثیر محلول پاشی اسپرمیدین بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی و فعالیت برخی آنزیم های آنتی اکسیدانت در شرایط کم آبیاری (مطالعه مزرعه ای)

#### ۱-۷- فرضیات پژوهش

- ۱- استفاده از پلی آمین اسپرمیدین باعث کاهش اثرات منفی کم آبیاری بر عملکرد سویا می گردد.
- ۲- پلی آمین اسپرمیدین در شرایط کم آبیاری با بهبود فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت منجر به افزایش تحمل به خشکی در سویا می گردد.



# فصل دوم

## بررسی منابع

## فصل دوم - بررسی منابع

### ۲-۱- تنش خشکی

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که هر ساله خسارت قابل‌توجهی به محصولات زراعی وارد می‌نماید (الیاری و همکاران، ۲۰۰۰). کمبود آب می‌تواند اثر سوئی بر عملکرد گیاهان بگذارد، ولی این اثر به رقم، مرحله نمو و سازگاری گیاه به خشکی بستگی دارد (نصری و همکاران، ۲۰۰۶). شدت خشکی غیر قابل پیش‌بینی است، چون به فاکتورهای زیادی مانند وقوع و توزیع بارندگی، میزان تبخیر، ظرفیت ذخیره و رطوبت خاک بستگی دارد.

### ۲-۱-۱- خسارت تنش خشکی

کمبود آب موجب کاهش انتقال دی‌اکسید کربن به کلروپلاست شده که کاهش گشودگی روزنه‌ها یکی از علت‌های آن می‌باشد. مقاومت داخلی سلول‌های مزوفیل منجر به کاهش جریان دی-اکسیدکربن به کلروپلاست می‌شود و هنگامی که آب برگ‌ها کم می‌شود فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد (هال، ۲۰۰۳). تخریب فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی، کاهش رشد، کاهش میزان رنگدانه‌های کلروفیل و میزان آب گیاه از پیامدهای تنش خشکی است. جذب عناصر غذایی در گیاهان تحت تاثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد که علت آن کاهش تعرق و کم شدن نفوذپذیری غشاء سلولی در نتیجه کاهش قدرت جذب ریشه می‌باشد (ایفگلو و همکاران، ۲۰۰۹).

محدودیت در جذب  $CO_2$  که از طریق بسته‌شدن روزنه ایجاد می‌شود باعث عدم تعادل بین فعالیت فتوشیمیایی (PS(II) و نیاز الکترونی چرخه کلوین-بنسون می‌گردد. این امر منجر به وقوع بازدارندگی نوری در مرکز واکنش (PS(II) می‌شود (ایفگلو و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات مزرعه‌ای نشان داده است که تنش خشکی منجر به آسیب به کمپلکس (PS(II) می‌شود و غیر فعال شدن مرکز واکنش (PS(II) با تخریب پروتئین  $D_1$  همراه است (کرنیک، ۲۰۰۰؛ اسکاتنیکا و همکاران، ۲۰۰۰). در نتیجه آسیب به (PS(II) و تخریب زنجیره الکترون فتوسنتزی، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) افزایش

نشان می‌دهد که این امر آسیب اکسیداتیو را به دنبال دارد (هاکالا و همکاران، ۲۰۰۵؛ نیسی‌یاما و همکاران، ۲۰۰۶).

## ۲-۱-۲- راهکارهای گیاهان برای مقابله با تنش خشکی

گیاهان دارای سازوکارهای حفاظتی متعددی به‌منظور جلوگیری از تاثیر مخرب گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) هستند. اکثر گیاهان با تنش خشکی از طریق سنتز و تجمع تعدادی مواد مقابله می‌نمایند، که اغلب با تعدیل اسمزی مرتبط هستند که می‌توان به تجمع یون‌ها و محلول‌های سازگار، افزایش سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، حفاظت یا تخریب پروتئین‌ها یا ساختارهای مولکولی از قبیل کاپرون‌ها، دی‌هیدرین‌ها، پروتئازها و سنتز اسید آبسزیک اشاره کرد (ایفگلو و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از سازوکارهای دفاع غیرآنزیمی برای مقابله با تنش اکسیداتیو القاء شده توسط خشکی در گیاهان، تجمع ترکیبات فنلی است. ترکیبات فنلی به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (اسکارو و کیبر، ۲۰۰۲). واکنش گیاهان به تنش خشکی در سطح اندام‌های مختلف به طور معنی‌داری متفاوت است که بستگی به شدت، مدت تنش، مرحله نمو و نیز گونه‌های گیاهی دارد (چاوز و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۲-۱-۳- تاثیرات تنش خشکی روی گیاهان

### ۲-۱-۳-۱- رشد گیاهان زراعی و عملکرد

اولین و بیشترین تاثیر خشکی، بر روی جوانه‌زنی و استقرار گیاه می‌باشد (هریس و همکاران، ۲۰۰۲). تنش خشکی منجر به کاهش شدید جوانه‌زنی و کاهش بنیه گیاهچه می‌گردد (کایا و همکاران، ۲۰۰۶). در آزمایش فرخی و همکاران (۱۳۸۳) طی بررسی تحمل به خشکی ۱۱ ژنوتیپ سویا در مرحله جوانه‌زنی، مشاهده شد که با افزایش تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه کاهش یافت. البته ارقام مختلف سویا به‌دلیل تفاوت‌های ژنتیکی نسبت به تنش خشکی

عکس‌العمل متفاوت معنی‌دار نشان دادند. نتایج مشابه در سایر گیاهان زراعی مانند گندم (سینگ، ۲۰۰۱) نیز گزارش شده است. تنش خشکی با محدود کردن جذب آب توسط بذر، تاثیر بر حرکت و انتقال ذخایر بذر و یا با تاثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین در جنین، جوانه‌زنی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (فرخی و همکاران، ۱۳۸۳).

رشد از طریق تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول و تمایز انجام می‌شود و شامل حوادث مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و ژنتیکی است. کیفیت و کمیت رشد گیاه بستگی به این فرایندها دارد که تحت تاثیر کمبود آب قرار می‌گیرند (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹).

رشد سلول یکی از حساس‌ترین مراحل فیزیولوژیکی به تنش خشکی است که علت آن کاهش فشار آماس می‌باشد (تایز و زایگر، ۲۰۰۶). تحت کمبود شدید آب، طولی شدن سلول گیاهان با قطع جریان آب از آوندهای چوبی به سلول‌های در حال طولی شدن در اطراف آوند متوقف می‌شود. کاهش جذب آب منجر به کاهش در محتوای آب بافت می‌گردد و در نتیجه فشار آماس کاهش می‌یابد. همچنین تنش خشکی باعث کاهش جذب مواد غذایی و متابولیت‌هایی که برای تقسیم سلولی مورد نیاز هستند، می‌شود. در نتیجه کاهش میتوز، طولی شدن سلول و توسعه آن منجر به کاهش رشد می‌گردد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). اختلال در میتوز، طولی شدن سلول و توسعه آن منجر به کاهش ارتفاع گیاه، سطح برگ و رشد گیاه زراعی در شرایط خشکی می‌شود (کایا و همکاران، ۲۰۰۶؛ حسین و همکاران، ۲۰۰۸). سه سازوکار اصلی کاهش عملکرد در اثر کمبود آب در خاک عبارتند از (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹):

۱) کاهش جذب تابش‌های فعال فتوسنتزی توسط کانوپی

۲) کاهش کارایی استفاده از تابش خورشیدی

۳) کاهش شاخص برداشت

دو پاسخ مهم گیاه به تنش خشکی کاهش سطح برگ و افزایش نسبت ریشه به ساقه است. در تنش خشکی، پاسخ برگ نسبت به ریشه و ساقه بیشتر است. قابلیت دسترسی به آب نقش مهمی در ساختار برگ دارد. کاهش تعداد و سطح برگ در شرایط تنش خشکی سبب کاهش ناحیه سطحی تعرق، افزایش جذب آب از خاک و در نهایت مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود. کاهش سطح برگ می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ باشد (اوساگو و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش نسبت ریشه به ساقه عمدتاً مربوط به کاهش بیشتر زیست‌توده اندام هوایی نسبت به ریشه در شرایط تنش خشکی است.

سیستم ریشه‌ای در جذب آب اهمیت زیادی دارد. سیستم‌های ریشه‌ای عمیق و گسترده قادرند رطوبت را از بخش‌های زیرین خاک با کارایی بالاتر جذب نمایند. بنابراین توسعه سیستم‌های ریشه‌ای سبب افزایش کارایی جذب آب از خاک می‌شود. شواهد موجود حاکی از آن است که افزایش اسید آبسزیک (ABA) در پتانسیل‌های پایین آب، اثرات متفاوتی بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی دارد، به طوری که رشد اندام هوایی را متوقف ساخته اما رشد ریشه تداوم می‌یابد (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر سویا، عملکرد دانه کاهش یافت که ناشی از کم‌شدن تعداد دانه و وزن هزار دانه بوده است. طی دوره گلدهی و پرشدن دانه، تنش خشکی می‌تواند سبب توقف گلدهی شده، در نتیجه تشکیل دانه، درصد روغن و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (فرجی، ۱۳۹۳).

## ۲-۱-۳-۲- روابط آب

محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای، میزان تعرق، دمای برگ و دمای کانوپی همگی خصوصیات مهم هستند که بر روابط آب گیاه تأثیر می‌گذارند. کاهش قابلیت دسترسی به آب، باز و بسته‌شدن روزنه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر آن، تغییر در دمای برگ یک فاکتور مهم در کنترل وضعیت آب برگ تحت تنش خشکی است. گونه‌های متحمل به خشکی، کارایی مصرف آب را از طریق کاهش از دست‌رفتن آب حفظ می‌نمایند. با وجود این،

زمانی که رشد گیاه بیشتر تحت تاثیر خشکی قرار می‌گیرد، کارآیی مصرف آب به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹).

#### ۲-۱-۳-۳ - روابط مواد غذایی

کاهش قابلیت دسترسی به آب تحت شرایط خشکی معمولاً منجر به محدودیت در جذب کل عناصر غذایی و کاهش غلظت آن‌ها در بافت گیاهان می‌گردد. تاثیر مهم کمبود آب در جذب عناصر غذایی توسط ریشه و انتقال آن‌ها به اندام هوایی منعکس می‌شود (مک ویلیامز، ۲۰۰۰؛ گرگ، ۲۰۰۳) که این کاهش به دلیل محدود شدن سرعت تعرق، آسیب رساندن به انتقال فعال و کاهش قابلیت نفوذپذیری غشایی است. جذب مواد غذایی از محلول خاک با وضعیت آب خاک ارتباط دارد، به طوری که با کاهش رطوبت خاک، جریان انتشاری مواد غذایی از خاک به سطح ریشه‌ها کاهش می‌یابد (آردنت و همکاران، ۲۰۰۱). با وجود این گونه‌های گیاهی و ژنوتیپ‌های یک گونه ممکن است در واکنش به جذب عناصر معدنی تحت تنش آب، تفاوت معنی‌داری نشان دهند.

معمولاً تنش رطوبتی باعث کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در جذب و انتقال P می‌گردد (گرگ، ۲۰۰۳). تاثیر تنش خشکی روی عناصر غذایی ممکن است با محدودیت قابلیت دسترسی به انرژی برای جذب یون‌های  $NO_3^-/NH_4^+$ ،  $PO_4^{3-}$  و  $SO_4^{2-}$  مرتبط باشد. این یون‌ها باید در فرآیندهای وابسته به انرژی به فرم‌هایی که برای رشد و توسعه گیاهان استفاده می‌شوند، تبدیل گردند (گرسمن و تاکاهاشی، ۲۰۰۱).

#### ۲-۱-۳-۴ - فتوسنتز

یکی از تاثیرات اصلی خشکی کاهش در فتوسنتز است که ناشی از کاهش در توسعه برگ، تخریب مکانیزم فتوسنتزی و پیری قبل از بلوغ برگ می‌باشد و با کاهش تولید هیدرات کربن در ارتباط است (وحید و رسول، ۲۰۰۵). عوامل محدودکننده فتوسنتز در تنش خشکی در

دو گروه عوامل محدودکننده روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای قرار می‌گیرند. از عوامل محدودکننده غیر روزنه‌ای می‌توان به کاهش و یا توقف سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها اشاره کرد (اولیویرا نت و همکاران، ۲۰۰۹). به نظر می‌رسد که کاهش غلظت کلروفیل به دلیل اثر کلروفیل‌از، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد. کاهش محتوای کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها با افزایش تنش خشکی در لوبیا و نیشکر گزارش شده است (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۷؛ یو و همکاران، ۲۰۰۷). نقش بسته‌شدن روزنه در شرایط خشکی که جذب CO<sub>2</sub> توسط برگ‌ها را محدود می‌نماید، خیلی مهم می‌باشد. در چنین شرایطی قابلیت دسترسی به CO<sub>2</sub> منجر به آسیب در برابر نور می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). تنش خشکی تغییراتی را در رنگدانه‌ها و ترکیبات فتوسنتزی ایجاد می‌نماید (انجم و همکاران، ۲۰۰۳)، اجزاء فتوسنتزی تخریب می‌شوند و فعالیت‌های آنزیم‌های چرخه کالوین کاهش می‌یابند که دلیل کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌باشند (موناخو و چرنیادار، ۲۰۰۰).

تاثیر مهم دیگر که از رشد و توانایی‌های فتوسنتزی گیاهان جلوگیری می‌کند از دست-رفتن تعادل بین تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (پراکسید هیدروژن، سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل) و محافظت آنتی‌اکسیدانی مورد نیاز است که منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود و تنش اکسیداتیو در پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و دیگر اجزاء سلولی را ایجاد می‌نماید (فو و هوانگ، ۲۰۰۱؛ ردی و همکاران، ۲۰۰۴). آنتی‌اکسیدانت‌ها ترکیباتی با وزن مولکولی کم هستند که توانایی واکنش مستقیم با انواع اکسیژن فعال و جمع‌آوری آن‌ها را دارند (ردی و همکاران، ۲۰۰۵). این متابولیت‌ها در حفظ تعادل در سلول‌ها نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند (وایدی‌ناتان و همکاران، ۲۰۰۳).

## ۲-۱-۳-۵- تخصیص مواد فتوسنتزی

تنش خشکی تخصیص ماده خشک به ریشه‌ها را افزایش می‌دهد که باعث افزایش جذب آب می‌شود (لیپورت و همکاران، ۲۰۰۸). تنش خشکی میزان فتوسنتز را کاهش می‌دهد و متابولیسم کربوهیدرات و میزان انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن (Sink) را تقلیل می‌دهد (کیم و همکاران، ۲۰۰۰). محدودیت فتوسنتزی و تجمع ساکارز در برگ‌ها ممکن است مانع از صادرات ساکارز به ارگان‌های دیگر شود و سرانجام رشد زایشی را تحت تاثیر قرار دهد. با بررسی تنش خشکی روی چم چندساله، ارزن و دو گونه کلزای علوفه‌ای گزارش شد که بالاترین ماده خشک در تیمار آبیاری کامل به دست آمد (جکوبس و همکاران، ۲۰۰۴).

## ۲-۱-۳-۶- آسیب اکسیداتیو

قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش‌های محیطی خاص اغلب منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن شامل رادیکال‌های آنیون سوپراکسید ( $O_2^-$ )، رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) و پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) می‌گردد. ممکن است گونه‌های فعال اکسیژن با پروتئین‌ها، لیپیدها و دی‌اکسی‌ریبونوکلیک‌اسید واکنش دهند که موجب اختلال در عمل طبیعی سلول‌ها گردد (فویر و فلتچر، ۲۰۰۱). اکثر اجزاء سلولی گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌کنند. با این حال، کلروپلاست از منابع مهم تولید گونه‌های فعال اکسیژن به شمار می‌رود، چون رنگدانه‌های برانگیخته در غشاء تیلاکوئید ممکن است با  $O_2$  برای تشکیل اکسیدانت‌های قوی مثل  $O_2^-$  واکنش متقابل داشته باشند (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). گونه‌های فعال اکسیژن از طریق محصولات جانبی زنجیره‌های انتقال الکترون، کلروپلاست، میتوکندری و غشاء پلاسمایی تشکیل می‌شوند (اپل و هیرت، ۲۰۰۴؛ سایریم و همکاران، ۲۰۰۵). رابطه تولید گونه‌های فعال اکسیژن با شدت تنش خشکی خطی است که منجر به افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تجزیه اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها می‌شود (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹).



## ۲-۱-۳-۷- آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

گیاه در شرایط تنش خشکی میزان ترکیبات اسمزی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مثل پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را افزایش می‌دهد تا از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری نماید. با وجود این با افزایش تنش فرآیندهای مخرب اکسیداتیو مثل پراکسیداسیون لیپیدها، تجزیه کلروفیل، اکسیداسیون پروتئین و آسیب به اسیدهای نوکلئیک رخ داده و منجر به مرگ سلول می‌شود (یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۴).

کاتالاز از شناخته‌شده‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت است که نقش مهمی در جمع‌آوری پراکسید هیدروژن و کاهش اثرات تخریبی آن در پراکسی‌زوم، گلی‌اکسی‌زوم و میتوکندری ایفا می‌کند (سکین و همکاران، ۲۰۱۰). با فعالیت این آنزیم، پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن تبدیل می‌شود (بلوکینا و فارگرس، ۲۰۱۰). همچنین پراکسید هیدروژن حاصل از اکسیداسیون اسیدهای چرب و تنفس نوری در پراکسی‌زوم‌ها توسط کاتالاز جمع‌آوری می‌شود (میتلر، ۲۰۰۲). این آنزیم میل ترکیبی بسیار بالایی با پراکسید هیدروژن دارد و در هیچ غلظتی از پراکسید هیدروژن به حد اشباع نمی‌رسد. همچنین، آنزیم کاتالاز از دیگر دهنده‌های الکترون نظیر متانول، اتانول، و اسید فرمیک، هیدروژن دریافت نموده و پراکسید هیدروژن را به آب تبدیل می‌نماید. (سکین و همکاران، ۲۰۱۰).

آسکوربات پراکسیداز نقش حیاتی در سازوکارهای دفاعی گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو دارد. این آنزیم، پراکسید هیدروژن را در کلروپلاست، سیتوسول، میتوکندری و پراکسی‌زوم سلول‌های گیاهی از بین می‌برد (آسادا، ۲۰۰۶). همکاری بین آنزیم‌ها در جمع‌آوری انواع اکسیژن فعال ضروری است. ابتدا سوپراکسید دیسموتاز، رادیکال سوپراکسید را به اکسیژن و پراکسید هیدروژن کاتالیز می‌نماید و پراکسید هیدروژن از طریق آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز تجزیه می‌شود. آنتی‌اکسیدانت‌هایی مانند آسکوربات و گلوتاتیون در خنثی‌سازی ROS اساساً از طریق چرخه Halliwell-Asada نقش دارند که  $H_2O_2$  را خنثی می‌نماید (شهاب و همکاران، ۲۰۱۰).

در میان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی، آسکوربات از بهترین ترکیباتی است که برای اکثر فرآیندهای متابولیکی در سلول‌های گیاهی موردنیاز است. آسکوربات به عنوان یک آنتی‌اکسیدانت عمل می‌نماید و سلول‌ها را بر علیه تنش اکسیداتیو حفظ می‌نماید. اسید اسکوربیک توانایی حذف گونه‌های مختلف فعال اکسیژن مانند اکسیژن منفرد، سوپراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل را دارند. اسید اسکوربیک یک آنتی‌اکسیدانت محلول در آب اصلی در برگ‌های گیاهان می‌باشد (شهاب و همکاران، ۲۰۱۰).

کاتالاز و پراکسیدازها نقش اساسی در خنثی‌سازی سمیت  $H_2O_2$  دارند. ترکیب عمل سوپر-اکسیددیسموتاز و کاتالاز رادیکال سوپراکسید و پراکسید هیدروژن را به آب و ملکول اکسیژن تبدیل می‌نماید. بنابراین از آسیب سلولی تحت شرایط نامساعد نظیر تنش خشکی جلوگیری می‌نماید (نوکتور و همکاران، ۲۰۰۰؛ ردی و همکاران، ۲۰۰۰).

در مجموع تنش خشکی می‌تواند سه نوع تاثیر متقابل با گیاه داشته باشد (شانکت و همکاران، ۲۰۱۴):

- ۱) تغییر در بیان ژن‌هایی که در بقاء گیاهان نقش دارند.
- ۲) کاهش در تولید پروتئین که به عنوان یک تاثیر مستقیم تنش خشکی، ممکن است منجر به آسیب به گیاه شود یا به عنوان قسمتی از یک مکانیزم منجر به تحمل به تنش در گیاه گردد.
- ۳) تغییر در ذخیره متابولیکی که منجر به تولید متابولیت‌های جدید در نتیجه ایجاد مقاومت یا تحمل به تنش خشکی شود.

## ۲-۲- پلی‌آمین‌ها

در سال‌های اخیر نقش پلی‌آمین‌ها در تنظیم رشد و نمو گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است. پلی‌آمین‌ها برای رشد گیاه ضروری هستند و در جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، نمو گل و میوه و فرآیندهای سلولی مثل تقسیم سلولی، طولیل‌شدن، تکرار، نسخه‌نویسی، ترجمه، پایداری دیواره سلولی

و غشاء نقش دارند (حسین و همکاران، ۲۰۱۱). این ترکیبات در pH سلولی به عنوان کاتیون‌ها عمل می‌نمایند و با ماکرومولکول‌های آنیونی مانند DNA، RNA، فسفولیپیدها و پروتئین‌ها تاثیر متقابل دارند. این ترکیبات با بافرهایی که در مقابل تغییرات pH مقاومت می‌نمایند، قابل مقایسه هستند.

#### ۲-۲-۱- انواع پلی آمین‌ها

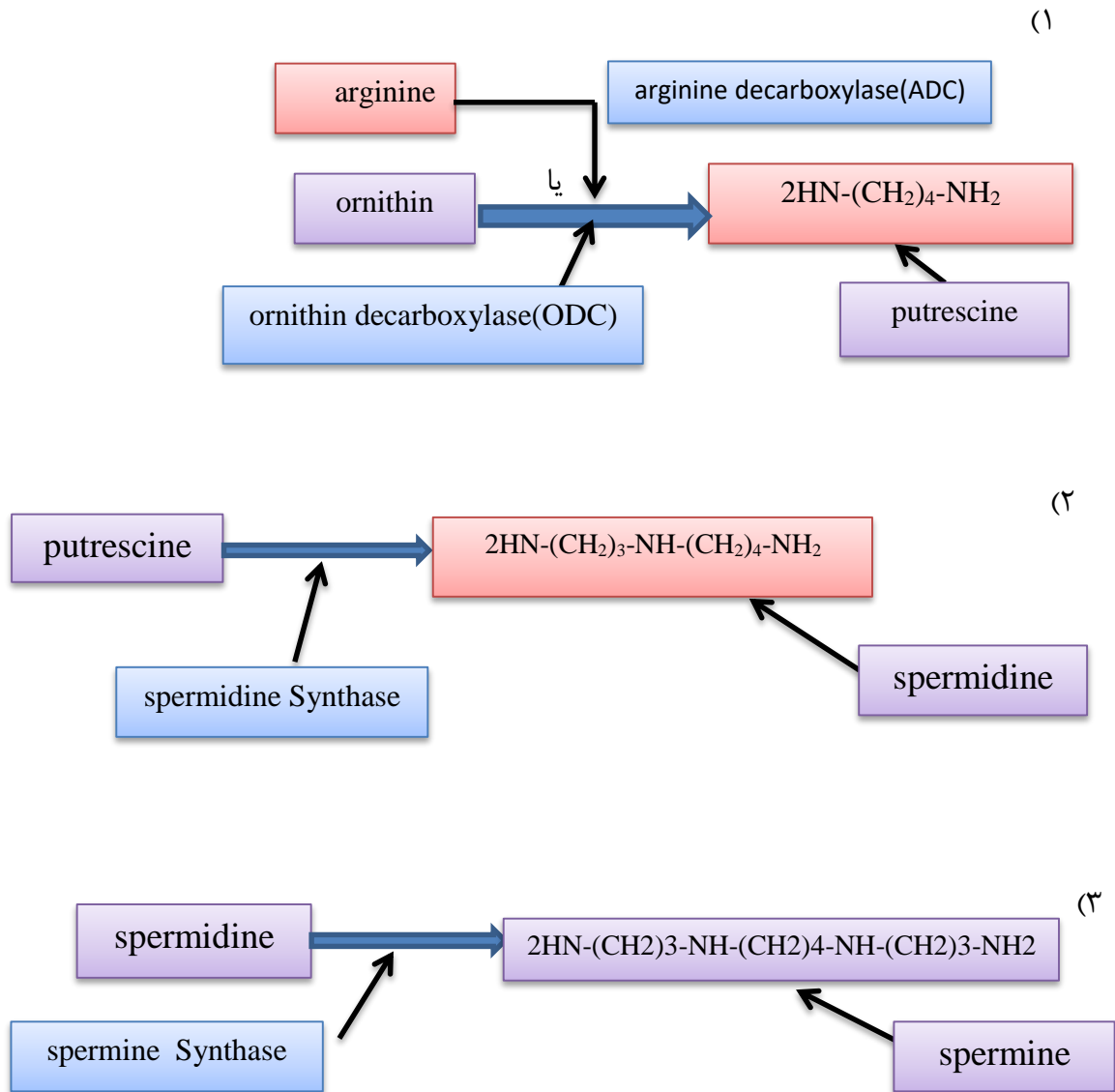
فرم‌های اصلی پلی آمین‌ها شامل پوتریسین، اسپرمین و اسپرمیدین می‌باشند و در همه سلول‌های گیاهی وجود دارند. پلی آمین‌های غیرمعمول نظیر ۱ و ۳ دی آمینو پروپان، هومواسپرمیدین و ۴ آمینو بوتیل کاداورین وجود دارند که متفاوت از پلی آمین‌های معمول بوده و در طیف وسیعی از موجودات شامل گیاهان، جلبک‌ها، باکتری‌ها و حیوانات وجود دارند. آن‌ها به فرم محلول و نامحلول در آب هستند (پندی و همکاران، ۲۰۰۰؛ کویی و همکاران، ۲۰۰۴). پلی آمین‌های معمول برای رشد طبیعی همه اندام‌ها ضروری هستند. این ترکیبات به بارهای منفی اجزاء فسفولیپیدی یا دیگر جاهای آنیونی در غشاء‌ها متصل شده، بنابراین پایداری خصوصیات چنین غشاء‌هایی را تغییر می‌دهند (پندی و همکاران، ۲۰۰۰).

در بافت گیاهان پلی آمین‌ها به شکل متصل با مولکول‌های آلی دیگر و یا به شکل آزاد وجود دارند. از میان پلی آمین‌ها انواع متصل شده با مولکول‌های دیگر از اهمیت بیشتری در مقاومت به تنش برخوردارند. اتصال پلی آمین‌های آزاد به درشت‌مولکول‌ها موجب حفاظت آن‌ها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو می‌شود در حالی که نقش پلی آمین‌های آزاد عمدتاً در تعادل اسمزی و pH سلولی است (مارتین - تانگوی، ۲۰۰۱).

#### ۲-۲-۲- مسیر بیوسنتز پلی آمین‌ها

دکربوکسیلاسیون اورنیتین یا آرژینین منجر به تشکیل دی آمین پوتریسین می‌گردد. اسپرمیدین و اسپرمین در اثر اضافه شدن گروه‌های آمینو پروپیل به ترتیب به پوتریسین و اسپرمیدین

ایجاد می‌شود (کوزانو و همکاران، ۲۰۰۸). خلاصه مسیر بیوسنتز پلی‌آمین‌ها به صورت زیر است (مارتین-تانگوی، ۲۰۰۱؛ گروپا و بناویدز، ۲۰۰۸):



### ۲-۳-۳- نقش پلی‌آمین‌ها در تنش‌های محیطی

در میان تاثیرات متعدد تنش خشکی تولید زیاد گونه‌های فعال اکسیژن خیلی مهم است که به‌طور جدی به ساختار و کارکرد غشاءهای سلولی آسیب می‌زنند (فاروق و همکاران، ۲۰۱۰). همه نوع

تنش‌های غیرزنده موجب تنش اکسیداتیو می‌شوند. تاثیر آنتی اکسیداتیو پلی آمین‌ها به علت خصوصیت اتصال آن‌ها به کاتیون‌ها و آنیون‌ها است که منجر به خنثی‌سازی یک رادیکال می‌شود و قادر به جلوگیری از واکنش‌های پراکسیداسیون چرب و اکسیداسیون کاتالیز شده با فلز می‌باشند. پوتریسین، اسپرمین و اسپرمیدین همگی میزان رادیکال‌های سوپراکسید را که در نتیجه پیری سلول گیاه تولید می‌شوند، کاهش می‌دهند. در میان موادی که قادرند از سلول‌های گیاهی در برابر اکسیداتیو حفاظت نمایند، پلی آمین‌ها می‌توانند نقش خاصی را در جلوگیری از صدمات اکسیداتیو نوری داشته باشند (گروپا و بناویدز، ۲۰۰۸). پلی آمین‌های درون گیاه به عنوان یک هورمون مطرح نیستند ولی کاربرد خارجی آن‌ها می‌تواند فرآیندهای متنوع فیزیولوژیکی، مرفولوژیکی و بیولوژیکی را تحت تاثیر قرار داده و به عنوان یک تنظیم کننده رشد مورد استفاده قرار گیرند (فرجادی شکیب و همکاران، ۱۳۹۲).

در بررسی تاثیر پلی آمین پوتریسین بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت در گیاه بنگ‌دانه در شرایط تنش خشکی، استفاده از پوتریسین ۰/۱ میلی مولار باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی شدید و افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط خشکی ملایم گردید (زمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

در پیاز، تیمار گیاه با پوتریسین ۲ میلی مولار، ۲۴ ساعت قبل از ایجاد شرایط غرقابی، منجر به کاهش اثرات تنش در گیاه گردید. پوتریسین با افزایش سیستم‌های آنتی اکسیدانی منجر به کاهش رادیکال‌های آزاد سوپراکسید و پراکسید هیدروژن شده و در نتیجه صدمات اکسیداتیو ناشی از شرایط غرقابی را کاهش داد (یو و همکاران، ۲۰۰۹).

در شرایط بدون تنش محلول پاشی اسپرمیدین با غلظت ۲۰ میلی مولار باعث بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گل سیکلامن ایرانی گردید (فرجادی شکیب، ۱۳۹۱).

در بررسی تاثیر محلول پاشی اسپرمین به همراه اسید سالیسیلیک و براسینواستروئیدها بر روی برنج تحت تنش خشکی، استفاده از اسپرمین منجر به رشد بهتر برنج و حفاظت در برابر آسیب

اکسیداتیو گردید. محلول پاشی اسپرمین میزان  $H_2O_2$  برگ، مالون دی آلدئید (MDA) و نفوذپذیری غشاء را کاهش داد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش داد. به نظر می‌رسد کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها باعث بهبود تحمل به تنش خشکی از طریق بهبود جذب  $CO_2$  خالص تحت شرایط تنش می‌گردد. تاثیر پایدار این ترکیبات بیشتر برای رشد گیاه و فتوسنتز تحت شرایط تنش می‌باشد (فاروق و همکاران، ۲۰۱۰).

در آزمایش طلعت و همکاران (۲۰۱۵) بر روی ذرت تحت تنش خشکی، استفاده از اسپرمیدین به میزان  $25 \text{ mg/l}$  و اپی‌براسینولید به مقدار  $1 \text{ mg/l}$  بیشترین رشد و عملکرد دانه را داشته، که حاکی از نقش مثبت آن‌ها در تحمل به تنش خشکی است. محلول پاشی اسپرمیدین از تاثیرات مضر تنش آب کاسته و به‌طور قابل ملاحظه‌ای رشد و عملکرد گیاه ذرت را افزایش داد.

اثر آنتی‌اکسیدانی پلی‌آمین‌ها به ویژگی کاتیونی آن‌ها مربوط است که باعث حذف رادیکال‌های آزاد شده و در نتیجه قادر به مهار پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشند. با این حال شواهد و داده‌های ضد و نقیضی در مورد نقش آنتی‌اکسیدانی پلی‌آمین‌های خارجی موجود است. در برخی موارد این ترکیبات به‌عنوان اکسیدان و القاء‌کننده تنش و گاهی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان و کاهش‌دهنده رادیکال‌های آزاد معرفی شده‌اند. دلیل تفاوت در نقش این ترکیبات که بستگی به نوع پلی‌آمین‌ها و شرایط کاربرد آن‌ها دارد، روشن نیست (گروپا و بنویدس، ۲۰۰۸). از این‌رو این پژوهش جهت بررسی تأثیر محلول پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین بر افزایش تحمل به تنش خشکی بر سویا، با اعمال کم‌آبیاری انجام شد.

# فصل سوم

## مواد و روش‌ها

## فصل سوم- مواد و روش‌ها

### ۳-۱- آزمایش جوانه‌زنی

در مرحله اول پژوهش تأثیر پلی‌آمین اسپرمیدین بر جوانه‌زنی سویا (رقم کاسپین) در شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دمای کنترل‌شده  $25^{\circ}\text{C}$  انجام شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸).

### ۳-۱-۱- تیمارها و طرح آزمایش

تیمارهای آزمایش شامل سطوح پتانسیل آب (صفر، ۲- و ۴- بار) و پیش‌تیمار پلی‌آمین اسپرمیدین (Sigma-Aldrich) در سه غلظت صفر، یک و دو میلی‌مولار در چهار تکرار اعمال شدند. برای ایجاد پتانسیل‌های ۲- و ۴- بار از پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG8000) به ترتیب به میزان ۱۳۷ و ۲۰۰ گرم در لیتر بر اساس رابطه میچل و کافمن (۱۹۷۳) و برای شاهد از آب مقطر استفاده گردید.

### ۳-۱-۲- نحوه انجام آزمایش

بذر سویا (رقم کاسپین) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران تهیه و به تعداد ۵۰ بذر در ظروف پتری به قطر ۹۰ میلی‌متر قرارداده شدند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸). از کاغذ صافی جهت بستر و پوشش روی بذر استفاده گردید. سپس تیمارها اعمال و در این مدت طی دو بار در روز بذرهای مورد بازبینی قرار گرفتند. در صورت خشک‌شدن بستر بذر در طول آزمایش تیمارها شامل آب مقطر و محلول‌های تهیه‌شده اضافه گردید (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸). معیار بذرهای جوانه‌زده، خروج ریشه‌چه حداقل به اندازه دو میلی‌متر در نظر گرفته شد (فرخی و همکاران، ۲۰۰۴).



### ۳-۱-۳- صفات مورد بررسی و روش اندازه گیری

صفات زمان‌های رسیدن به ۱۰ درصد (D<sub>10</sub>)، ۵۰ درصد (D<sub>50</sub>) و ۹۰ درصد (D<sub>90</sub>) جوانه‌زنی، حداکثر جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، و وزن خشک گیاهچه اندازه‌گیری شد. درصد، سرعت جوانه‌زنی و نیز صفات D<sub>10</sub>, D<sub>50</sub>, D<sub>90</sub> با استفاده از برنامه Germin محاسبه گردید. این برنامه پارامترهای مورد نظر برای هر مشاهده را از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌نماید (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱). سرعت جوانه‌زنی (R<sub>50</sub>) از طریق رابطه (۳-۱) محاسبه گردید (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱):

$$R50 = \frac{1}{D50} \quad (\text{رابطه ۳-۱})$$

شمارش روزانه بذره‌های جوانه‌زده تا زمان ثابت‌ماندن تعداد آنها ادامه یافت (مرادی دزفولی و همکاران، ۲۰۰۸). بعد از آن، گیاهچه‌های نرمال به مدت دو روز در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون (مدل BM 750) قرار داده و سپس وزن خشک گیاهچه با ترازویی به دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

### ۳-۲- آزمایش مزرعه‌ای

#### ۳-۲-۱- محل انجام آزمایش

آزمایش در مزرعه به صورت اسپلینت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی متوالی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در مرکز جهاد کشاورزی چپک‌رود جویبار (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ با ارتفاع ۲۱ متر پایین‌تر از سطح دریای آزاد) در استان مازندران انجام شد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن (Demartounne) نواحی شرق مازندران دارای اقلیم مدیترانه‌ای می‌باشند (اداره کل هواشناسی مازندران، ۱۳۹۴).

### ۳-۲-۲- آزمایش خاک مزرعه

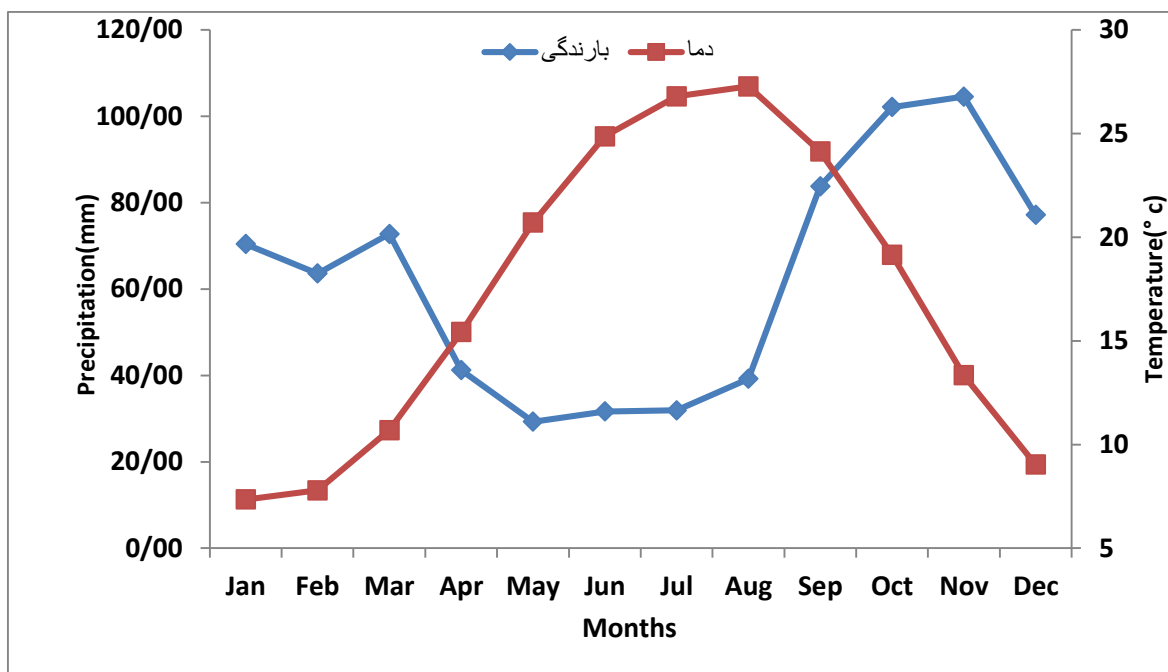
قبل از اجرای آزمایش، از خاک مزرعه نمونه‌ای از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱-۳). کود مورد نیاز بر اساس نتایج آنالیز خاک و انجام مشاوره با متخصصان حاصلخیزی خاک انجام و به خاک اضافه گردید.

جدول ۱-۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

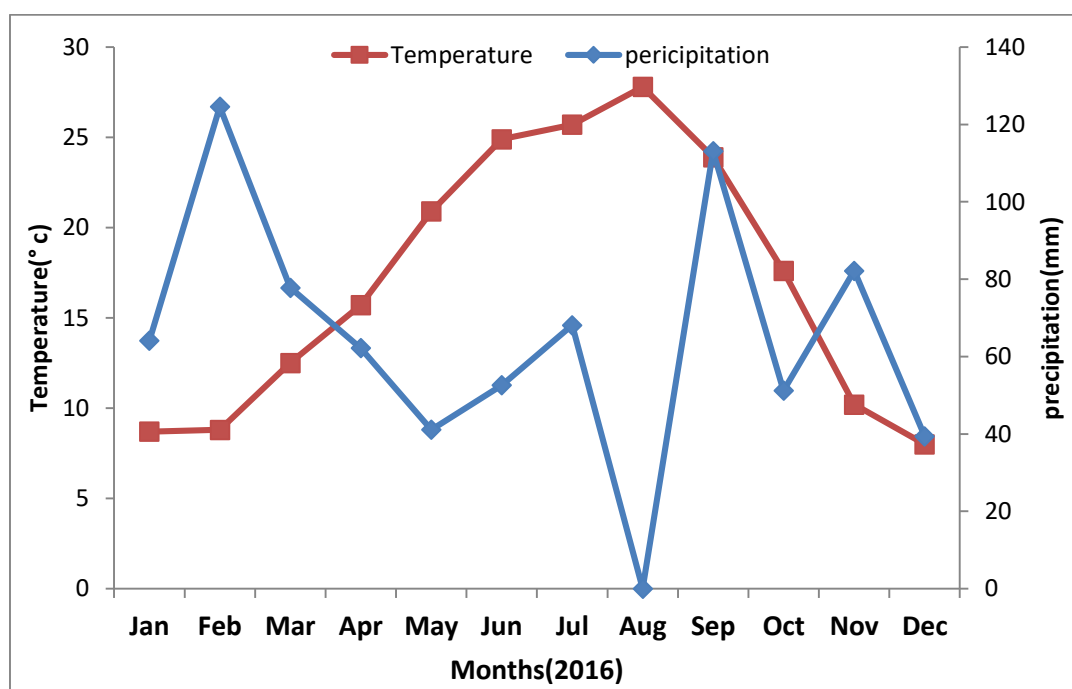
depth(cm)	Soil Text.	Organic Matter (%)	Organic Carbon (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	EC(dS/m)	pH
0-30	Clay	2.02	1.17	18	38	44	1.24	7.76

### ۳-۲-۳- شرایط اقلیمی در محل آزمایش:

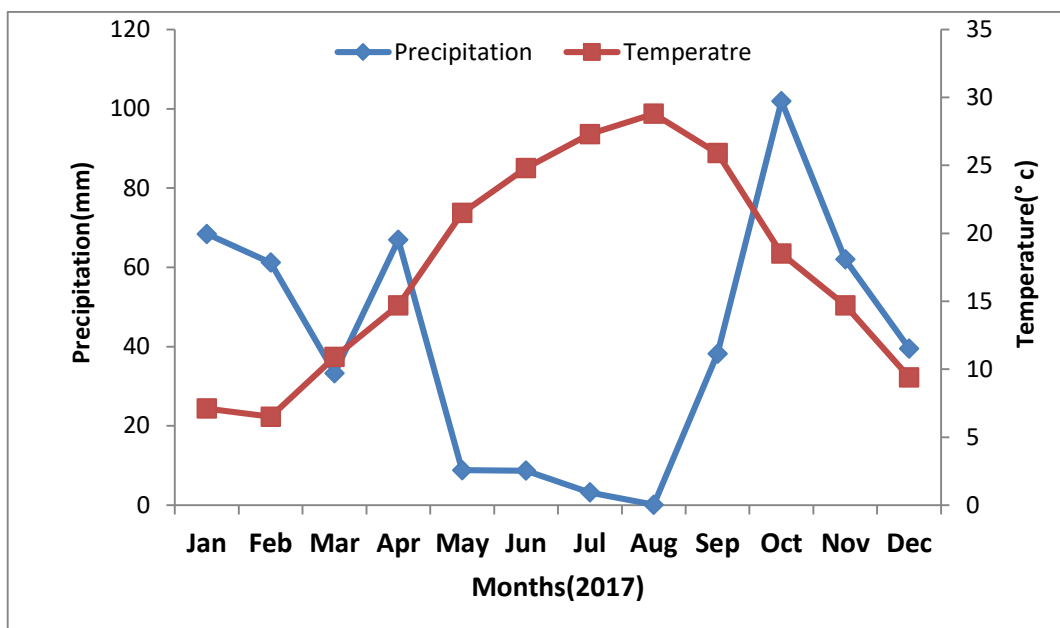
منحنی آمبروترمیک منطقه مورد آزمایش بر اساس داده‌های بلندمدت میزان بارندگی و دمای ماهانه در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. بیشترین دما در اواخر ماه خرداد و فصل تابستان است که همراه با کمترین میزان بارندگی در طول سال رخ می‌دهد. منحنی آمبروترمیک در سال‌های آزمایش حاکی از پایداری دما نسبت به دمای درازمدت منطقه بوده اما میزان بارندگی متفاوت می‌باشد {شکل‌های (۲-۳) و (۳-۳)}. میزان بارندگی، عامل مؤثر در انتخاب کشت سویا در منطقه مورد آزمایش به‌خصوص در کشت تابستانه می‌باشد.



شکل ۳-۱- منحنی آمیروترمیک بلندمدت منطقه مورد آزمایش



شکل ۳-۲- منحنی آمیروترمیک منطقه مورد آزمایش در سال اول (۲۰۱۶)



شکل ۳-۳- منحنی آمبروترمیک منطقه مورد آزمایش در سال دوم (۲۰۱۷)

### ۳-۲-۴- تیمارهای آزمایش

تیمارها شامل چهار سطح آبیاری ۱۰۰ (شاهد؛ I<sub>0</sub>)، ۷۰ (I<sub>1</sub>)، ۵۰ (I<sub>2</sub>) و ۳۰ (I<sub>3</sub>) درصد نیاز آبی برای شرایط تنش خشکی به عنوان عامل اصلی و سه سطح محلول پاشی پلی آمین اسپرمیدین شامل بدون اسپرمیدین (شاهد؛ S<sub>0</sub>)، غلظت نیم (S<sub>1</sub>) و یک میلی مولار (S<sub>2</sub>) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نیاز آبی سویا در شرایط جوینار توسط نرم افزار *Netwat* (طراحی وزارت جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی کشور) محاسبه گردید. این نرم افزار در تحقیقات مختلف کشور نیز مورد استفاده قرار گرفته است ( عزیززی و فلاح طوسی، ۲۰۰۱؛ علیزاده و کمالی، ۲۰۰۷؛ انجم شوا و همکاران، ۲۰۱۱). سیستم آبیاری به صورت قطره‌ای و جهت افزایش دقت از کنتور برای اعمال نیاز آبی (ضمیمه ۳) بر حسب تیمارهای اعمال شده استفاده گردید. با وجود تشت تبخیر در محل آزمایش، بارندگی‌های روزانه ثبت و میزان بارندگی موثر در فاصله آبیاری‌ها به حجم آبیاری‌های انجام شده، اضافه و در نهایت میزان آب مصرفی کرت‌ها محاسبه گردید (موسوی و همکاران، ۲۰۱۱).

### ۳-۲-۵- عملیات زراعی و کاشت بذر

کشت سویا (رقم کاسپین) در کرت‌هایی به ابعاد  $۲/۵ \times ۴$  متر صورت گرفت. در هر کرت چهار خط کشت با فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متر بین ردیف و ده سانتی‌متر بین دو بوته کشت شد. تاریخ کشت در هر دو سال پژوهش در تاریخ بیست و نهم خرداد (کشت تابستانه) با تراکم کشت حدود ۶۶ بوته در مترمربع بوده است. کنترل علف‌های هرز در طول مرحله رویشی قبل از استقرار گیاه و بسته‌شدن کانوپی به صورت مکانیکی انجام شد. بعد از استقرار گیاه (مرحله چهار برگ‌گی) تیمار تنش خشکی اعمال شد. محلول‌پاشی اسپرمیدین بعد از قطع یک دوره نیاز آبی در دو مرحله رویشی (هفت برگ‌گی) و مرحله گلدهی ( $R_2$ ) در غلظت‌های مورد آزمایش (نیم و یک میلی‌مولار) با حجم محلول‌پاشی ۵۰ میلی-لیتر در مترمربع انجام شد. جهت اعمال تیمار بدون اسپرمیدین (شاهد)، آب مقطر بر روی گیاه پاشیده شد.

### ۳-۲-۶- صفات مورد نظر در آزمایش:

صفات مورد اندازه‌گیری، صفات رشدی گیاه شامل تعداد برگ، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع ساقه، صفات عملکردی گیاه شامل تعداد دانه در گیاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه تک‌بوته، عملکرد ماده خشک تک‌بوته و صفات بیوشیمیایی شامل میزان محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، و برآورد نشت الکترولیت، میزان کلروفیل a، b، میزان کاروتنوئیدها، میزان پروتئین محلول، میزان پرولین، پراکسید هیدروژن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شامل کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، و اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید (شاخصی از پراکسیداسیون لیپیدها) بوده است.

### ۳-۲-۷- روش اندازه‌گیری صفات مورد نظر:

#### ۳-۲-۷-۱- صفات رشدی گیاه

تعداد برگ در زمان گلدهی شمارش شد. بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی در هر کرت پنج نمونه گیاهی انتخاب و تعداد غلاف شمارش، ارتفاع ساقه اندازه‌گیری شد.

#### ۳-۲-۷-۲- صفات عملکردی گیاه

تعداد دانه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و عملکرد دانه تک‌بوته برآورد گردید. جهت تعیین عملکرد ماده خشک تک‌بوته، بوته‌های به‌دست آمده از هر کرت را در پاکت قرار داده و در آون (مدل BM750) در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و وزن شدند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۹؛ طلعت و همکاران، ۲۰۱۵).

#### ۳-۲-۷-۳- صفات بیوشیمیایی گیاه

#### ۳-۲-۷-۳-۱- محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) برگ‌های تازه تهیه شده از هر تیمار وزن (FW) سپس در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا آب جذب نمایند و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). بعد از آن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد برای تعیین وزن خشک (DW) در آون قرار داده شدند (دسوزو و همکاران، ۲۰۱۴). میزان محتوای نسبی آب برگ از فرمول زیر به‌دست آمد:

$$RWC(\%) = \frac{FW-DW}{TW-DW} \quad (\text{رابطه ۳-۳})$$

### ۲-۳-۷-۲-۲- شاخص پایداری غشاء

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء (MSI) نمونه‌های برگ (۲۰۰ میلی‌گرم) در ده میلی-لیتر آب مقطر قرار داده شد. نمونه‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم (دستگاه بن‌ماری مدل NB-301) قرار داده شدند. سپس با EC متر (مدل Multi3407) هدایت الکتریکی آن‌ها برآورد شد (C<sub>1</sub>). گروهی دیگر از نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفته و سپس با EC متر هدایت الکتریکی آن‌ها برآورد شد (C<sub>2</sub>). شاخص MSI با فرمول زیر محاسبه گردید (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵):

$$MSI = \left[ 1 - \left( \frac{C_1}{C_2} \right) \right] \times 100 \quad (\text{رابطه ۲-۳})$$

### ۲-۳-۷-۲-۳- نشت الکترولیت

جهت برآورد نشت الکترولیت برگ‌ها بعد از برداشت شسته شده و سپس با کاغذ صافی خشک شدند. یک گرم برگ تازه به قطعات یک سانتی‌متر مربع بریده شده و در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه سنجش هدایت الکتریکی (Model Multi3407) اندازه‌گیری شد (EC<sub>1</sub>). سپس، نمونه‌ها در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو قرار داده شدند. بعد از این که دمای نمونه‌ها به ۲۵ درجه سانتی‌گراد رسید هدایت الکتریکی نمونه‌ها مجدداً اندازه‌گیری شد (EC<sub>2</sub>). نشت الکترولیت با فرمول زیر محاسبه گردید (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵):

$$EL = \frac{EC_1}{EC_2} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳-۳})$$

### ۲-۳-۷-۲-۳- عصاره آنزیمی

جهت تهیه عصاره آنزیمی، ابتدا نمونه‌ها در هاون در شرایط نیتروژن مایع خرد و آسیاب شدند. سپس ۰/۵ گرم از آن‌ها در پنج میلی‌لیتر بافر فسفات (pH=7) ۱۰۰ میلی‌مولار حاوی پلی‌ونیل

پیرولیدین (PVP) یک درصد و یک میلی مولار اتیلن دی آمین تتراستیک اسید (EDTA) هموژنیزه گردید. سپس در دستگاه سانتریفوژ با ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای پنج درجه سانتی گراد قرار گرفت. فاز بالایی عصاره جمع آوری و برای تعیین فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز استفاده شد (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵).

#### ۳-۲-۷-۳-۴- پراکسید هیدروژن

جهت اندازه گیری میزان  $H_2O_2$ ، ابتدا ۰/۲ گرم نمونه برگ به همراه ۱۸۰۰ میکرو لیتر تری-کلرواستیک اسید یک درصد (TCA) در سانتریفوژ (مدل Eppendorf centrifuge 5810R) با دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه جهت تهیه محلول آنزیمی قرار داده شد. سپس ۰/۵ میلی لیتر از محلول آنزیمی به همراه ۰/۵ میلی لیتر بافر فسفات و یک میلی لیتر یدیدپتاسیم در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SpectWPA) در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت و میزان  $H_2O_2$  محاسبه گردید (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵).

#### ۳-۲-۷-۳-۵- مالون دی آلدئید

جهت اندازه گیری مالون دی آلدئید (MDA)، ۱۲۰۰ میکرو لیتر محلول آنزیمی به همراه ۱۲۰۰ میکرو لیتر محلول ۲۰ درصد TCA و ۰/۵ درصد TBA در لوله آزمایش و به مدت نیم ساعت در حمام آب گرم (دستگاه بن ماری) در دمای ۹۵ درجه قرار داده شد. سپس در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج های ۵۳۲ ( $A_{532}$ ) و ۶۰۰ ( $A_{600}$ ) نانومتر قرائت گردید. میزان MDA از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$MDA(nmol.ml^{-1}) = \frac{(A_{532} - A_{600})}{155000} * 10^6 \quad (\text{رابطه ۳-۴})$$

$$MDA(nmol.g.FW) = \frac{MDA \left( \frac{nmol}{ml} \right) * \text{حجم مخلوط واکنش}}{\text{وزن تازه برگ (گرم)}}$$



ضریب خاموشی MDA، معادل  $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  و واحد اندازه‌گیری MDA،  $\text{nmol/g.FW}$  در نظر گرفته شد (هودگز و همکاران، ۱۹۹۹؛ یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۴).

### ۳-۲-۷-۳-۶- رنگدانه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئیدها، برگ تازه در اوایل مرحله گلدهی به صورت قطعات پانچ شده در ۸ میلی‌لیتر متانول ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $M_w=32\text{gr/mol}$ , Carlo Erba) و به مدت ۲۴ ساعت در شرایط تاریکی قرار داده شد. سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری و با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها محاسبه گردید:

$$\text{chl a}(\mu\text{g/ml}) = (20.31A_{663}) - (2.55A_{645}) \quad (\text{رابطه ۳-۵})$$

$$\text{chl b}(\mu\text{g/ml}) = (20.31A_{645}) - (4.91A_{663}) \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

$$\text{Car}(\mu\text{g/ml}) = (100A_{470} - 1.9\text{chl a} - 63.14\text{chl b}) \div 214 \quad (\text{رابطه ۳-۷})$$

پس از جایگزینی داده‌ها در روابط بالا اعداد به دست آمده در رابطه زیر قرار گرفته و میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد که  $v$  حجم محلول کلروفیل (ml) و  $w$  وزن نمونه تر برگ بر حسب g می‌باشد.

$$x = \frac{v}{w} \times 1000 \quad (\text{رابطه ۳-۹})$$

که  $x$  میزان رنگدانه‌ها بر اساس میلی‌گرم بر وزن تر برگ می‌باشد.

### ۳-۲-۷-۳-۷- پروتئین محلول

میزان پروتئین محلول موجود در نمونه‌ها به روش برادفورد (۱۹۷۶) به صورت زیر اندازه‌گیری شد. کمپلکس واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر محلول آنزیمی، ۷۰۰ میکرولیتر آب دیونیزه و ۲۰۰ میکرولیتر معرف برادفورد بود. دو دقیقه پس از تشکیل کمپلکس فوق، معرف برادفورد حداکثر

ترکیب را با اسیدهای آمینه آروماتیک نظیر آرژینین از خود نشان می‌دهد. حداکثر زمان پایداری ترکیب حاصل تا یک ساعت پس از تشکیل بوده و سپس شروع به تجزیه و جداسازی می‌نماید. لذا در این فاصله زمانی نمونه‌ها حداکثر جذب را داشته و جذب آن‌ها در طول موج ۵۳۵ nm یادداشت شد. میزان پروتئین نمونه‌ها از روی منحنی استاندارد به دست آمد (علیزاده فروتن و همکاران، ۲۰۱۶).

### ۳-۲-۷-۳-۸- پرولین

جهت اندازه‌گیری میزان پرولین از روش بیتز (۱۹۷۲) استفاده شد. ۰/۵ گرم ماده تر گیاهی را با هاون چینی خرد نموده و ۱۰ میلی‌لیتر محلول سولفوسلیسیلیک ۳ درصد به آن افزوده شد و تیوب‌های حاوی نمونه در سانتی‌فیوژ با دور ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ °C قرار گرفت. محلولی از سه ماده اسید استیک گلاسیال، اسید ناین‌هیدرین و اسید فسفریک (محلول سه-جزئی) تهیه شد، بدین ترتیب که مقدار ۱/۲۵ گرم پودر اسید ناین‌هیدرین را در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال حل نموده و سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار آماده شده به آن اضافه می‌شود. ۲ میلی‌لیتر از محلول مورد نظر به هر نمونه اضافه می‌شود. دوباره ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به نمونه‌ها افزوده و مخلوط گردید. برای شاهد ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک ۳ درصد، ۲ میلی‌لیتر از محلول سه جزئی و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال در نظر گرفته شد. نمونه‌ها به همراه شاهد در حمام آب گرم به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰°C قرار داده شدند، سپس بعد از این که به دمای اتاق رسیدند، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به شاهد و هر یک از نمونه‌ها اضافه، سپس به مدت ۲۰ ثانیه با استفاده از دستگاه ورتکس تکان داده شدند. فاز بالایی محلول حاوی پرولین را جدا نموده و جذب آن‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از بلنک تولوئن خوانده شد. غلظت پرولین از منحنی استاندارد تعیین شد و بر اساس میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (بیتس و همکاران، ۱۹۷۲).

(رابطه ۳-۱۰)

$$\text{Proline}(\mu\text{moles/gr}) = \frac{\frac{\text{پرولین}(\mu\frac{g}{ml})}{\text{تولون}(\text{ml}) * 115.5(\mu\frac{g}{\mu\text{mol}})}}{\frac{\text{نمونه گیاهی}}{5}}$$

۳-۲-۷-۳-۹- آنزیم کاتالاز

اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز به روش ابی (۱۹۸۴) و بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. کمپلکس واکنش شامل ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7)، ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی می‌باشد که حجم نمونه‌ها با اضافه کردن آب مقطر به سه میلی‌لیتر رسانده شد. با افزودن پراکسید هیدروژن واکنش آغاز و کاهش در جذب نمونه‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت گردید. فعالیت آنزیمی از محاسبه میزان H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> تجزیه شده توسط آنزیم و با استفاده از ضریب خاموشی ۳۶/۶ بر میکرومول سانتی‌متر محاسبه گردید.

۳-۲-۷-۳-۱۰- آنزیم گایاکول پراکسیداز

آنزیم گایاکول پراکسیداز به روش تانگ و نیوتن (۲۰۰۵) و بر اساس میزان تجزیه پراکسید هیدروژن در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام شد که کمپلکس واکنش شامل یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=7)، ۲۵۰ میکرولیتر از EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، یک میلی‌لیتر گایاکول ۵ میلی‌مولار، یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی می‌باشد. جذب کمپلکس در طول موج ۴۷۰ نانومتر شروع و پس از یک دقیقه یادداشت و با استفاده از ضریب خاموشی ۲۶/۶ بر میکرومول سانتی‌متر میزان فعالیت آنزیم محاسبه شد (علیزاده فروتن و همکاران، ۲۰۱۶).

### ۳-۲-۷-۳-۱۱- آنزیم آسکوربات پراکسیداز

آنزیم آسکوربات پراکسیداز به روش یوشیمورا و همکاران (۲۰۰۰) و بر اساس میزان تجزیه پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۹۰ نانومتر انجام شد. ابتدا نمونه در نیتروژن مایع پودر و سپس در بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی مولار حاوی یک میلی مولار آسکوربات، محلول سوربیتول ۲۰ درصد، یک میلی مولار EDTA، و محلول فنیل متان سولفونیل فلوراید ۰/۱ درصد هموژنیزه شد و سپس در دستگاه سانتریفوژ (مدل Eppendorf centrifuge 5810R) با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. فاز بالایی عصاره جمع آوری و برای تعیین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز استفاده شد. کمپلکس واکنش شامل ۲ میلی لیتر بافر فسفات ۵ میلی مولار حاوی ۱۰ میکرومولار پراکسید هیدروژن، ۱۰ میکرولیتر آسکوربات ۱۰ میلی مولار و ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۲۰ میلی مولار بود (یعقوبیان و همکاران، ۲۰۱۴). جذب کمپلکس واکنشی در طول موج ۲۹۰ نانومتر شروع و پس از یک دقیقه یادداشت و با استفاده از ضریب خاموشی ۲/۸ بر میکرومول سانتی متر میزان فعالیت آنزیم محاسبه شد. عدد حاصل میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را بر اساس میکرومول آسکوربات اکسید شده در دقیقه نشان می دهد.

با توجه به انجام آزمایش در یک مکان طی دو سال زراعی، تجزیه و تحلیل داده ها به روش تجزیه مرکب با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. جهت بررسی متجانس بودن واریانس ها از آزمون بارتلت و نرم افزار SPSS (Ver.20) استفاده گردید و میانگین داده ها با استفاده از نرم افزار MSTAT، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند. نمودارها نیز با نرم-افزار Excel رسم شدند.

۳-۲-۸- کمی سازی واکنش ماده خشک و شاخص برداشت به پرولین و سه آنزیم آنتی اکسیدان  
سه آنزیم آنتی اکسیدان کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پروکسیداز و همچنین پرولین  
به عنوان متغیر مستقل و ماده خشک کل و شاخص برداشت به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته  
شدند. برای محاسبه تابع مطلوبیت<sup>۱</sup> ( $d_i$ )، از روش درینجر و سویچ (۱۹۸۰) استفاده گردید:

$$d_i = \left( \frac{\hat{Y} - A}{B - A} \right)^{w_i}, \quad A \leq \hat{Y} \leq B \quad (\text{رابطه ۳-۱۱})$$

$$d_i = 1, \quad \hat{Y} > B$$

$$d_i = 0, \quad \hat{Y} < A$$

که در آن A و B به ترتیب حداقل و حداکثر مقدار بدست آمده برای مشاهده نام، و  $w_i$  وزن  
می باشد. برای محاسبه تابع مطلوبیت کلی (D)، از رابطه زیر استفاده شد (هرینگتون، ۱۹۶۵):

$$D = (d_1^{p_1} \times d_2^{p_2} \times d_3^{p_3} \times \dots \times d_n^{p_n})^{1/n} \quad (\text{رابطه ۳-۱۲})$$

که  $d_1 \dots d_n$  متغیرهای پاسخ،  $p_1 \dots p_n$  توان (اهمیت نسبی) متغیرهای پاسخ بوده و می توانند  
مقادیر از ۱ تا ۵ را به خود اختصاص دهند.

در بررسی اولیه، مدل های خطی و غیر خطی مختلف رگرسیون چندگانه مورد بررسی قرار  
گرفت. یک نمونه از آن به شرح زیر می باشد:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (\text{رابطه ۳-۱۳})$$

---

<sup>۱</sup> - Desirability function

که  $\hat{Y}$  متغیر پاسخ شامل تابع مربوط به شاخص برداشت، ماده خشک کل و تابع مطلوبیت کلی (D) است.  $X_1, X_2, X_3$  و  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، و غلظت پرولین می‌باشند.  $\beta$  پارامتر تابع است که باید مقدار آن برآورد گردد. نمونه‌های دیگر مدل، شامل مدل کاهش یافته یا مدل واجد ترکیباتی (Features) از متغیرهای مستقل (به عنوان نمونه توان دوم و سوم آنها یا برهمکنش آنها) بود (سیواکمار و همکاران، ۲۰۰۷). جهت ورود متغیرها در رگرسیون، از روش حذف رو به عقب متغیرهای مستقل (Backward Elimination) استفاده گردید.

# فصل چہارم

## نتایج و بحث

## فصل چهارم - نتایج و بحث

### ۴-۱- آزمون جوانه‌زنی

جوانه‌زنی اولین مرحله نموی در گیاه است که یکی از مراحل مهم و حساس در چرخه زندگی گیاهان و یک فرآیند کلیدی در سبزشدن گیاهچه می‌باشد. این مرحله از رشد تحت تاثیر عوامل محیطی به‌ویژه دما و رطوبت خاک قرار می‌گیرد و تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که روی جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه تاثیر می‌گذارد. توانایی جوانه‌زنی بذور در شرایط تنش رطوبتی شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را به‌دنبال دارد که در نتیجه منجر به افزایش عملکرد می‌شود (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۶). گیاه ممکن است در مرحله‌ای از زندگی تحت تاثیر تنش خشکی قرار بگیرد، اما مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه مراحل بحرانی هستند (وحیدی، ۲۰۰۹). جوانه‌زنی بذر و خصوصیات رشدی گیاهچه فاکتورهای مهمی در تعیین عملکرد می‌باشند (راف و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در مرحله جوانه‌زنی اثر معنی‌دار پلی‌آمین اسپرمیدین و تنش خشکی بر همه‌ی صفات مورد مطالعه را نشان داد و برهم‌کنش اسپرمیدین و تنش خشکی بر همه صفات جزء مقدار پروتئین معنی‌دار بوده است (جداول ۴-۱ و ۴-۲).



جدول ۴-۱- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر برخی صفات

منابع تغییر	درجه آزادی	سرعت جوانه زنی	D <sub>90</sub> (ساعت)	D <sub>50</sub> (ساعت)	D <sub>10</sub> (ساعت)	حداکثر جوانه زنی (%)	یکنواختی جوانه زنی (در روز)	جوانه زنی نهایی (%)	وزن گیاهچه (گرم)	طول ریشه چه (میلی لیتر)
اسپرمیدین (S)	۲	۰/۰۰۳۰۰**	۷۴/۸۸۲**	۶۰/۵۴۰**	۱۱۲/۸۰۰**	۳۶۹/۷۷۸**	۲۴۸/۸۶۰**	۵۴۶/۵۲**	۷/۰۳۰**	۹۷/۳۰۰**
خشکی (D)	۲	۰/۰۰۲۰۰**	۴۲۰/۷۲۱**	۳۰/۰۵۸**	۶۸/۰۰۰**	۱۷۴۲۱/۴۰۰**	۵۹۸/۲۵۰**	۲۱۷۷۳/۴۰۰**	۲۰/۲۹۰**	۴۳۶/۸۵۰**
اثر متقابل اسپرمیدین و خشکی (S*D)	۴	۰/۰۰۲۰۰**	۳۹۱/۱۷۸**	۳۴/۳۸۶**	۷۰/۴۰۰*	۱۱۸۷/۷۷۰**	۵۱۵/۲۷۰**	۲۴۵/۷۷۰**	۲/۴۱۵**	۸۳/۸۹۰**
خطای آزمایشی	۲۷	۰/۰۰۰۱۱	۶/۵۴۸	۰/۱۸۴	۰/۱۷۴	۴۰/۰۳۷	۱/۸۵۲	۲/۵۷۴	۰/۰۱۹	۲/۹۳۲
ضریب تغییرات		۱۶/۶۷	۷/۴۱	۲/۴۲	۶/۳۹	۱۲/۰۸	۴/۶۶	۳/۴۶	۵/۸۲	۱۲/۶۹

\*\* و \* : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد

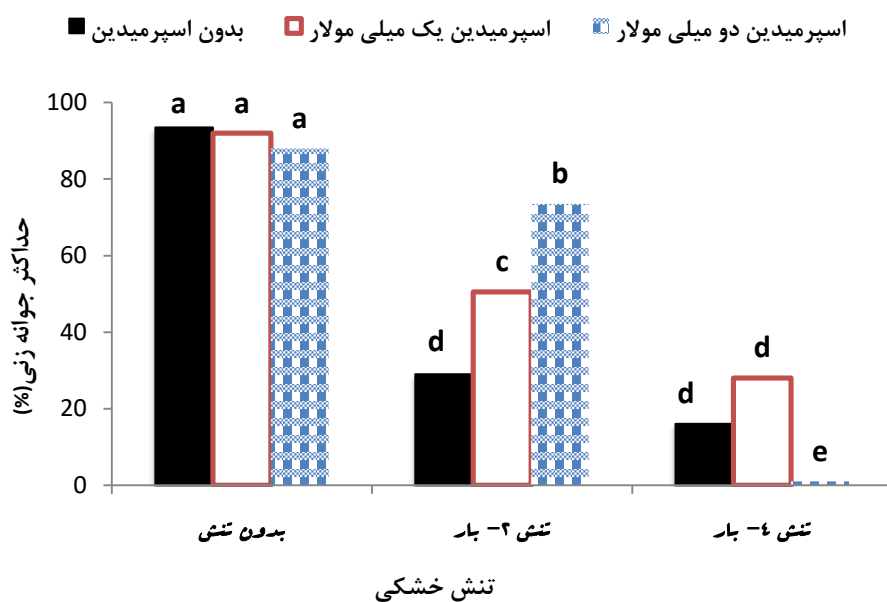
جدول ۴-۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت گیاهچه های

سویا					
منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین (mg/g.plant)	پراکسیداز (U/mg.protein.min)	آسکوربات پراکسیداز (U/mg.protein.min)	کاتالاز (U/mg.protein.min)
اسپرمیدین (S)	۱	۱۹/۱۲۷**	۱۵۷۰۵/۷۰۰**	۳۸۸۲۳۵/۰۰**	۳۲۹۶۴/۰۰۰**
خشکی (D)	۱	۶۰/۵۲۵**	۸۷۵۵/۰۰۰**	۵۹۸۲/۰۰*	۱۴۹۵/۰۰۰**
اثر متقابل اسپرمیدین و خشکی (S*D)	۱	۱/۳۰۰n.s	۵۵۶۸۸/۰۰۰**	۴۵۹۹۸۵/۰۰**	۳۶۹۵۶/۰۰۰**
خطای آزمایشی	۸	۰/۳۵۳	۳۷/۹۲۵	۵۷۳/۳۷	۳۳۳/۱۷۴
ضریب تغییرات		۱۵/۴۸۰	۴/۶۹۰	۶/۷۰	۱۸/۷۰۰

n.s ، \*\* و \* : به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

#### ۴-۱-۱- حداکثر جوانه زنی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط بدون تنش استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین اثر معنی‌داری بر حداکثر جوانه‌زنی بذرها نداشته است، اما استفاده از اسپرمیدین در تنش خشکی متوسط (۲- بار) توانست این شاخص را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد. در این شرایط اثربخشی غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار اسپرمیدین به ترتیب ۲۱/۵ و ۴۴/۵ درصد نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین بوده است. با وجود این تنش خشکی بالاتر (۴- بار) کاربرد اسپرمیدین نتوانست اثر معنی‌داری بر بهبود حداکثر جوانه‌زنی داشته باشد و حتی در غلظت دو میلی‌مولار اثر کاهشی نسبت به غلظت یک میلی‌مولار در مقایسه با شاهد مشاهده شد (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- تاثیر پلی آمین اسپرمیدین بر حداکثر جوانه زنی سویا تحت تنش خشکی

در آزمایشی بر روی ارقام مختلف گندم تحت تنش خشکی با استفاده از پلی اتیلن گلیکول (PEG) مشاهده شد که تنش آب در مرحله جوانه زنی می تواند منجر به تاخیر و کاهش جوانه زنی و یا حتی توقف کامل جوانه زنی گردد. در این مطالعه بیشترین درصد جوانه زنی نهایی در تیمار شاهد بوده است و با افزایش سطح تنش خشکی درصد جوانه زنی نهایی کاهش یافت. تفاوت ارقام در واکنش به تنش خشکی در جوانه زنی نهایی به طور قابل ملاحظه ای معنی دار بوده است (المغربی، ۲۰۱۲).

#### ۴-۱-۲- سرعت جوانه زنی

سرعت جوانه زنی عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی است. مقایسه میانگین داده ها نشان داد که در تنش خشکی بالا (۴- بار) استفاده از پلی آمین اسپرمیدین در غلظت یک میلی مولار نسبت به شاهد و سایر تیمارها معنی دار بود و باعث افزایش سرعت جوانه زنی به میزان ۱/۲۸ برابر نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین شده است ولی افزایش غلظت یک میلی مولار به دو میلی مولار در این شرایط باعث اختلاف معنی داری در سرعت جوانه زنی نسبت به سایر تیمارها نگردید (جدول ۴-۴).

در واقع با استفاده از اسپرمیدین در شرایط تنش سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت اما این افزایش سرعت بسته به غلظت اسپرمیدین و میزان تنش خشکی متفاوت بوده است. عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در شرایط بدون اسپرمیدین تا تنش خشکی ۲- بار ممکن است به خصوصیت ژنتیکی رقم مورد آزمایش مرتبط باشد، چون رقم کاسپین تابستانه و تا حدودی متحمل به خشکی است (عرب و همکاران، ۱۳۹۵). بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی در استقرار سریع بذرها نقشی موثر دارد. نتایج بررسی بر روی ژنوتیپ‌های مختلف سویا، حاکی از آن است که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر کاهش سرعت جوانه‌زنی به‌جای می‌گذارد (فرخی و همکاران، ۱۳۸۳). چنین کاهش به قابلیت انتشار پوسته بذر در پتانسیل‌های منفی آب نسبت داده شده است. نتایج مشابهی نیز برای سایر گیاهان زراعی مانند گندم و لوبیا مشاهده شده است. بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی در استقرار سریع بذرها نقشی موثر دارد. نتایج بررسی انجام شده بر روی ژنوتیپ‌های مختلف سویا، حاکی از آن است که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر کاهش سرعت جوانه‌زنی به‌جای می‌گذارد (فرخی و همکاران، ۱۳۸۳). چنین کاهش به تغییر قابلیت انتشار پوسته بذر در پتانسیل‌های منفی آب نسبت داده شده است. نتایج مشابهی نیز برای سایر گیاهان زراعی مانند گندم و لوبیا مشاهده شده است (فرخی و همکاران، ۱۳۸۳؛ سینگ، ۲۰۰۱). در مطالعه بر روی ارقام گندم سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و مقدار آبی که بذرها جذب نمودند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (راف و همکاران، ۲۰۰۷).

جدول ۳-۴- مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و اسپرمیدین بر صفات جوانه‌زنی رقم کاسپین سویا

غلظت اسپرمیدین	تنش خشکی	D <sub>90</sub> (ساعت)	D <sub>50</sub> (ساعت)	D <sub>10</sub> (ساعت)	یکنواختی جوانه‌زنی (در ساعت)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در ساعت)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)
بدون اسپرمیدین	شاهد	۴۲/۵۹a	۱۸/۵۲۷a	۳/۵۴۸e	۴۱/۷۹a	۰/۰۵۴b	۱۷/۸۵b
	۲- بار	۲۲/۹۴c	۱۸/۵۹۲a	۱۲/۸۰۳b	۲۶/۸۹c	۰/۰۵۴b	۱۰/۱۸d
	۴- بار	۲۶/۴۰c	۱۹/۵۱۷a	۱/۵۲۷c	۲۲/۱۲d	۰/۰۵۱b	۷/۵۱e
یک میلی‌مولار	شاهد	۳۳/۰۳b	۱۸/۶۶۲a	۳/۷۹۵e	۲۹/۷۴b	۰/۰۵۴b	۱۸/۷۲ab
	۲- بار	۳۱/۷۷b	۱۷/۲۷۷a	۳/۶۷۰e	۲۷/۶۰c	۰/۰۵۸b	۱۷/۵۲b
	۴- بار	۴۵/۷۴a	۹/۵۰۰b	۱/۷۷۰f	۴۱/۹۲a	۰/۱۰۵a	۱۴/۱۰c
دو میلی‌مولار	شاهد	۴۵/۳۲a	۱۹/۵۶۲a	۴/۴۷۰d	۴۰/۳۵a	۰/۰۵۱b	۲۱/۱۳a
	۲- بار	۳۴/۲۵b	۱۹/۱۴۰a	۴/۵۰۰d	۲۲/۸۸d	۰/۰۵۲b	۱۴/۴۴c
	۴- بار	۲۴/۹۰c	۱۸/۵۰۰a	۱۳/۶۰۰a	۹/۳۰e	۰/۰۵۴b	۰/۰۰f

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۳-۱-۴- یکنواختی جوانه‌زنی

یکنواختی جوانه‌زنی (GU) مدت زمانی است که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی از ۱۰ درصد حداکثر خود به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد. هر چه مقدار یکنواختی جوانه‌زنی کمتر باشد نشان‌دهنده‌ی جوانه‌زنی یکنواخت‌تر بذور می‌باشد (تکاسی و همکاران، ۱۳۹۰). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که استفاده از اسپرمیدین با غلظت یک میلی‌مولار در تنش خشکی بالا (۴- بار) باعث یکنواختی بیشتر جوانه‌زنی گردید و برتری غیرمعنی‌داری نسبت به شاهد داشت (جدول ۳-۴). غلظت دو میلی‌مولار اسپرمیدین نتوانست به تنش خشکی متوسط (۲- بار) و بالا (۴- بار) غلبه نماید، به‌گونه‌ای که کمترین یکنواختی جوانه‌زنی در این تیمار مشاهده شد که با شرایط تنش خشکی بدون

اسپرمیدین تفاوت معنی‌داری نداشت. میزان افزایش یکنواختی جوانه‌زنی با تیمار پلی‌آمین اسپرمیدین در غلظت یک میلی‌مولار نسبت به شاهد حدود ۲۰٪ بوده است.

#### ۴-۱-۴- شاخص‌های $D_{90}$ , $D_{50}$ , $D_{10}$

$D_{10}$  مدت زمان بر حسب روز یا ساعت از زمان کاشت تا زمانی است که درصد جوانه‌زنی تجمعی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد،  $D_{50}$  مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد و  $D_{90}$  مدت زمانی است که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد. هر چه مقدار  $D_{10}$  کوچک‌تر باشد، بدین معنی است که جوانه‌زنی زودتر شروع شده است (تکاسی و همکاران، ۱۳۹۰).

پیش‌تیمار بذر با غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین زمان رسیدن به ده درصد جوانه‌زنی را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با غلظت دو میلی‌مولار بهبود بخشید. در مورد شاخص  $D_{50}$  نیز تاثیر اسپرمیدین با غلظت یک میلی‌مولار در تنش خشکی بالا (۴-بار) تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد. در حالی که غلظت دو میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت. اما در غلظت دو میلی‌مولار اسپرمیدین و تنش خشکی (۴-بار) شاخص  $D_{90}$  به‌شدت کاهش یافت (جدول ۳-۴).

#### ۴-۱-۵- طول ریشه‌چه

با افزایش تنش خشکی طول ریشه‌چه کاهش یافت و استفاده از غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش طول ریشه‌چه در شرایط بدون تنش گردید اما در شرایط تنش خشکی متوسط (۲-بار) طول ریشه‌چه در غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین بیشتر از طول ریشه‌چه در غلظت دو میلی‌مولار اسپرمیدین بوده است. با افزایش شدت تنش به (۴-بار) پیش‌تیمار بذر با اسپرمیدین یک میلی‌مولار باعث افزایش طول ریشه‌چه گردید به‌طوری که در مقایسه با شاهد حدود

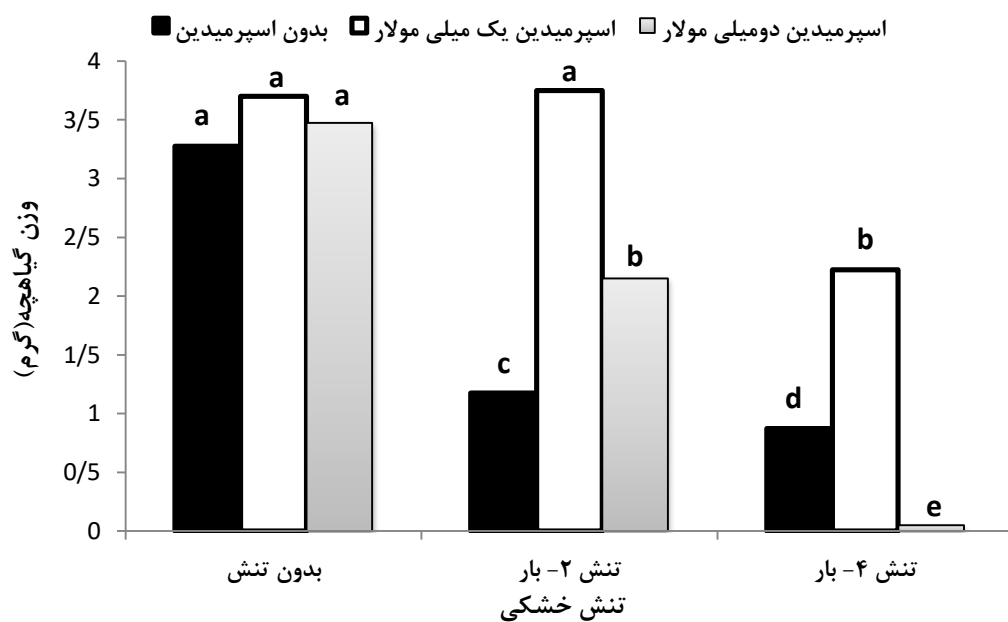
۶/۶ میلی متر بیشتر بود، اما پیش تیمار بذر با اسپرمیدین دو میلی مولار نتوانست بر تولید ریشه چه مؤثر باشد (جدول ۴-۳).

معمولا با افزایش غلظت پلی اتیلن گلیکول (PEG) طول ریشه چه به طور معنی داری کاهش می یابد (المغربی، ۲۰۱۲). مشاهدات حاکی از واکنش سازگاری به خشکی در ارقامی است که طول ریشه چه بیشتری دارند، در نتیجه توانایی دسترسی به آب های عمیق تر در آن ها بیشتر خواهد بود (داد و دانوان، ۱۹۹۹؛ المغربی، ۲۰۱۲). کاهش طول ریشه چه تحت تنش خشکی ممکن است به علت عدم امکان تقسیم سلولی و طولیل شدن آن باشد که منجر به فرآیند غده زایی و لیگنینی شدن سیستم ریشه می شود (المغربی، ۲۰۱۲). سمیکالپس و همکاران (۱۹۸۹) بیان کردند که با کاهش پتانسیل آب طول ریشه چه و ساقه چه ارقام سویا به طور معنی داری کاهش می یابد که علت کاهش طول ریشه چه محدود شدن تحرک ذخایر بذری به جنین در اثر کاهش پتانسیل آب می باشد. ایراکی و همکاران (۱۹۸۹) علت کاهش طول ریشه چه و ساقه چه را تغییر در فعالیت آنزیم آلفاسلولز مرتبط دانسته اند. سرعت رشد ریشه چه و ساقه چه در بذر از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که بذری که در شرایط خشکی از رشد ریشه چه و ساقه چه خوبی برخوردار باشند، می توانند استقرار بهتر و سریع تری پیدا کنند و در شرایط نامناسب محیطی تضمین کننده عملکرد بالاتری هستند (فرخی و همکاران، ۲۰۰۳).

#### ۴-۱-۶- وزن گیاهچه

مقایسه میانگین داده ها نشان داد که با افزایش میزان تنش خشکی، وزن گیاهچه کاهش یافت اما پیش تیمار بذر با غلظت یک میلی مولار اسپرمیدین در تنش خشکی متوسط (۲- بار) باعث افزایش وزن گیاهچه شد (شکل ۴-۲). در تنش خشکی بالا (۴- بار) نیز غلظت یک میلی مولار اسپرمیدین تاثیر مثبت بر وزن گیاهچه داشته است به طوری که نسبت به شرایط تنش (۴- بار) و بدون اسپرمیدین، ۱/۷ برابر افزایش وزن نشان داد. در آزمایشی که فاروق و همکاران (۲۰۱۰) روی

برنج رقم باسماتی در شرایط تنش خشکی انجام دادند مشاهده شد تنش خشکی باعث کاهش رشد گیاهچه گردید و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین تحمل به تنش خشکی و رشد گیاهچه را بهبود بخشید. در مطالعه راف و همکاران (۲۰۰۷) استفاده از پلی اتیلن گلیکول در گندم، کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به دنبال داشت. پلی اتیلن گلیکول به عنوان یک فاکتور ایجادکننده تنش خشکی با کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش رشد در بذرهاى جوانه زده و توقف رشد گیاهچه می گردد؛ شایان ذکر است که معمولاً تاثیر در اندام هوایی بیشتر از ریشه های اولیه می باشد (خواهه و همکاران، ۲۰۰۰؛ زو، ۲۰۰۶). مورونگو و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقات خود مشاهده کردند که با افزایش شدت تنش خشکی، درصد سبز شدن و رشد گیاهچه ذرت و پنبه کاهش یافته است.



شکل ۴-۲- تاثیر اسپرمیدین بر وزن گیاهچه سویا تحت تنش خشکی

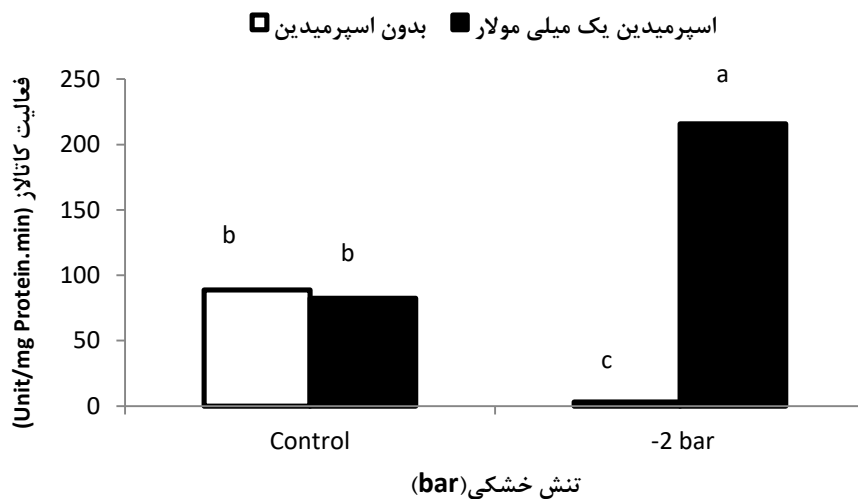
#### ۴-۱-۷- فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت

استفاده از اسپرمیدین باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در گیاهچه در شرایط تنش خشکی متوسط (۲-بار) گردید (شکل ۴-۳). در شرایط بدون تنش، اسپرمیدین کاهش ۳۳ درصدی

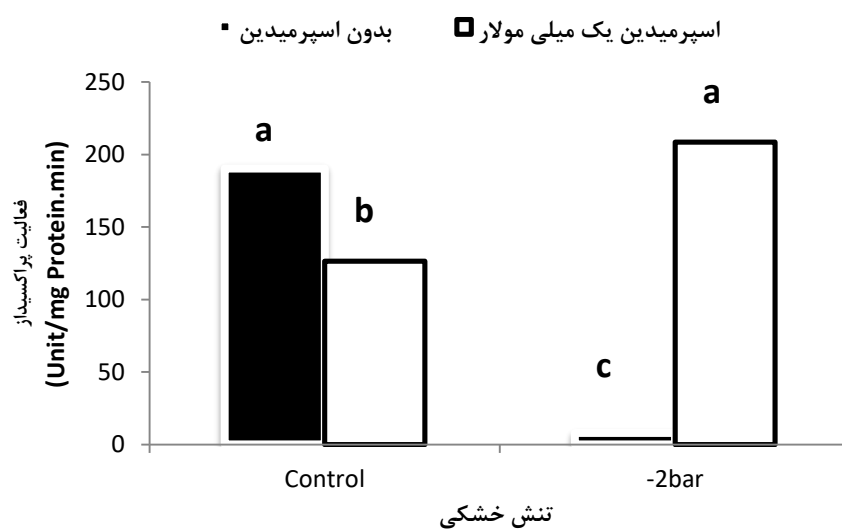


آنزیم پراکسیداز (POD) را به همراه داشت (شکل ۴-۴). این در حالی است که با اعمال تنش خشکی تا ۲- بار، استفاده از اسپرمیدین باعث افزایش فعالیت آنزیم (POD) گردید، که حاکی از تاثیر پلی-آمین بر افزایش فعالیت آنزیم (POD) در شرایط تنش خشکی و در نتیجه افزایش تحمل به تنش می-باشد. بر اساس نتایج این آزمایش، تاثیر تنش خشکی و اثر متقابل آن با اسپرمیدین بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی دار بود (جدول ۴-۲).

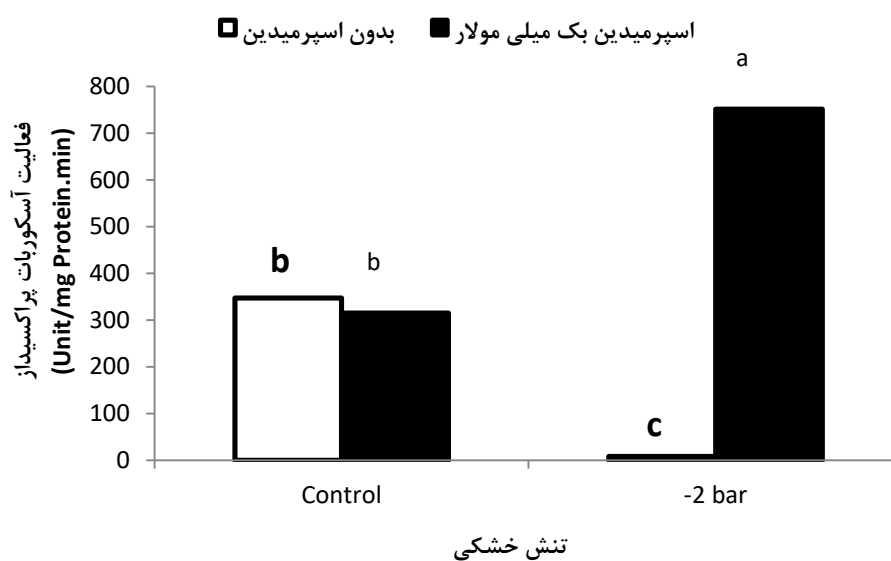
استفاده از پلی آمین اسپرمیدین در سطح یک میلی مولار در تنش خشکی (۲- بار) باعث افزایش فعالیت این آنزیم گردید (شکل ۴-۵). در تنش خشکی متوسط (۲- بار) استفاده از غلظت یک میلی مولار اسپرمیدین منجر به تولید گیاهچه و افزایش معنی دار نسبت به شاهد (۱۳۸ درصد) شد. در این میان نتایج نشان داد که پلی آمین اسپرمیدین با تاثیر بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت مورد مطالعه (کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز) در شرایط تنش (۲- بار) منجر به افزایش تحمل به تنش خشکی در گیاهچه ها گردید.



شکل ۴-۳- تاثیر اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت کاتالاز در سویا تحت تنش خشکی



شکل ۴-۴- تاثیر اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت پراکسیداز در گیاهچه سویا تحت تنش خشکی



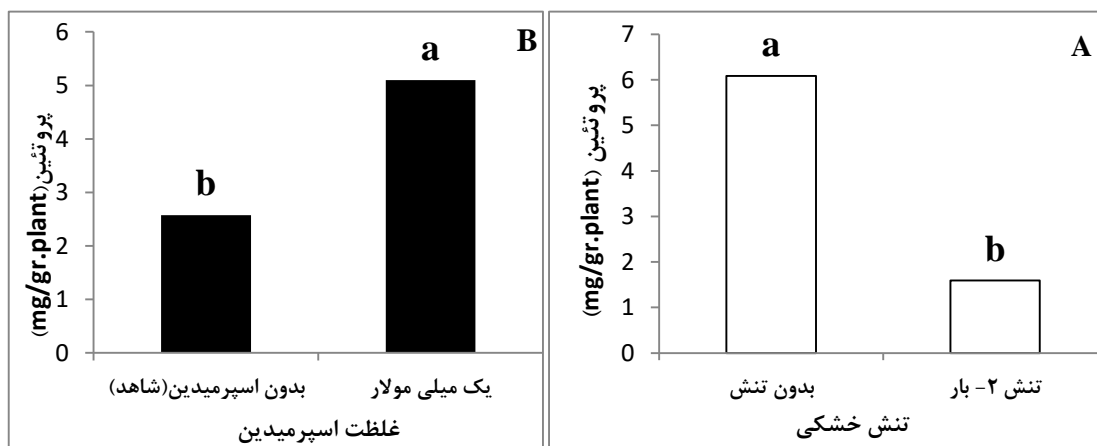
شکل ۴-۵- تاثیر اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت آسکوربات پراکسیداز در گیاهچه سویا تحت تنش خشکی

از آنجایی که کاتالاز و پراکسیداز نقش اساسی در خنثی‌سازی سمیت پراکسید هیدروژن دارند، با تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و ملکول اکسیژن از آسیب سلولی تحت شرایط نامساعد نظیر تنش خشکی جلوگیری می‌نمایند (شهاب و همکاران، ۲۰۱۰). به‌نظر می‌رسد تنش خشکی باعث تغییرات متفاوتی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌شود به طوری که در گیاهان ذرت تحت تنش میزان فعالیت آنزیم‌های گلوکاتایون‌ردوکتاز (GR)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT) بیشتر بود (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه کزنیتسوف و همکاران (۲۰۰۶) استفاده از غلظت بیشتر از یک میلی‌مولار پلی‌آمین‌ها موجب تشکیل گونه فعال اکسیژن سوپراکسید از پراکسید هیدروژن گردید که حاکی از خاصیت ضدآنتی‌اکسیدانی پلی‌آمین‌ها در این غلظت بود. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی از طریق کاهش فعالیت پراکسیداسیون لیپیدها می‌شوند (صادقی و همکاران، ۲۰۱۱). در مطالعه بر روی گیاه *Lupinus luteus* مشاهده شد وقتی گیاهچه‌ها در معرض تنش خشکی و شوری به مدت ۴ ساعت قرار گرفتند، پوتریسین (put) و اسپرمیدین (spd) در ریشه‌ها و برگ‌ها تجمع یافته و در تنش طولانی‌تر (۲۴ ساعت) میزان پوتریسین و اسپرمیدین در ریشه‌ها کاهش و در هیپوکوتیل و برگ‌ها افزایش یافت (لگوکا و کلاک، ۲۰۰۵). در آزمایشی بر روی گیاهچه‌های گیاه *Indian Mustard* تحت تنش شوری مشاهده شد که استفاده از پوتریسین رشد گیاهچه‌ها را از طریق جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و جلوگیری از غیرطبیعی شدن ماکروملکول‌ها از طریق آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و افزایش گلوکاتایون‌ها و کاروتنوئیدها بهبود می‌دهند (میشرا و ورما، ۲۰۰۵). این نتایج با نتایج تانگ و نیوتن (۲۰۰۵) نیز مطابقت دارد که آن‌ها گزارش دادند پلی‌آمین‌ها (اساساً پوتریسین) تنش اکسیداتیو ناشی از شوری را با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در کالوس و گیاهچه‌های *Virginia pine* کاهش می‌دهند. در گیاهچه جو که قبل از کمبود آب با اسپرمین تیمار شدند، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز افزایش یافت. پیشنهاد گردید که پلی‌آمین‌ها قادرند بر فعالیت آنزیم‌های خنثی‌کننده  $H_2O_2$  تاثیر گذارند و میزان این ملکول سیگنال را تعدیل نمایند (کوبیس،

۲۰۰۳). در مطالعه تاثیر تنش آب و سرما بر روی گیاهان ۱۵ روزه نخود مشاهده شد استفاده خارجی از پلی آمین ها میزان  $H_2O_2$  و میزان مالون دی آلدئید (MDA) را کاهش داده و میزان آنتی اکسیدانت در گیاهان ۱۵ روزه نخود تحت شرایط کم آبی و سرما به مدت ۴ روز را افزایش داد (نیار و چاندر، ۲۰۰۴).

#### ۴-۱-۸- میزان پروتئین محلول

بر اساس نتایج به دست آمده (جدول ۴-۲) تنها اثر ساده تنش خشکی و اسپرمیدین بر میزان پروتئین محلول در سطح یک درصد معنی دار بود. استفاده از پیش تیمار اسپرمیدین باعث افزایش محتوای پروتئین محلول شد. از سوی دیگر تنش خشکی موجب کاهش معنی دار محتوای پروتئین گردید (شکل ۴-۶). در پژوهش مشابهی کمبود آب باعث کاهش تدریجی در پروتئین های محلول کل در همه قسمت های گیاه شده است (Ashraf and Iram, 2005).



شکل ۴-۶- اثرات ساده تنش خشکی (A) و اسپرمیدین (B) بر میزان پروتئین محلول در گیاهچه های سویا

استفاده از پلی آمین اسپرمیدین برای پیش تیمار بذر توانست شاخص های جوانه زنی در گیاه سویا رقم کاسپین را، از طریق افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت تحت شرایط تنش خشکی بهبود ببخشد. در این میان غلظت پلی آمین عاملی موثر در افزایش تحمل به تنش بود به

طوری که غلظت یک میلی‌مولار دارای روند مثبت و پایداری در تاثیر بر شاخص‌های جوانه‌زنی تحت تنش خشکی به‌خصوص در تنش متوسط (۲- بار) بود. در بیشتر موارد غلظت بیشتر پلی‌آمین اسپرمیدین (دو میلی‌مولار) تاثیری بر بهبود تحمل به تنش خشکی نشان نداد. بر این اساس جهت تحقیق بیشتر از وضعیت چگونگی نقش اسپرمیدین در بهبود تحمل به تنش خشکی به ویژه در شرایط مزرعه‌ای آزمایش دو ساله در مزرعه با غلظت‌های نیم و یک میلی‌مولار انجام و نتایج آن به شرح زیر می‌باشد.

#### ۴-۲- آزمایش مزرعه‌ای

##### ۴-۲-۱- تعداد برگ

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که در سال‌های مختلف تعداد برگ تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشته است اما تاثیر متقابل میزان آبیاری و سال اختلاف معنی‌داری نشان نداد. استفاده از اسپرمیدین منجر به تفاوت معنی‌دار ( $p < 0/01$ ) در سال‌های مختلف و آبیاری‌های متفاوت داشته است. اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، آبیاری و اسپرمیدین تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۴-۴).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول آزمایش تعداد برگ تحت تاثیر تنش خشکی قرار نگرفت و تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشته‌اند، اما در سال دوم آزمایش با کاهش میزان آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی تعداد برگ به ترتیب به میزان ۲۳ و ۳۸ درصد افزایش معنی‌دار نشان داد و با کاهش میزان آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی تعداد برگ روند کاهش داشته به‌طوری که تفاوت معنی‌داری با شرایط بدون اسپرمیدین نداشته است.

استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین در سال اول آزمایش تفاوت معنی‌داری با شرایط بدون اسپرمیدین نداشته است اما در سال دوم در شرایط آبیاری بر اساس ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی باعث

کاهش تعداد برگ نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین شد که میزان کاهش در غلظت یک میلی مولار به ترتیب ۶۲ و ۲۰ درصد بوده است. با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی، اسپرمیدین تاثیر معنی داری بر روی تعداد برگ نشان نداد (جدول ۴-۵).

جدول ۴-۴- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد برگ سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۹۳۳۸/۸۸۹**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۵/۵۲۸
آبیاری (I)	۳	۵۶/۰۳۷
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۷۰/۳۳۳
خطا (اثر متقابل تکرار و آبیاری درون سال)	۱۲	۱۰/۲۶۹
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۶۶/۷۹۲**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱۳۰/۱۸۱**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۲۱/۸۲۹**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۱۲۴/۵۶۹**
خطا	۳۲	۶/۷۲۹

\*\* معنی دار در سطح احتمال یک درصد

در پژوهش انجام شده بر روی ذرت تحت تنش خشکی تعداد برگ کاهش یافت و استفاده از پلی آمین اسپرمین به میزان ۲۵ mg/l به صورت محلول پاشی تعداد برگ بهبود یافت (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵). به نظر می رسد کاهش میزان بارندگی در سال دوم (شکل ۳-۳) بر روی گیاه اثر منفی داشته و گیاه جهت افزایش تحمل، تعداد برگ را افزایش داد.

جدول ۴-۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد برگ سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	تعداد برگ	سال	تعداد برگ	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	تعداد برگ
اول	۱۰۰	صفر	۱۱/۶۷ e	دوم	۱۰۰	صفر	۶۷/۲۴c	
اول	۱۰۰	نیم	۱۱/۳۳ e	دوم	۱۰۰	نیم	۱۷/۳۳d	
اول	۱۰۰	یک	۱۱/۳۳ e	دوم	۱۰۰	یک	۹/۳۳e	
اول	۷۰	صفر	۱۱/۳۳ e	دوم	۷۰	صفر	۳۰/۳۳ab	
اول	۷۰	نیم	۱۱/۳۳ e	دوم	۷۰	نیم	۳۴a	
اول	۷۰	یک	۱۱/۳۳ e	دوم	۷۰	یک	۲۴/۳۳c	
اول	۵۰	صفر	۱۱/۳۳ e	دوم	۵۰	صفر	۳۴a	
اول	۵۰	نیم	۱۱/۳۳ e	دوم	۵۰	نیم	۳۱/۳۳ab	
اول	۵۰	یک	۱۰/۶۷ e	دوم	۵۰	یک	۳۲ab	
اول	۳۰	صفر	۹/۶۷ e	دوم	۳۰	صفر	۲۸bc	
اول	۳۰	نیم	۱۰/۳۳ e	دوم	۳۰	نیم	۳۱/۶۷ab	
اول	۳۰	یک	۱۱/۰۰ e	دوم	۳۰	یک	۲۸/۳۳bc	

در هر ستون میانگین های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

#### ۴-۲-۲- ارتفاع گیاه

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که در سال‌های مختلف ارتفاع گیاه متفاوت بوده و در سطح احتمال یک درصد معنی دار بوده است، اما میزان آبیاری در دو سال متوالی اختلاف معنی داری بر روی ارتفاع گیاه نشان نداد. استفاده از پلی آمین اسپرمیدین در غلظت‌های مختلف، اثرات متقابل دوگانه و سه گانه سال، آبیاری و اسپرمیدین در سال‌های مختلف اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشته است (جدول ۴-۶).

جدول ۴-۶- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۹۳۳۸/۸۸۹**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۵/۵۲۳
آبیاری (I)	۳	۵۶/۰۳۷
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۷۰/۳۳۳
خطا	۱۲	۳۰/۲۶۹
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۶۶/۷۹۲**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱۳۰/۱۸۱**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۲۱/۳۲۹**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۱۲۴/۵۶۹**
خطا	۳۲	۶/۷۲۹

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول آزمایش با کاهش میزان آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۳۰ درصد نیاز آبی ارتفاع گیاه ۱۰ درصد کاهش یافت و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین به جز در تنش متوسط (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی) در غلظت یک میلی مولار تاثیر معنی داری بر ارتفاع گیاه نداشته است. اما در سال دوم آزمایش ارتفاع گیاه کمتر از سال اول بوده است به طوری که میزان کاهش ارتفاع در شرایط بدون استفاده از اسپرمیدین در شرایط آبیاری بر اساس ۱۰۰، ۷۰، ۵۰، ۳۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۴۴، ۴۱، ۳۹، ۴۷ درصد بوده است و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین در غلظت نیم میلی مولار باعث افزایش ارتفاع گیاه در آبیاری بر اساس ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۱۰ و ۲۲ درصد گردید و در غلظت یک میلی مولار در آبیاری بر اساس ۷۰، ۵۰، ۳۰ درصد نیاز آبی ارتفاع گیاه به ترتیب ۵۰، ۶، ۱۴ درصد افزایش یافت (جدول ۴-۷).



کمبود آب رشد هر دو قسمت هوایی و ریشه را کاهش می‌دهد ولی اثر نسبتاً بیشتری بر قسمت هوایی می‌گذارد (پورسل و همکاران، ۲۰۰۰). ارتفاع بوته به‌عنوان فاکتوری برای پیش‌بینی تحمل به خشکی است. ارقامی از سویا که طی خشکی ارتفاع بیشتری داشتند، دارای وزن خشک بیشتر و بذره‌های آن جوانه‌زنی بیشتری داشتند (پورسل و همکاران، ۲۰۰۰). در آزمایشی که فرخی و همکاران (۱۳۸۳) بر روی تحمل به تنش خشکی ۱۱ ژنوتیپ سویا در مرحله رشد رویشی انجام دادند، مشاهده شد اثر خشکی بر طول ساقه معنی‌دار و با افزایش شدت تنش طول ساقه کاهش یافت.

اولین اثر تنش خشکی کاهش تورژسانس می‌باشد که سرعت رشد سلول و اندازه نهایی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در سویا، بوته‌هایی که قادرند در زمان خشکی ارتفاع خود را حفظ کنند کاهش عملکرد کمتری خواهند داشت (اسپیت و همکاران، ۲۰۰۱). کاهش ارتفاع ساقه، کاهش موقعیت‌های ایجاد شاخه‌های فرعی و در نتیجه کاهش تعداد برگ‌های گیاه و در نهایت کاهش سطح برگ و وزن خشک سایر اندام‌های گیاه را به دنبال خواهد داشت (فرخی و همکاران، ۱۳۸۳). در آزمایش فرنیا و همکاران (فرنیا و همکاران، ۲۰۰۶) تاثیر تنش خشکی بر روی نخود در مرحله رشد رویشی به صورت رشد کم برگ‌ها، قطر کم ساقه‌ها و کوتاهی ارتفاع بوته ظاهر گردید که با کاهش عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت همراه بود.

در آزمایش طلعت و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر استفاده از پلی‌آمین اسپرمین و اپی-براسینولید بر روی ارقام ذرت در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی اسپرمین و اپی‌براسینولید، ارتفاع گیاه را به میزان ۵۵ درصد نسبت به گیاهان بدون محلول‌پاشی افزایش داد.

جدول ۴-۷- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر ارتفاع گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری	غلظت اسپرمیدین	ارتفاع گیاه (cm)	سال	میزان آبیاری	غلظت اسپرمیدین	ارتفاع گیاه (cm)
	(درصد نیاز آبی)	(میلی مولار)			(درصد نیاز آبی)	(میلی مولار)	
اول	۱۰۰	صفر	۹۲/۶۷ a	دوم	۱۰۰	صفر	۵۲fgh
اول	۱۰۰	نیم	۸۴/۰۰ bc	دوم	۱۰۰	نیم	۴۸/۶۷hi
اول	۱۰۰	یک	۸۰/۶۷ c	دوم	۱۰۰	نیم	۵۲fgh
اول	۷۰	صفر	۸۴/۰۰ bc	دوم	۷۰	صفر	۴۹/۳۳ghi
اول	۷۰	نیم	۸۴/۳۳ bc	دوم	۷۰	نیم	۴۶/۶۷ij
اول	۷۰	یک	۸۲/۳۳ bc	دوم	۷۰	یک	۷۴d
اول	۵۰	صفر	۸۵/۶۷ bc	دوم	۵۰	صفر	۵۲fgh
اول	۵۰	نیم	۸۶/۶۷ b	دوم	۵۰	نیم	۵۷e
اول	۵۰	یک	۹۱/۰۰ a	دوم	۵۰	یک	۵۵/۳۳ef
اول	۳۰	صفر	۸۳/۳۳ bc	دوم	۳۰	صفر	۴۴j
اول	۳۰	نیم	۸۴/۶۷ bc	دوم	۳۰	نیم	۵۳/۶۷efg
اول	۳۰	یک	۸۵/۳۳ bc	دوم	۳۰	یک	۵۰.ghi

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۳- تعداد غلاف در گیاه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که در سال‌های مختلف تعداد غلاف گیاه با اختلاف معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) متفاوت بوده است و اثر پلی‌آمین اسپرمیدین، اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه اسپرمیدین، میزان آبیاری و سال نیز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۸- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد غلاف در گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۲۱۳۲۱/۱۲۵**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۴۸/۴۴۴
آبیاری (I)	۳	۶۴۵۹/۲۷۳
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۳۲۹۰/۳۸۴
خطا (اثر متقابل تکرار و آبیاری درون سال)	۱۲	۴۸/۳۱۵
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۶۷۱۷/۱۸۱**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۸۴۲/۵۴۲**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۰۱۰/۳۸۴**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۴۵۶/۳۰۱**
خطا	۳۲	۳۴/۳۰۶

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو سال آزمایش با کاهش میزان آبیاری بر اساس ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی تعداد غلاف در گیاه کاهش معنی‌داری داشته است که این میزان در سال اول ۴۰ و در سال دوم ۴۹ درصد بوده است. استفاده از اسپرمیدین در هر دو سال باعث افزایش تعداد غلاف در گیاه گردید که میزان افزایش تعداد غلاف در سال اول آزمایش با استفاده از اسپرمیدین در غلظت نیم میلی‌مولار در آبیاری براساس ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۳۸، ۴۵، ۱۷ درصد و در سال دوم آزمایش به ترتیب ۵۷، ۸۸، ۱۶ درصد بوده است. غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین نیز در سال اول آزمایش در آبیاری براساس ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۹۰، ۴۵، ۱۱ درصد و در سال دوم آزمایش به ترتیب ۲۴، ۴۸، ۵ درصد تعداد غلاف در گیاه را افزایش داد (جدول ۴-۹).

در آزمایش مفاخری و همکاران (۲۰۱۰) بر روی سه رقم نخود در شرایط تنش خشکی، گیاهان در شرایط بدون تنش بیشترین ارتفاع و تعداد غلاف داشتند که تعداد غلاف بیشتر حاکی از عملکرد دانه بیشتر نیست و بستگی به درصد دانه‌های پر شده و وزن هزار دانه دارد.

جدول ۴-۹- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد غلاف در گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم-

آبیاری							
سال	میزان آبیاری	غلظت اسپرمیدین	تعداد غلاف در	سال	میزان آبیاری	غلظت اسپرمیدین	تعداد غلاف در
	(درصد نیاز آبی)	(میلی مولار)	گیاه		(درصد نیاز آبی)	(میلی مولار)	گیاه
اول	۱۰۰	صفر	۷۸/۰۰ hi	دوم	۱۰۰	صفر	۱۰۶ e
اول	۱۰۰	نیم	۷۶/۳۳ hij	دوم	۱۰۰	نیم	۱۳۹/۷ b
اول	۱۰۰	یک	۱۰۹/۳۰ de	دوم	۱۰۰	یک	۱۸۰ a
اول	۷۰	صفر	۶۴/۰۰ k	دوم	۷۰	صفر	۱۱۷/۷ cd
اول	۷۰	نیم	۷۵/۰۰ hij	دوم	۷۰	نیم	۱۳۶/۷ b
اول	۷۰	یک	۷۱/۳۳ ijk	دوم	۷۰	یک	۱۲۳/۳ c
اول	۵۰	صفر	۵۳/۰۰ l	دوم	۵۰	صفر	۷۲/۳۳ ijk
اول	۵۰	نیم	۷۷/۰۰ hij	دوم	۵۰	نیم	۱۳۵/۷ b
اول	۵۰	یک	۹۴/۶۷ f	دوم	۵۰	یک	۱۰۶/۷ e
اول	۳۰	صفر	۴۶/۶۷ l	دوم	۳۰	صفر	۵۳/۶۷ l
اول	۳۰	نیم	۷۵/۶۷ hij	دوم	۳۰	نیم	۸۴/۳۳ gh
اول	۳۰	یک	۸۸/۶۷ fg	دوم	۳۰	یک	۶۶/۶۷ jk

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در مطالعه مارتینز و همکاران (۲۰۰۷) بر روی تأثیر تنش خشکی روی شش رقم لوبیا معمولی اعمال تنش خشکی باعث کاهش تعداد غلاف در بوته گردید. در مطالعه بر پنبه تحت تنش شوری استفاده از پلی‌آمین پوتریسین (put) باعث افزایش تعداد غوزه در گیاه گردید. تعداد غلاف در سویا نیز با محلول‌پاشی پلی‌آمین اسپرمیدین و اسپرمین تحت شرایط شوری افزایش یافت (العبدی، ۲۰۱۳). در مطالعه مارتینز و همکاران (۲۰۰۷) روی گیاه لوبیا معمولی در شرایط تنش خشکی، کمبود آب باعث کاهش تعداد غلاف در گیاهان شد. در مطالعه اثر تنش خشکی بر سویا تعداد زیادی از گل‌ها و غلاف‌ها ریزش و تعداد غلاف در بوته کاهش یافت. در شرایط تنش با ریزش گل‌ها و غلاف‌ها قدرت انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی گیاه کاهش یافته و عملکرد دانه کاهش محسوسی نشان داد (فرنیا و همکاران، ۲۰۰۶).

#### ۴-۲-۴- تعداد دانه در گیاه

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال بر تعداد دانه در گیاه در شرایط کم‌آبیاری در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد ولی میزان آبیاری در دو سال مورد مطالعه اثر معنی‌داری روی تعداد دانه در گیاه نداشته است. اثر اسپرمیدین و تاثیرات متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، میزان آبیاری و اسپرمیدین بر روی تعداد دانه در گیاه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۴-۱۰).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی تعداد دانه در گیاه کاهش یافت که میزان کاهش در سال اول آزمایش در آبیاری بر اساس ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی در شرایط بدون اسپرمیدین به ترتیب ۲۰ و ۳۱ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳۱ و ۵۲ درصد بوده است. در هر دو سال آزمایش استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین در تنش‌های متوسط به بالا (آبیاری بر اساس ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی) در هر دو غلظت باعث افزایش معنی‌داری بر تعداد دانه در گیاه گردید که میزان افزایش در سال اول در آبیاری بر اساس ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی در غلظت نیم میلی‌مولار به ترتیب ۳۷ و ۸۲ درصد و در غلظت یک میلی‌مولار ۱۶ و ۸۶ درصد بوده است. در سال دوم آزمایش نیز تعداد دانه در گیاه در آبیاری بر اساس ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی به علت استفاده از اسپرمیدین در غلظت نیم میلی‌مولار به ترتیب ۵۲ و ۴۴ درصد و در غلظت یک میلی‌مولار به ترتیب ۲۲ و ۲۱ درصد افزایش یافت (جدول ۴-۱۱).

جدول ۴-۱۰- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد دانه در گیاه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۵۰۷۹۲/۰۱۴**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۲۲۴/۶۹۴
آبیاری (I)	۳	۲۱۹۴۹/۴۵۸**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۱۳۶۳۶/۶۴۴**
خطا	۱۲	۱۰۵/۶۲۰
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۱۳۶۹۶/۱۲۵**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱۰۹۵/۵۱۴**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۲۸۴۰/۴۵۸**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۲۱۸۱/۳۶۶**
خطا	۳۲	۱۰۴/۹۱۰

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

در شرایط تنش خشکی استفاده از محلول پاشی اسپرمین باعث افزایش ۱۰۳ درصدی تعداد دانه در گیاه ذرت نسبت به شرایط بدون اسپرمین گردید (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه فاروق و همکاران (۲۰۰۹) بر محلول پاشی پلی آمین ها بر روی برنج در شرایط خشکی نتایج مشابه گزارش شده است.

جدول ۴-۱۱- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد دانه در سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری	غلظت	تعداد دانه در	سال	میزان آبیاری	غلظت	تعداد دانه در
	(درصد نیاز آبی)	(میلی مولار)	گیاه		(درصد نیاز آبی)	(میلی مولار)	گیاه
اول	۱۰۰	صفر	۱۲۲ kl	دوم	۱۰۰	صفر	۲۴۳ d
اول	۱۰۰	نیم	۱۴۸ ij	دوم	۱۰۰	نیم	۲۶۷ c
اول	۱۰۰	یک	۱۷۵ g	دوم	۱۰۰	یک	۳۴۶ a
اول	۷۰	صفر	۱۲۴ kl	دوم	۷۰	صفر	۲۴۴ d
اول	۷۰	نیم	۱۵۶ hi	دوم	۷۰	نیم	۲۲۳ e
اول	۷۰	یک	۱۱۸ kl	دوم	۷۰	یک	۲۹۵ b
اول	۵۰	صفر	۹۸ mn	دوم	۵۰	صفر	۱۶۸ gh
اول	۵۰	نیم	۱۳۴ jk	دوم	۵۰	نیم	۲۵۵ cd
اول	۵۰	یک	۱۱۴ lm	دوم	۵۰	یک	۲۰۶ f
اول	۳۰	صفر	۸۴ n	دوم	۳۰	صفر	۱۱۸ kl
اول	۳۰	نیم	۱۵۲ hij	دوم	۳۰	نیم	۱۷۰ gh
اول	۳۰	یک	۱۵۶ hi	دوم	۳۰	یک	۱۴۳ ij

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۵- عملکرد دانه

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه در دو سال مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشته است و اثر اسپرمیدین، اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، میزان آبیاری و پلی‌آمین اسپرمیدین در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۴-۱۲).

جدول ۴-۱۲- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه تک‌بوته سویا رقم کاسپین در شرایط کم-آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۴۶۶۱۸/۲۹۳**
خطا(تکرار درون سال)	۴	۱۱/۶۲۷
آبیاری (I)	۳	۴۳۹۶/۰۰۳
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۱۵۱۸/۰۲۱
خطا(اثر متقابل تکرار و آبیاری درون سال)	۱۲	۱۰/۶۷۲
پلی‌آمین اسپرمیدین (S)	۲	۲۳۰۹/۱۹۷**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱۳۱۷/۶۲۴**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۰۷۲/۶۰۸**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۳۷۸/۵۲۸**
خطا	۳۲	۹/۷۴۳

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سال دوم آزمایش عملکرد دانه بیشترین مقدار بوده است (۱۲۲/۸ گرم در گیاه) به طوری که نسبت به سال اول در شرایط مشابه ۱/۶۴ برابر افزایش یافت و کمترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی در سال اول آزمایش به دست آمد (۱۶/۸ گرم در گیاه). با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش گردید که میزان کاهش در شرایط بدون اسپرمیدین در سال اول آزمایش در آبیاری بر اساس ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۵۴، ۶۳، ۶۴ درصد و در سال دوم به ترتیب ۶۱، ۷۱، ۷۴ درصد بوده است و استفاده از غلظت نیم میلی‌مولار اسپرمیدین در سال اول آزمایش عملکرد دانه را در تیمارهای آبیاری ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۵۵، ۶۴، ۷۱ درصد و غلظت یک میلی‌مولار به ترتیب ۲۴، ۵۴، ۴۲ درصد افزایش داد. در سال دوم آزمایش استفاده از غلظت نیم میلی‌مولار اسپرمیدین عملکرد دانه را در تیمار آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی به میزان ۸۴ درصد و در آبیاری بر اساس ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۲/۱ و ۱/۱۸ برابر نسبت به شاهد (بدون اسپرمیدین) افزایش داد. غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین



نیز عملکرد دانه را در تیمار آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی به میزان ۴۱ درصد و در آبیاری بر اساس ۵۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۱/۴ و ۱/۳۵ برابر نسبت به شاهد (بدون اسپرمیدین) افزایش داد (جدول ۴-۱۳).

امروزه اکثر محققان بر این عقیده‌اند که در تنش خشکی، بسته‌شدن روزنه‌ها (در نتیجه کمبود CO<sub>2</sub> در کلروپلاست‌ها)، عامل اصلی کاهش فتوسنتز در تنش‌های متوسط می‌باشد (باسو و همکاران، ۲۰۰۴؛ فلکساز و مدرانو، ۲۰۰۲). عملکرد دانه در نخود تحت تاثیر تنش خشکی کاهش یافت و تنش در مرحله زایشی عملکرد را به میزان بیشتری کاهش داد، به طوری که عملکرد دانه تحت شرایط خشکی در مرحله زایشی ۱۰ درصد کمتر از تیمار تنش در مرحله رویشی بوده است. کاهش در عملکرد بقولات تحت شرایط خشکی بیشتر به علت کاهش تعداد دانه در غلاف می‌باشد (مفاخری و همکاران، ۲۰۱۰). در صورت وقوع تنش آب در مرحله گیاهچه، عملکرد سویا تا ۲۰ درصد و در مرحله گلدهی، عملکرد آن به دلیل کاهش میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق تا ۴۶ درصد کاهش یافت (وو و همکاران، ۲۰۰۱؛ اوهاشی و همکاران، ۲۰۰۶).

در مطالعه محققان روی تاثیر تنش خشکی، کاهش عملکرد دانه و رشد کم گیاه مشاهده گردید، که عملکرد پایین تحت تنش خشکی به تولید زیاد گونه‌های فعال اکسیژن نسبت داده شده است (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۹). گونه‌های فعال اکسیژن موجب تنش اکسیداتیو به لیپیدها و افزایش میزان مالون دی‌آلدئید می‌گردند. تجمع این مواد باعث ناپایداری غشاء سلولی و آسیب مستقیم به DNA، رنگدانه‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها و دیگر ملکول‌های سلولی ضروری می‌شوند که مرگ سلول و کاهش ماده خشک را به همراه خواهد داشت (میلر و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۴-۱۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد دانه تک‌بوته سویا رقم کاسپین در شرایط کم-

آبیاری							
سال	میزان آبیاری	غلظت	عملکرد دانه	سال	میزان آبیاری	غلظت	عملکرد دانه تک
	(درصد نیاز آبی)	اسپرمیدین	تک‌بوته (گرم)		(درصد نیاز آبی)	اسپرمیدین	بوته (گرم)
		(میلی‌مولار)				(میلی‌مولار)	
اول	۱۰۰	صفر	۴۶/۴۳ g	دوم	۱۰۰	صفر	۱۲۲/۸ a
اول	۱۰۰	نیم	۳۳/۲۷ hij	دوم	۱۰۰	نیم	۹۹/۱ c
اول	۱۰۰	یک	۳۴/۲۷ hi	دوم	۱۰۰	یک	۱۲۱ a
اول	۷۰	صفر	۲۱/۲۳ mn	دوم	۷۰	صفر	۴۷/۴۷ g
اول	۷۰	نیم	۳۲/۸۷ hij	دوم	۷۰	نیم	۸۷/۲۱ d
اول	۷۰	یک	۲۶/۶۳ klm	دوم	۷۰	یک	۶۷/۱۳ f
اول	۵۰	صفر	۱۷/۲۳ n	دوم	۵۰	صفر	۳۵/۱۳ h
اول	۵۰	نیم	۲۸/۲۷ jkl	دوم	۵۰	نیم	۱۰۸/۴ b
اول	۵۰	یک	۲۶/۵۰ klm	دوم	۵۰	یک	۸۴/۲۶ d
اول	۳۰	صفر	۱۶/۸۰ n	دوم	۳۰	صفر	۳۱/۴۹ hijk
اول	۳۰	نیم	۲۸/۸۰ ijkl	دوم	۳۰	نیم	۶۸/۸ ef
اول	۳۰	یک	۲۳/۷۷ lm	دوم	۳۰	یک	۷۳/۹۵ e

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۶- عملکرد ماده خشک

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که عملکرد ماده خشک در دو سال مطالعه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشته است، اما تاثیر میزان آبیاری بر روی عملکرد ماده خشک در دو سال مطالعه اختلاف معنی‌داری نشان نداد. اثر پلی‌آمین اسپرمیدین، اثر متقابل دو گانه و سه گانه پلی‌آمین اسپرمیدین، سال و میزان آبیاری بر روی عملکرد ماده خشک در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشته است (جدول ۴-۱۴).

جدول ۴-۱۴- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد ماده خشک تک بوته سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۵۴۰۸/۶۰۹**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۱/۲۶۸
آبیاری (I)	۳	۶۹۸/۱۳۸**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۹۲/۱۶۹**
خطا	۱۲	۲/۶۶۵
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۱۰۶۴/۵۷۳**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۳۵۸/۰۰۶**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۵۹/۰۳۱**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۳۰۸/۵۳۳**
خطا	۳۲	۵/۹۹۷

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی عملکرد ماده خشک در سال اول آزمایش ۲۵ و در سال دوم ۶۳ درصد کاهش یافت و استفاده از اسپرمیدین در غلظت‌های نیم و یک میلی مولار باعث افزایش عملکرد ماده خشک در تیمارهای آبیاری بر اساس ۷۰،۵۰،۳۰ درصد نیاز آبی گردید که میزان افزایش در غلظت نیم میلی مولار در سال اول به ترتیب ۴۳،۲۴،۱۷ درصد و در غلظت یک میلی مولار به ترتیب ۳۳،۳۹،۲۰ درصد بوده است. در سال دوم آزمایش نیز استفاده از غلظت نیم میلی مولار اسپرمیدین در آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی باعث افزایش عملکرد ماده خشک تک بوته به میزان ۹۱ درصد نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین گردید و با افزایش تنش خشکی (میزان آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی) استفاده از غلظت نیم

میلی مولار اسپرمیدین باعث افزایش عملکرد ماده خشک به میزان  $1/7$  برابر نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین گردید. به همین ترتیب غلظت یک میلی مولار اسپرمیدین باعث افزایش عملکرد ماده خشک تک بوته به میزان ۵۲ درصد نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین گردید و با افزایش تنش خشکی (میزان آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی) استفاده از غلظت نیم میلی مولار اسپرمیدین باعث افزایش عملکرد ماده خشک به میزان  $1/2$  برابر نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین گردید (جدول ۴-۱۵).

در مطالعه بر روی گیاهچه‌های سویا تحت تنش خشکی عملکرد ماده خشک به میزان معنی-داری کاهش یافت (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ شن و همکاران، ۲۰۱۰). تنش خشکی از دو طریق باعث کاهش تولید ماده خشک گیاه می‌گردد: (۱) با بسته شدن روزنه‌های گیاه فتوسنتز کاهش می‌یابد و (۲) با تقلیل فتوسنتز جاری گیاه و کم شدن انتقال کربوهیدرات‌ها به ریشه و گره‌های تثبیت کننده نیتروژن، تثبیت نیتروژن نیز کاهش می‌یابد که این امر کاهش تولید ماده خشک را تشدید می‌نماید (فرنیا و همکاران، ۲۰۰۶).

استفاده از اسپرمین در ذرت تحت تنش خشکی باعث افزایش ۹۸ درصدی وزن خشک اندام هوایی تک بوته نسبت به شرایط بدون اسپرمین گردید، که حاکی از تأثیر اسپرمین بر رشد گیاه در شرایط تنش خشکی بوده است (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۴-۱۵- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد ماده خشک تک بوته سویا رقم کاسپین در

شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	عملکرد ماده خشک تک بوته (گرم)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	عملکرد ماده خشک تک بوته (گرم)
اول	۱۰۰	صفر	۳۰/۴۷ gh	دوم	۱۰۰	صفر	۶۶/۶۱b
اول	۱۰۰	نیم	۳۵/۹۷ ef	دوم	۱۰۰	نیم	۶۵/۷۵b
اول	۱۰۰	یک	۴۰/۹۷ d	دوم	۱۰۰	یک	۶۸/۸۹b
اول	۷۰	صفر	۲۴/۹۷ ij	دوم	۷۰	صفر	۶۵/۲۴b
اول	۷۰	نیم	۳۵/۷۳ ef	دوم	۷۰	نیم	۶۵/۵۴b
اول	۷۰	یک	۳۳/۲۷ fg	دوم	۷۰	یک	۶۴/۲۵b
اول	۵۰	صفر	۲۷/۸۳ hi	دوم	۵۰	صفر	۴۲/۳۶d
اول	۵۰	نیم	۳۴/۴۰ efg	دوم	۵۰	نیم	۸۱/۰۹a
اول	۵۰	یک	۳۸/۷۷ de	دوم	۵۰	یک	۶۴/۳۴b
اول	۳۰	صفر	۲۲/۷۷ j	دوم	۳۰	صفر	۲۴/۸۲ij
اول	۳۰	نیم	۲۶/۶۷ hij	دوم	۳۰	نیم	۶۶/۷۱b
اول	۳۰	یک	۲۷/۴۳ hi	دوم	۳۰	یک	۵۴/۷۲ c

در هر ستون میانگین های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۴-۲-۷- وزن هزار دانه

تجزیه مرکب داده ها نشان داد که تاثیر سال بر روی وزن هزار دانه تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد داشته، درحالی که اثر پلی آمین اسپرمیدین و اثر متقابل آن با سال بر روی وزن هزار دانه اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بوده است. اثر متقابل میزان آبیاری و پلی آمین اسپرمیدین و اثر متقابل سال و میزان آبیاری و اسپرمیدین بر روی وزن هزار دانه اختلاف معنی داری نشان نداد (جدول ۴-۱۶).

جدول ۴-۱۶- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن هزار دانه سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۲۰۹۰۹۶۴۳/۳۴**
خطا(تکرار درون سال)	۴	۱۶/۸۲
آبیاری (I)	۳	۴۰۱۱۲/۰۱
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۳۸۷۷۷/۶۳
خطا(اثر متقابل تکرار و آبیاری درون سال)	۱۲	۱۹/۷۷
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۳۳۲۶۶/۲۸*
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۳۲۴۰۵/۱۹*
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۱۲۷۷/۹۹
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۱۱۳۲۵/۹۲
خطا	۳۲	۶۶۸۹/۲۶

\*\* و \* : معنی دار به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار کم آبیاری تأثیری روی وزن هزاردانه نداشته است. تعداد غلاف در بوته با اعمال تنش خشکی تغییر یافت اما تعداد دانه در گیاه و وزن هزاردانه تحت تأثیر قرار نگرفت، که با نتایج فرنیو و همکاران (۲۰۰۶) و مفاخری و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

#### ۴-۲-۸- رنگدانه‌های فتوسنتزی

##### ۴-۲-۸-۱- کلروفیل a

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال بر روی میزان کلروفیل a در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار داشته ولی میزان آبیاری در دو سال مطالعه بر روی میزان کلروفیل a اختلاف معنی- دار نشان نداد. اثر اسپرمیدین و تاثیرات متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، میزان آبیاری و پلی آمین اسپرمیدین در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار نشان داد(جدول ۴-۱۷).

جدول ۴-۱۷- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل a سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۰/۷۷۱*
خطا (تکرار درون سال)	۴	۰/۰۸۱
آبیاری (I)	۳	۳/۵۸۵**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۰/۴۰۱
خطا	۱۲	۰/۰۷۹
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۹/۵۱۸**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱/۲۸۹**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۷/۳۰۵**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۰/۹۱۱**
خطا	۳۲	۰/۰۸۹

\*\* و \* : معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل a افزایش یافت و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین در غلظت‌های نیم و یک میلی مولار باعث حفظ میزان کلروفیل a در شرایط آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گردید. کاهش میزان کلروفیل a در تنش خشکی با شدت بالا (آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی) مشاهده شد که در این شرایط استفاده از غلظت نیم میلی-مولار باعث افزایش میزان کلروفیل a به میزان ۴۰ درصد در سال اول آزمایش و ۸ درصد در سال دوم گردید اما غلظت یک میلی مولار در سال اول میزان کلروفیل a را ۱/۵ برابر و در سال دوم ۷۳ درصد افزایش داد، که به نظر می‌رسد تاثیر غلظت یک میلی مولار اسپرمیدین بر روی میزان کلروفیل a بیشتر از غلظت نیم میلی مولار آن بوده است (جدول ۴-۱۸).

در مطالعه تاثیر کمبود آب بر روی سویا میزان کلروفیل برگ‌ها تا ۱۰ درصد کاهش یافت (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷). در آزمایشی که بر روی سویا در تنش خشکی انجام شد، استفاده از پلی-آمین‌های پوتریسین (put) و اسپرمیدین (spd) تاثیرات تنش را کم می‌کند (نیار، ۲۰۰۵). بسته به شدت و مدت تنش خشکی در گونه‌های مختلف ممکن است میزان کلروفیل کاهش یابد. کاهش کلروفیل کل به هنگام تنش خشکی حاکی از کاهش ظرفیت برای برداشت نور می‌باشد و آسیب به کلروپلاست از طریق گونه‌های فعال اکسیژن صورت می‌گیرد (مفاخری و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۴-۱۸- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل a سویا رقم کاسپین در شرایط کم-

آبیاری							
سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	کلروفیل a (میلی گرم برگم وزن تازه برگ)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	کلروفیل a (میلی گرم برگم وزن تازه برگ)
اول	۱۰۰	صفر	۲/۳۸ jkl	دوم	۱۰۰	صفر	۲/۲۵ jkl
اول	۱۰۰	نیم	۲/۲۲ jkl	دوم	۱۰۰	نیم	۲/۴۱ jkl
اول	۱۰۰	یک	۴/۱۸ cd	دوم	۱۰۰	یک	۴/۱۷ cd
اول	۷۰	صفر	۴/۹۲ b	دوم	۷۰	صفر	۵/۷۲ a
اول	۷۰	نیم	۲/۲۰ jkl	دوم	۷۰	نیم	۲/۳۰ jkl
اول	۷۰	یک	۱/۹۱ lm	دوم	۷۰	یک	۲/۹۷ ghi
اول	۵۰	(صفر)شاهد	۴/۲۵ cd	دوم	۵۰	صفر	۴/۴۵ bc
اول	۵۰	نیم	۲/۷۷ hij	دوم	۵۰	نیم	۲/۶۱ ijk
اول	۵۰	یک	۳/۲۸ fgh	دوم	۵۰	یک	۳/۵۲ ef
اول	۳۰	(صفر)شاهد	۱/۹۳ lm	دوم	۳۰	صفر	۱/۵۴ m
اول	۳۰	نیم	۲/۰۹ kl	دوم	۳۰	نیم	۲/۱۵ kl
اول	۳۰	یک	۳/۳۴ fg	دوم	۳۰	یک	۳/۸۷ de

در هر ستون میانگین های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.



۴-۲-۸-۲- کلروفیل b

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، آبیاری بر روی میزان کلروفیل b اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نشان داد و اثر پلی‌آمین اسپرمیدین و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، آبیاری و اسپرمیدین بر روی میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۱۹).

جدول ۴-۱۹- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل b سویا رقم کاسپین در شرایط کم‌آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۱/۸۵۲*
خطا (تکرار درون سال)	۴	۰/۲۶۲
آبیاری (I)	۳	۱۲/۰۹۲*
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۱/۲۶۱
خطا	۱۲	۰/۲۵۵
پلی‌آمین اسپرمیدین (S)	۲	۲۹/۰۱۷**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۴/۰۲۰**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۲۳/۶۵۵**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۲/۹۳۳**
خطا	۳۲	۰/۲۸۷

\*\* و \* : معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو سال آزمایش با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی در شرایط بدون استفاده از اسپرمیدین میزان کلروفیل b روند افزایشی سپس کاهشی داشته، اما کاهش میزان کلروفیل b از میزان آن در شرایط آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشتر بوده است. تاثیر استفاده از اسپرمیدین در هر دو غلظت نیم و یک میلی‌مولار باعث افزایش

مقاومت به تنش خشکی و کاهش میزان کلروفیل b به مقدار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گردید (جدول ۴-۲۰).

تنش شدید خشکی با تأثیر بر اجزاء کلروفیل و از طریق آسیبی که بر اجزاء فتوسنتزی می‌گذارد، باعث تغییر در میزان کلروفیل در نتیجه جلوگیری از فتوسنتز در گیاهان می‌گردد (مفاخری و همکاران، ۲۰۱۰). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی واریته‌های آفتابگردان گزارش شد که میزان کلروفیل a، کلروفیل b و میزان کل کلروفیل کاهش یافت (منیوانان و همکاران، ۲۰۰۷). کاهش در میزان کلروفیل تحت تنش خشکی اساساً نتیجه آسیب به کلروپلاست از طریق گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (مفاخری و همکاران، ۲۰۰۷).

کاهش یا عدم کاهش میزان کلروفیل در طول تنش خشکی در گونه‌های دیگر نیز گزارش شده است که بسته به مدت و شدت خشکی دارد (نیاچیرو و همکاران، ۲۰۰۱). کاهش کلروفیل کل نیز حاکی از کاهش ظرفیت برای جذب نور خورشید می‌باشد. در مطالعه اثر تنش خشکی بر روی ارقام ذرت میزان کلروفیل a و b به طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش زیاد کلروفیل a نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث آسیب شدید به مراکز واکنش فتوسنتز، فتوسیستم نوری (I) و (II) می‌شود (ایفگلو و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۴-۲۰- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کلروفیل b سویارقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپریمیدین (میلی مولار)	کلروفیل (mg/g.FW)b	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپریمیدین (میلی مولار)	کلروفیل (mg/g.FW)
اول	۱۰۰	صفر	۴/۲۵ jkl	دوم	۱۰۰	صفر	۴/۵jkl
اول	۱۰۰	نیم	۴/۵۴ jkl	دوم	۱۰۰	نیم	۴/۲۱jkl
اول	۱۰۰	یک	۷/۷۶ cd	دوم	۱۰۰	یک	۷/۷۷cd
اول	۷۰	صفر	۱۰/۴۷ a	دوم	۷۰	صفر	۹/۰۳b
اول	۷۰	نیم	۴/۳۷ jkl	دوم	۷۰	نیم	۴/۲ jkl
اول	۷۰	یک	۵/۵۹ ghi	دوم	۷۰	یک	۳/۶۶lm
اول	۵۰	صفر	۸/۱۷ bc	دوم	۵۰	صفر	۷/۸cd
اول	۵۰	نیم	۵/۰۱ ijk	دوم	۵۰	نیم	۵/۱۹hij
اول	۵۰	یک	۶/۶۶ ef	دوم	۵۰	یک	۶/۱fgh
اول	۳۰	صفر	۷/۱۰ de	دوم	۳۰	صفر	۶/۲۱efg
اول	۳۰	نیم	۴/۱۰ kl	دوم	۳۰	نیم	۳/۹۱ lm
اول	۳۰	یک	۲/۹۹ m	دوم	۳۰	یک	۳/۶۵ lm

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۸-۳- کاروتنوئیدها

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال، اسپریمیدین و نیز اثرمتقابل دوگانه و سه‌گانه

سال، آبیاری و اسپریمیدین بر روی میزان کاروتنوئیدها در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول

۴-۲۱).

جدول ۴-۲۱- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کاروتنوئیدها سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۲۸۷/۵۲۰۰**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۰/۰۰۰۷
آبیاری (I)	۳	۸/۸۸۴۶**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۱/۲۱۲۳**
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۶
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۲/۷۹۱۹**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱/۴۳۱۷**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۲/۷۱۸۶**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۳/۱۵۷۱**
خطا	۳۲	۰/۰۰۰۵

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو سال آزمایش با کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی در شرایط بدون استفاده از اسپرمیدین میزان کاروتنوئیدها روند افزایشی سپس در شدت بالای تنش خشکی (آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی) کاهش یافت. تاثیر استفاده از اسپرمیدین در هر دو غلظت نیم و یک میلی مولار باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها در شرایط آبیاری بر اساس ۱۰۰ تا ۳۰ درصد نیاز آبی گردید (جدول ۴-۲۲).

گیاهان دارای مقادیر زیادی از کاروتنوئیدها هستند که به‌عنوان یک خنثی کننده غیرآنزیمی گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌نمایند (جونگ و همکاران، ۲۰۰۰). کاروتنوئیدها مسئول خنثی سازی اکسیژن منفرد می‌باشند. از این رو پیشنهاد شده است که میزان بالای کاروتنوئیدها در ژنوتیپ‌ها یک معیار تحمل به خشکی محسوب می‌شود (چاندراسکار و همکاران، ۲۰۰۰). در آزمایشات متعددی بر

روی گیاهان مختلف تحت تنش خشکی، کاهش میزان کاروتنوئیدها همراه با تقلیل میزان کلروفیل گزارش شده است (دیکو و همکاران، ۲۰۰۰؛ نیار و گوپتا، ۲۰۰۶؛ ایفگلو و همکاران، ۲۰۰۹).

#### ۹-۲-۴- نشت الکترولیت (EL)

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال بر روی نشت الکترولیت (EL) اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نشان داد و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، آبیاری و اسپرمیدین بر روی نشت الکترولیت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۲۳).

جدول ۴-۲۲- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان کاروتنوئیدهای سویا رقم کاسپین در شرایط کم-

#### آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	کاروتنوئیدها (mg/g.FW)	سال	کاروتنوئیدها (mg/g.FW)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	سال
اول	۱۰۰	صفر	۰/۳۵ s	دوم	۳/۹۶ h	صفر	۱۰۰	اول
اول	۱۰۰	نیم	۰/۴۶ r	دوم	۴/۲۹ f	نیم	۱۰۰	اول
اول	۱۰۰	یک	۰/۴۶ r	دوم	۶/۱۹ c	یک	۱۰۰	اول
اول	۷۰	صفر	۱/۷۹ l	دوم	۶/۶۸ b	صفر	۷۰	اول
اول	۷۰	نیم	۱/۲۳ P	دوم	۵/۳۳ d	نیم	۷۰	اول
اول	۷۰	یک	۱/۶۵ m	دوم	۶/۱۷ c	یک	۷۰	اول
اول	۵۰	صفر	۱/۴۹ n	دوم	۷/۶۷ a	صفر	۵۰	اول
اول	۵۰	نیم	۱/۳۸ o	دوم	۳/۸۰ i	نیم	۵۰	اول
اول	۵۰	یک	۱/۹۲ k	دوم	۴/۰۰ g	یک	۵۰	اول
اول	۳۰	صفر	۰/۲۱ t	دوم	۳/۷۶ j	صفر	۳۰	اول
اول	۳۰	نیم	۰/۱۰ u	دوم	۴/۴۰ e	نیم	۳۰	اول
اول	۳۰	یک	۱/۱۶ q	دوم	۳/۹۵ h	یک	۳۰	اول

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۴-۲۳- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان نشت الکترولیت (EL) سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۴۳۲/۵۷۲*
خطا (تکرار درون سال)	۴	۲۱/۲۳۰
آبیاری (I)	۳	۵۳/۰۳۲
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۶۲/۹۸۵
خطا	۱۲	۱۹/۱۰۶
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۱۸/۵۶۴
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱۰۴۴/۲۷۳**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۱۱/۲۲۰**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۱۸۹/۰۱۲**
خطا	۳۲	۷/۵۶۸

\*\* و \* : معنی دار به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش خشکی و کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی در هر دو سال آزمایش، نشت الکترولیت افزایش یافت ولی استفاده از اسپرمیدین در غلظت نیم و یک میلی مولار از نشت الکترولیت جلوگیری نمود. استفاده از اسپرمیدین در غلظت نیم میلی مولار در سال اول آزمایش در آبیاری بر اساس ۷۰،۵۰،۳۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش نشت الکترولیت به ترتیب به میزان ۷،۸،۱۰ درصد و در غلظت یک میلی مولار به ترتیب به میزان ۳۷،۱۸،۱۶ درصد گردید. در سال دوم آزمایش نیز استفاده از اسپرمیدین در غلظت نیم میلی مولار در آبیاری بر اساس ۷۰،۵۰،۳۰ درصد نیاز آبی نشت الکترولیت به ترتیب به میزان ۳۲،۳۶،۳۷ درصد

کاهش یافت و در غلظت یک میلی‌مولار به ترتیب به میزان ۱۸،۲۸،۳۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴-۲۴).

گزارشات دیگر نیز حاکی از آن است که هر چند در شرایط تنش خشکی، نشت الکترولیت بیشتر می‌شود اما در گیاهان تیمار شده با اسپرمیدین، میزان نشت کمتر می‌گردد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹؛ لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ طلعت و همکاران، ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد پلی‌آمین‌ها می‌توانند پایداری و نفوذپذیری غشاء را از طریق اتصال به فسفولیپیدهای دارای بار منفی حفظ نمایند (تاکاهاشی و کاکه‌ی، ۲۰۰۹). در آزمایشی که بر روی برنج تحت شرایط تنش شوری انجام شد استفاده از اسپرمین و اسپرمیدین باعث حفاظت از غشاء پلاسمایی و در نتیجه افزایش تحمل به شوری گردید. اسپرمین و اسپرمیدین به‌طور معنی‌داری از نشت الکترولیت جلوگیری کرده و ارتباط مثبتی بین تحمل به شوری و افزایش تجمع پلی‌آمین‌ها وجود داشته است (چتو‌پدها یا و همکاران، ۲۰۰۲).

جدول ۴-۲۴- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان نشت الکترولیت (EL) سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	نشت الکترولیت (%)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	نشت الکترولیت (%)
اول	۱۰۰	صفر	۶۳/۳۳ ef	دوم	۱۰۰	صفر	۶۱/۱۸ f
اول	۱۰۰	نیم	۴۶/۰۰ hi	دوم	۱۰۰	نیم	۴۸/۴۷ h
اول	۱۰۰	یک	۴۲/۶۷ i	دوم	۱۰۰	یک	۵۶/۴۳ g
اول	۷۰	صفر	۶۶/۶۷ e	دوم	۷۰	صفر	۷۱/۷۹ d
اول	۷۰	نیم	۶۱/۶۷ f	دوم	۷۰	نیم	۴۸/۹۳ h
اول	۷۰	یک	۴۲/۰۰ i	دوم	۷۰	یک	۵۴/۳ g
اول	۵۰	صفر	۸۱/۰۰ b	دوم	۵۰	صفر	۷۶/۰۱ c
اول	۵۰	نیم	۷۴/۶۷ cd	دوم	۵۰	نیم	۴۸/۷۴ h
اول	۵۰	یک	۶۶/۶۷ e	دوم	۵۰	یک	۵۴/۳۵ g
اول	۳۰	صفر	۸۵/۰۰ a	دوم	۳۰	صفر	۷۶/۷ c
اول	۳۰	نیم	۷۶/۶۷ c	دوم	۳۰	نیم	۴۸/۱۱ h
اول	۳۰	یک	۷۱/۰۰ d	دوم	۳۰	یک	۵۳/۷۵ g

در هر ستون میانگین های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.



#### ۴-۲-۱۰- شاخص پایداری غشاء (MSI)

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال، اسپرمیدین و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، آبیاری، اسپرمیدین بر روی شاخص پایداری غشاء تاثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بوده است (جدول ۴-۲۵).

جدول ۴-۲۵- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان شاخص پایداری غشاء سویا رقم کاسپین در شرایط کم-آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۰۵۸/۷۶۷**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۵/۴۳۷
آبیاری (I)	۳	۱۱۹۵/۹۸۶**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۱۱۵۹/۰۹۸**
خطا	۱۲	۸/۰۹۳
پلی‌آمین اسپرمیدین (S)	۲	۸۴۵/۲۰۳**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۲۲۳/۴۸۰**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۸۳۸/۶۱۹**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۱۲۸/۹۹۲**
خطا	۳۲	۷/۳۵۷

\*\* و \* : معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول آزمایش با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی استفاده از غلظت نیم میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش ۸۰ درصد شاخص پایداری غشاء گردید در حالی که استفاده از غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین این شاخص را ۱/۱۳ برابر نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین افزایش داد. در سال دوم نیز با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی استفاده از غلظت نیم میلی‌مولار اسپرمیدین شاخص پایداری غشاء را ۳/۷ برابر نسبت به شرایط بدون

اسپرمیدین افزایش داد در حالی که استفاده از غلظت یک میلی مولار اسپرمیدین باعث افزایش این شاخص به میزان ۲/۴ برابر نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین گردید (جدول ۴-۲۶).

در مطالعه بر روی ارقام ذرت تحت شرایط تنش خشکی کمبود آب به طور معنی داری شاخص پایداری غشاء در برگ‌های بدون تیمار با اسپرمین کاهش یافت و با محلول پاشی اسپرمین میزان این شاخص را بهبود بخشید (طلعت و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۴-۲۶- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص پایداری غشاء (MSI) سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	شاخص پایداری غشاء (%)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	شاخص پایداری غشاء (%)
اول	۱۰۰	صفر	۷۱/۵۸ab	دوم	۱۰۰	صفر	۵۳/۶۷ g
اول	۱۰۰	نیم	۷۵/۲۱a	دوم	۱۰۰	نیم	۵۹/۶۷ ef
اول	۱۰۰	یک	۶۷/۱۴bc	دوم	۱۰۰	یک	۶۰/۳۳ def
اول	۷۰	صفر	۶۶/۹bc	دوم	۷۰	صفر	۵۶/۳۳ fg
اول	۷۰	نیم	۷۱/۷۹ab	دوم	۷۰	نیم	۶۶/۰۰ c
اول	۷۰	یک	۶۶/۱۹c	دوم	۷۰	یک	۵۶/۳۳ fg
اول	۵۰	صفر	۶۴/۶۷cd	دوم	۵۰	صفر	۵۷/۰۰ fg
اول	۵۰	نیم	۷۳/۵۳a	دوم	۵۰	نیم	۶۴/۳۳ cde
اول	۵۰	یک	۷۵/۰۲a	دوم	۵۰	یک	۶۵/۳۳ c
اول	۳۰	صفر	۱۶/۰۸i	دوم	۳۰	صفر	۳۰/۰۰ h
اول	۳۰	نیم	۷۵/۲۶a	دوم	۳۰	نیم	۶۴/۰۰ cde
اول	۳۰	یک	۵۴/۶۵ g	دوم	۳۰	یک	۵۴/۰۰ g

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

۴-۲-۱۱- محتوای نسبی آب برگ (RWC)

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال بر روی این شاخص اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشته است و اثر اسپرمیدین، اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، آبیاری و اسپرمیدین در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۴-۲۷).

جدول ۴-۲۷- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان RWC سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۵۵۵/۵۵۶**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۱۰/۴۷۲
آبیاری (I)	۳	۳۷۵/۵۵۶
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۵۴/۸۱۵
خطا (اثر متقابل تکرار و آبیاری درون سال)	۱۲	۱۱/۳۲۴
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۱۲۱۳/۰۹۷**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱۴۱۴/۹۳۰**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۲۶/۰۹۷**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۲۹۴/۹۶۸**
خطا	۳۲	۱۱/۴۸۶

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

در هر دو سال آزمایش با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ (RWC) اختلاف معنی‌داری با شاهد داشته است به طوری که در سال اول آزمایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۳۶ درصد و در سال دوم ۴۳ درصد کاهش یافت. استفاده از اسپرمیدین در غلظت های نیم و یک میلی‌مولار باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط کم- آبیاری گردید. در سال اول آزمایش با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی استفاده از غلظت نیم و یک میلی‌مولار به ترتیب باعث افزایش ۶۳ و ۵۸ درصد محتوای نسبی آب برگ گردید. در سال دوم آزمایش با کاهش میزان آبیاری به ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد نیاز آبی استفاده از غلظت نیم میلی‌مولار اسپرمیدین، محتوای نسبی آب برگ را به ترتیب ۸۸، ۵۱، ۴۵ درصد افزایش داد و غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ به ترتیب ۸۳، ۴۳، ۳۸ درصد گردید (جدول ۴-۲۸).

به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب آزاد موجود خود را از طریق افزایش مواد محلول در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از خاک با مکش بیشتری وارد گیاه شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (جهان و همکاران، ۱۳۹۳). با افزایش تنش رطوبتی، محتوای نسبی آب برگ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) کاهش یافت و علت این کاهش، کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشک بوده است (جهان و همکاران، ۱۳۹۳). در آزمایش فاروق و همکاران (۲۰۱۰) بر روی برنج در تنش خشکی، محلول‌پاشی با اسپرمین میزان نسبی آب برگ را افزایش داد. اگرچه تنش خشکی میزان آب گیاه را کاهش می‌دهد، استفاده خارجی از پلی‌آمین‌ها وضعیت آب گیاه را احتمالاً از طریق تحریک پمپ پروتون، فعال کردن اسیدنوکلئیک، سنتز پروتئین و تنظیم بیان ژن حفظ می‌نمایند.

جدول ۴-۲۸- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای نسبی آب برگ (RWC) سویا رقم کاسپین

سال	میزان آبیاری	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	محتوای نسبی آب برگ (%)	سال	میزان آبیاری	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	محتوای نسبی آب برگ (%)
اول	۱۰۰	صفر	۸۲/۳۳ abc	دوم	۱۰۰	صفر	۷۷/۶۷c
اول	۱۰۰	نیم	۸۴/۶۷ ab	دوم	۱۰۰	نیم	۸۶ ab
اول	۱۰۰	یک	۸۳/۶۷ abc	دوم	۱۰۰	یک	۸۳ abc
اول	۷۰	صفر	۸۰/۳۳ abc	دوم	۷۰	صفر	۶۰ d
اول	۷۰	نیم	۸۴/۰۰ abc	دوم	۷۰	نیم	۸۷ a
اول	۷۰	یک	۸۴/۰۰ abc	دوم	۷۰	یک	۸۲/۶۷ abc
اول	۵۰	صفر	۸۳/۰۰ abc	دوم	۵۰	صفر	۵۶ de
اول	۵۰	نیم	۸۵/۶۷ ab	دوم	۵۰	نیم	۸۴/۳۳ abc
اول	۵۰	یک	۸۱/۰۰ abc	دوم	۵۰	یک	۸۰ bc
اول	۳۰	صفر	۵۳/۰۰ e	دوم	۳۰	صفر	۴۴/۳۳ f
اول	۳۰	نیم	۸۶/۳۳ ab	دوم	۳۰	نیم	۸۳/۳۳ abc
اول	۳۰	یک	۸۴/۰۰ abc	دوم	۳۰	یک	۸۱ abc

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در مطالعه مارتینز و همکاران (۲۰۰۷) بر روی ارقام مختلف لوبیای معمولی تحت تنش خشکی میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها در گیاهان تحت تنش تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشته است. این نتایج نشان داد که تحت تنش آب همه ارقام مورد مطالعه توانستند میزان محتوای نسبی آب برگ را کم و بیش حفظ نمایند علی‌رغم اینکه پتانسیل آب برگ کاهش معنی‌داری را نشان داد. در مطالعه بر روی ارقام ذرت تحت شرایط تنش خشکی میزان محتوای نسبی آب برگ به طور معنی‌دار کاهش یافت (ایفگلو و همکاران، ۲۰۰۹).

#### ۴-۲-۱۲- اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید (MDA)

از مالون دی‌آلدئید (MDA) به عنوان شاخصی از پراکسیداسیون اسیدهای چرب استفاده می‌شود. تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال، اسپرمیدین و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه سال، آبیاری، اسپرمیدین بر روی MDA در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۲۹).

جدول ۴-۲۹- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پراکسیداسیون اسیدهای چرب (MDA) سویا رقم کاسپین

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۶۱۱۹/۹۹۹**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۱۰/۹۳۵
آبیاری (I)	۳	۳۱۴۱/۹۸۲**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۴۹۴/۳۱۶**
خطا	۱۲	۴/۷۱۹
پلی‌آمین اسپرمیدین (S)	۲	۹۷۷/۰۹۳**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۱۹۲/۳۰۴**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱۲۵۰/۴۹۶**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۶۱۱/۵۴۶**
خطا	۳۲	۱/۵۶۰

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

با کاهش میزان آبیاری، میزان MDA افزایش یافت و محلول پاشی اسپرمیدین در غلظت‌های نیم و یک میلی‌مولار باعث کاهش معنی‌داری در میزان MDA گردید. در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی، غلظت نیم و یک میلی‌مولار اسپرمیدین باعث کاهش پراکسیداسیون اسیدهای چرب به ترتیب به میزان ۲۴ و ۳۱ درصد نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین گردید. در سال دوم آزمایش استفاده از اسپرمیدین در آبیاری بر اساس ۱۰۰،۷۰،۵۰،۳۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش میزان MDA در غلظت نیم میلی‌مولار به ترتیب ۱۳،۱۸،۹،۲۴ درصد و در غلظت یک میلی‌مولار به ترتیب ۳،۱۸،۶،۲۵ درصد گردید (جدول ۴-۳۰).

یکی از تاثیرات تجمع گونه‌های فعال اکسیژن که نتیجه تنش خشکی است، پراکسیداسیون لیپیدها از طریق اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع است که منجر به آسیب به غشاء و نشت الکترولیت می‌شود. میزان MDA در شرایط تنش خشکی به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (شن و همکاران، ۲۰۱۰). تمام تنش‌های غیرزیستی، تنش اکسیداتیو را القاء کرده که یکی از پیامدهای آن در سلول پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد (اپل و هیرت، ۲۰۰۴). پلی‌آمین‌ها به واسطه ویژگی پلی‌کاتیونی خود مانند ترکیبات آنتی‌اکسیدانی عمل کرده و سبب برداشت رادیکال‌های آزاد در نتیجه مهار پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردند (زمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۴-۳۰- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان مالون دی آلدئید سویا رقم کاسپین در شرایط کم- آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	مالون دی آلدئید (nmol/gr.FW)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	مالون دی آلدئید (nmol/gr.FW)
اول	۱۰۰	صفر	۱۰۲/۲۰ j	دوم	۱۰۰	صفر	۸۴/۶۷ m
اول	۱۰۰	نیم	۸۱/۳۹ n	دوم	۱۰۰	نیم	۷۳/۸ p
اول	۱۰۰	یک	۱۱۰/۴۰ h	دوم	۱۰۰	یک	۸۲/۱ n
اول	۷۰	صفر	۱۱۴/۱۰ g	دوم	۷۰	صفر	۹۴/۵ k
اول	۷۰	نیم	۱۵۳/۴۰ b	دوم	۷۰	نیم	۷۷/۳۳ o
اول	۷۰	یک	۱۰۴/۳۰ ij	دوم	۷۰	یک	۷۷/۵۴ o
اول	۵۰	صفر	۱۰۶/۲۰ i	دوم	۵۰	صفر	۹۳/۳۸ k
اول	۵۰	نیم	۱۰۸/۴۰ h	دوم	۵۰	نیم	۸۴/۹۵ m
اول	۵۰	یک	۱۲۶/۳۰ d	دوم	۵۰	یک	۸۷/۸۸ l
اول	۳۰	صفر	۱۷۰/۸۰ a	دوم	۳۰	صفر	۱۲۲/۹ e
اول	۳۰	نیم	۱۲۹/۷۰ c	دوم	۳۰	نیم	۹۳/۷۳ k
اول	۳۰	یک	۱۱۷/۲۰ f	دوم	۳۰	یک	۹۲/۴۱ k

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۱۳- پراکسید هیدروژن

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال، اسپرمیدین و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه

سال، آبیاری، اسپرمیدین بر روی میزان  $H_2O_2$  در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول

۴-۳۱).

جدول ۴-۳۱- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در برگ‌های سویا رقم کاسپین در شرایط کم‌آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۰/۶۵۶**
خطا(تکرار درون سال)	۴	۰/۰۰۸
آبیاری (I)	۳	۰/۷۷۸**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۰/۳۷۴**
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۹
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۳۲/۴۴۵**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۰/۴۸۳**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۱/۸۰۵**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۰/۲۴۰**
خطا	۳۲	۰/۰۰۷

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با کاهش میزان آبیاری بر اساس ۱۰۰ به ۳۰ درصد نیاز آبی میزان H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب به میزان ۵۷ و ۴۸ درصد افزایش یافت. استفاده از غلظت نیم میلی‌مولار اسپرمیدین در آبیاری بر اساس ۱۰۰، ۷۰، ۵۰، ۳۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش میزان H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در سال اول به ترتیب ۶۷، ۶۴، ۶۰، ۴۵ درصد و در سال دوم به ترتیب ۵۳، ۶۵، ۴۱، ۳۷ درصد گردید. استفاده از غلظت یک میلی‌مولار اسپرمیدین در آبیاری بر اساس ۱۰۰، ۷۰، ۵۰، ۳۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش میزان H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> در سال اول به ترتیب ۵۹، ۵۲، ۵۵، ۵ درصد و در سال دوم به ترتیب ۵۵، ۳۳، ۵۹، ۳۰ درصد گردید (جدول ۴-۳۲).

در مطالعه بر روی نخود تحت تنش خشکی، استفاده خارجی از پلی آمین‌ها میزان H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> و MDA را کاهش داد (نیار و چاندر، ۲۰۰۴). در بررسی تاثیر تنش غرقابی بر روی پیاز، استفاده از پوتریسین سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و با کاهش رادیکال‌های سوپراکسید و



پراکسید هیدروژن، صدمات اکسیداتیو ناشی از شرایط غرقابی را در این گیاه کاهش داد (یو و همکاران،

۲۰۰۹)

جدول ۴-۳۲- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان  $H_2O_2$  برگ‌های سویا رقم

کاسپین در شرایط کم‌آبیاری

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (nmol/g.FW)	غلظت اسپرمدین (میلی مولار)	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	سال	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (nmol/g.FW)	غلظت اسپرمدین (میلی مولار)	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	سال
۲/۸۱ d	صفر	۱۰۰	دوم	۲/۸۲ d	صفر(شاهد)	۱۰۰	اول
۱/۷۷ h	نیم	۱۰۰	دوم	۱/۵۵ j	نیم	۱۰۰	اول
۱/۹۶ f	یک	۱۰۰	دوم	۲/۶۹ e	یک	۱۰۰	اول
۴/۴۸ a	صفر	۷۰	دوم	۴/۱۰ c	صفر(شاهد)	۷۰	اول
۲/۶۶ e	نیم	۷۰	دوم	۱/۶۵ i	نیم	۷۰	اول
۱/۸۵ g	یک	۷۰	دوم	۱/۸۳ gh	یک	۷۰	اول
۴/۰۵ c	صفر	۵۰	دوم	۴/۰۸ c	صفر(شاهد)	۵۰	اول
۱/۴ k	نیم	۵۰	دوم	۱/۰۵ l	نیم	۵۰	اول
۲/۷۲ e	یک	۵۰	دوم	۱/۹۴ f	یک	۵۰	اول
۴/۱۷ b	صفر	۳۰	دوم	۴/۴۴ a	صفر(شاهد)	۳۰	اول
۱/۹۵ f	نیم	۳۰	دوم	۱/۴۶ k	نیم	۳۰	اول
۱/۸۷ g	یک	۳۰	دوم	۱/۸۰ gh	یک	۳۰	اول

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۱۴- پروتئین محلول

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاثیر سال، میزان آبیاری، اسپرمیدین و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر روی میزان پروتئین محلول اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بوده است (جدول ۴-۳۳).

جدول ۴-۳۳- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین محلول برگ‌های سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۱۷۴۳/۷۴۷**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۰/۰۰۸
آبیاری (I)	۳	۱۸۰۰/۱۴۸**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۲۴/۴۱۲**
خطا	۱۲	۰/۰۹۵
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۵۸/۴۱۳**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۹/۸۰۰**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۵۰/۹۸۳**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۵/۳۴۹**
خطا	۳۲	۰/۰۴۱

\*\* معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی میزان پروتئین محلول برگ ده برابر نسبت به آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت و استفاده از اسپرمیدین در غلظت نیم و یک میلی‌مولار باعث کاهش میزان پروتئین نسبت به شرایط

بدون اسپرمیدین به ترتیب به میزان ۱۳ و ۳۲ درصد گردید. در سال دوم آزمایش نیز با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی میزان پروتئین محلول برگ ۲/۷ برابر نسبت به آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت و استفاده از اسپرمیدین در غلظت یک میلی مولار باعث کاهش میزان پروتئین نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین به میزان ۳۳ درصد گردید و غلظت نیم میلی مولار تاثیر قابل ملاحظه‌ای نشان نداد (جدول ۴-۳۴). در بررسی میزان پروتئین محلول در ارقام گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری مشاهده شد که پروتئین‌های محلول در برگ رقم اصفهانی افزایش، اما در رقم شیرازی کاهش یافت. تنش شوری باعث ایجاد تغییرات کمی و کیفی در میزان پروتئین سلول‌های گیاهی می‌شود. نتایج بررسی مطالعات مختلف روی ارقام متحمل به شوری در جو، آفتابگردان، برنج و ارزن نشان داد که افزایش یا کاهش در میزان پروتئین تحت شرایط تنش نسبتا وابسته به ژنوتیپ است (امینی و احسان‌پور، ۲۰۰۵).

جدول ۴-۳۴- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پروتئین محلول برگ‌های سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	پروتئین محلول در برگ (mg/g.FW)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	پروتئین محلول در برگ (mg/g.FW)
اول	۱۰۰	صفر	۲/۱۸ op	دوم	۱۰۰	صفر	۱۰/۳۳ j
اول	۱۰۰	نیم	۲/۹۳ n	دوم	۱۰۰	نیم	۱۱/۲۱ i
اول	۱۰۰	یک	۲/۲۶ o	دوم	۱۰۰	یک	۹/۸۸ k
اول	۷۰	صفر	۲/۵۳ o	دوم	۷۰	صفر	۱۱/۹۹ h
اول	۷۰	نیم	۱/۸۸ p	دوم	۷۰	نیم	۱۱/۸۲ h
اول	۷۰	یک	۳/۷۷ l	دوم	۷۰	یک	۱۱/۶۹ h
اول	۵۰	صفر	۲/۴۱ o	دوم	۵۰	صفر	۱۰/۹۷ i
اول	۵۰	نیم	۱/۹۰ P	دوم	۵۰	نیم	۱۰/۳۴ j
اول	۵۰	یک	۳/۴۳ m	دوم	۵۰	یک	۱۲/۷۳ g
اول	۳۰	صفر	۲۳/۷۴ d	دوم	۳۰	صفر	۳۷/۹۱ a
اول	۳۰	نیم	۲۰/۶۵ e	دوم	۳۰	نیم	۳۷/۳۷ b
اول	۳۰	یک	۱۶/۲۵ f	دوم	۳۰	یک	۲۵/۲۴ c

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال و آبیاری بر روی میزان پرولین اختلاف معنی‌داری نداشته است اما تاثیر میزان اسپرمیدین بر روی میزان پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سال و اسپرمیدین و اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۴-۳۵).

جدول ۴-۳۵- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان پرولین برگ‌های سویا رقم کاسپین در شرایط کم- آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۰/۰۰۶
خطا (تکرار درون سال)	۴	۰/۰۲۱
آبیاری (I)	۳	۰/۰۵۴
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۰/۲۵۰
خطا	۱۲	۰/۰۱۵
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۰/۱۰۲**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۰/۰۷۲*
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۰/۰۴۳*
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۰/۰۲۷
خطا	۳۲	۰/۰۱۷

\*\* و \* : معنی دار به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد

مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل سال و اسپرمیدین نشان داد که استفاده از اسپرمیدین در هر دو سال آزمایش استفاده از اسپرمیدین باعث کاهش میزان پرولین برگ گردید (جدول ۴-۳۶).

جدول ۴-۳۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال و اسپرمیدین بر میزان پرولین برگ‌های سویا رقم کاسپین در شرایط کم‌آبیاری

سال	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	میزان پرولین برگ (mg/gr.FW)
اول	صفر (شاهد)	۰/۹۳۰۸ ab
اول	نیم	۰/۸۹۴۲ ab
اول	یک	۰/۷۹۱۷ c
دوم	صفر (شاهد)	۱/۰۰۱ a
دوم	نیم	۰/۸۴۲۵ bc
دوم	یک	۰/۸۲۵۸ bc

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در بررسی مقایسه میانگین داده‌های اثر متقابل میزان آبیاری و اسپرمیدین این نتیجه به دست آمد که با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی میزان پرولین برگ افزایش یافت اما استفاده از اسپرمیدین در غلظت‌های نیم و یک میلی مولار باعث کاهش میزان پرولین برگ گردید به طوری که با تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۴-۳۸). این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از اسپرمیدین باعث تحمل به تنش خشکی و جلوگیری از آسیب‌های ناشی از آن می‌گردد.

جدول ۴-۳۷- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین بر میزان پرولین برگ‌های سویا رقم کاسپین در شرایط کم آبیاری

میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	میزان پرولین برگ (mg/g.FW)
۱۰۰	صفر (شاهد)	۰/۸۵۶۷ bcde
۱۰۰	نیم	۰/۷۹۶۷ cde
۱۰۰	یک	۰/۸۵۶۷ bcde
۷۰	صفر (شاهد)	۰/۹۴۰۰ abc
۷۰	نیم	۰/۸۹۸۳ abcd
۷۰	یک	۰/۹۱۶۷ abcd
۵۰	صفر (شاهد)	۰/۹۵۵۰ abc
۵۰	نیم	۰/۸۶۵۰ abcde
۵۰	یک	۰/۹۹۳۳ ab
۳۰	صفر (شاهد)	۱/۰۳۸ a
۳۰	نیم	۰/۷۰۸۳ e
۳۰	یک	۰/۷۴۶۷ de

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

به طور کلی، گیاهان می‌توانند با تجمع اسمولیت‌ها تا حدودی از خودشان در مقابل تنش خشکی متوسط حفاظت نمایند. پرولین یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌ها در گیاهان تحت تنش خشکی است. در نخود تحت شرایط خشکی، میزان پرولین افزایش یافت (الکسیو و همکاران، ۲۰۰۱). پرولین در واکنش‌های بیوشیمیایی دخالت ندارد اما اجازه می‌دهد گیاهان به بقاء خود در شرایط تنش ادامه دهند (مگیو و همکاران، ۲۰۰۲؛ اشرف و آیرام، ۲۰۰۵). پرولین باعث کاهش آسیب نوری در غشاء-های تیلاکوئید از طریق خنثی‌سازی یا کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (ردی و همکاران، ۲۰۰۴). در بررسی تاثیر تنش خشکی روی میزان تجمع پرولین در سه رقم نخود فرنگی میزان پرولین برگ افزایش یافت که منجر به تعدیل اسمزی و اجتناب از تنش خشکی در نخود فرنگی گردید (مفاخری و همکاران، ۲۰۱۰).

استفاده از پلی آمین اسپرمین تحت شرایط کم آبی در ذرت و برنج و در شرایط غرقابی در پیاز باعث افزایش معنی دار پرولین شد (یو و همکاران، ۲۰۰۹؛ فاروق و همکاران، ۲۰۰۹؛ طلعت و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش پرولین در گیاهان تحت تنش، سیالیت غشاء حفظ و اکسیداسیون لیپیدی کاهش می یابد. این ترکیب آلی، آنزیم های خنثی کننده گونه های فعال اکسیژن را حفظ می نماید و بدینگونه رادیکال های آزاد را خنثی می نماید (اشرف و فولاد، ۲۰۰۷).

#### ۴-۲-۱۶- آنزیم کاتالاز (CAT)

نتایج تجزیه مرکب داده ها نشان داد که اثر سال، اسپرمیدین و اثر متقابل دوگانه و سه گانه سال، آبیاری و اسپرمیدین بر روی فعالیت آنزیم کاتالاز اثر معنی دار در سطح احتمال یک درصد داشته است (جدول ۴-۳۸).

جدول ۴-۳۸- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان آنزیم کاتالاز

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۰/۰۲۶۸**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۰/۰۰۰۲۹
آبیاری (I)	۳	۰/۰۱۷۳**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۰/۲۷۸۰**
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۲۴
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۰/۱۳۵۳**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۰/۰۶۷۴**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۰/۰۸۰۰**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۰/۰۸۵۸**
خطا	۳۲	۰/۰۰۰۱

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو سال آزمایش با کاهش میزان آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد به ۳۰ درصد نیاز آبی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یافت و استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید. در سال اول آزمایش میزان کاتالاز در آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی به میزان ۵۰ درصد کاهش یافت در حالی که استفاده از اسپرمیدین در غلظت‌های نیم و یک میلی‌مولار به ترتیب ۳/۶ و ۲/۴ برابر شرایط بدون اسپرمیدین گردید. در سال دوم آزمایش با کاهش میزان آبیاری به ۳۰، ۵۰، ۷۰ درصد نیاز آبی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب ۳۳، ۵۰، ۷۴ درصد کاهش یافت و با استفاده از اسپرمیدین در غلظت نیم میلی‌مولار فعالیت آنزیم کاتالاز به ترتیب ۱/۲۸، ۱/۶، ۳/۵ برابر و در غلظت یک میلی‌مولار به ترتیب ۱۶، ۵۰، ۵۷ درصد نسبت به شرایط بدون اسپرمیدین افزایش یافت (جدول ۴ - ۳۹).

آنزیم‌های کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت اصلی در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشند. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز رادیکال‌های آزاد آنیون سوپراکسید را که به کلروپلاست‌ها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها آسیب جدی وارد می‌کند، به  $H_2O_2$  که غیرسمی است تبدیل می‌نماید. آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز پراکسید هیدروژن را حذف می‌نمایند (شن و همکاران، ۲۰۱۰). گزارش‌ها نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی، میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های گندم افزایش می‌یابد (گنگ و همکاران، ۲۰۰۵).



جدول ۴-۳۹- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌های سویا رقم کاسپین

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپریمیدین (میلی مولار)	فعالیت آنزیم کاتالاز (mg/protein.min)	سال	میزان (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپریمیدین (میلی مولار)	فعالیت آنزیم کاتالاز (U/mg protein.min)
اول	۱۰۰	صفر	۰/۲۸ e	دوم	۱۰۰	صفر	۰/۲۷ e
اول	۱۰۰	نیم	۰/۰۸ l	دوم	۱۰۰	نیم	۰/۲۴ f
اول	۱۰۰	یک	۰/۱۳ jk	دوم	۱۰۰	یک	۰/۲۳ fg
اول	۷۰	صفر	۰/۲۸ l	دوم	۷۰	صفر	۰/۱۸ h
اول	۷۰	نیم	۰/۱۲ jk	دوم	۷۰	نیم	۰/۲۸ a
اول	۷۰	یک	۰/۱۳ jk	دوم	۷۰	یک	۰/۲۱ g
اول	۵۰	صفر	۰/۲۸ e	دوم	۵۰	صفر	۰/۱۴ ij
اول	۵۰	نیم	۰/۱۲ jk	دوم	۵۰	نیم	۰/۳۷ d
اول	۵۰	یک	۰/۱۲ jk	دوم	۵۰	یک	۰/۲۱ g
اول	۳۰	صفر	۰/۱۴ ij	دوم	۳۰	صفر	۰/۰۷ l
اول	۳۰	نیم	۰/۶۴ b	دوم	۳۰	نیم	۰/۱۶ hi
اول	۳۰	یک	۰/۴۷ c	دوم	۳۰	یک	۰/۱۱ k

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۱۷- آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، اسپریمیدین و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه سال،

آبیاری و اسپریمیدین بر روی فعالیت آنزیم APX اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشته

است (جدول ۴-۴۰).

جدول ۴-۴۰- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۵۴/۷۵۸**
خطا (تکرار درون سال)	۴	۰/۰۰۲
آبیاری (I)	۳	۷/۹۶۵**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۳/۲۳۴**
خطا	۱۲	۰/۰۰۱
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۴/۹۴۲**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۳/۷۱۴**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۳۳/۶۱۶**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۳/۲۲۸**
خطا	۳۲	۰/۰۰۱

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم APX ابتدا افزایش و سپس با افزایش شدت تنش (میزان آبیاری بر اساس ۳۰ درصد نیاز آبی) کاهش یافت. در همه تیمارهای آبیاری استفاده از غلظت‌های نیم و یک میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش و حفظ فعالیت آنزیم APX گردید. به نظر می‌رسد در شدت تنش‌های بالاتر فعالیت آنزیم APX کاهش می‌یابد ولی با استفاده از اسپرمیدین و افزایش تحمل به خشکی در گیاه فعالیت این آنزیم حتی در تنش‌های بالاتر حفظ می‌گردد (جدول ۴-۴۱).

جدول ۴-۴۱- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم APX در برگ‌های سویا رقم کاسپین

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمدین (میلی مولار)	فعالیت آنزیم APX (U/mg.protein.min)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمدین (میلی مولار)	فعالیت آنزیم APX (U/mgprotein.min)
اول	۱۰۰	صفر	۳/۸۹ r	دوم	۱۰۰	صفر	۴/۲۵q
اول	۱۰۰	نیم	۶/۹۱ j	دوم	۱۰۰	نیم	۱۲/۴۲a
اول	۱۰۰	یک	۷/۶۰ f	دوم	۱۰۰	یک	۹/۸۷b
اول	۷۰	صفر	۷/۰۵ i	دوم	۷۰	صفر	۹/۵۲c
اول	۷۰	نیم	۵/۱۱ o	دوم	۷۰	نیم	۶/۸۷ j
اول	۷۰	یک	۳/۷۷ s	دوم	۷۰	یک	۶/۱۳ m
اول	۵۰	صفر	۷/۵۱ g	دوم	۵۰	صفر	۷/۳۷ h
اول	۵۰	نیم	۵/۳۰ n	دوم	۵۰	نیم	۶/۲۳ l
اول	۵۰	یک	۳/۷۵ S	دوم	۵۰	یک	۶/۲۵ l
اول	۳۰	صفر	۳/۷۸ s	دوم	۳۰	صفر	۴/۶۲ P
اول	۳۰	نیم	۵/۱۳ o	دوم	۳۰	نیم	۶/۶۲ k
اول	۳۰	یک	۷/۹۶ e	دوم	۳۰	یک	۸/۵۵ d

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

#### ۴-۲-۱۸- آنزیم گایاکول پراکسیداز (POD)

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، اسپرمدین، اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه

سال، آبیاری و اسپرمدین اثر معنی‌دار بر روی فعالیت آنزیم POD در سطح احتمال یک درصد داشته

است (جدول ۴-۴۲).

جدول ۴-۴۲- نتایج تجزیه مرکب اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
سال (Y)	۱	۰/۰۴۵۰۰**
خطا(تکرار درون سال)	۴	۰/۰۰۰۰۰۲
آبیاری (I)	۳	۰/۰۰۹۱۵**
اثر متقابل سال و آبیاری (Y*I)	۳	۰/۰۱۵۷۶**
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۰۶
پلی آمین اسپرمیدین (S)	۲	۰/۰۱۴۸۰**
اثر متقابل سال و اسپرمیدین (Y*S)	۲	۰/۰۱۲۷۷**
اثر متقابل آبیاری و اسپرمیدین (I*S)	۶	۰/۰۰۵۰۹**
اثر متقابل سال، آبیاری و اسپرمیدین (Y*I*S)	۶	۰/۰۰۰۷۹**
خطا	۳۲	۰/۰۰۰۰۰۴

\*\* : معنی دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول مطالعه با کاهش میزان آبیاری فعالیت آنزیم POD افزایش یافت و استفاده از اسپرمیدین در هر دو غلظت باعث افزایش فعالیت این آنزیم گردید. در سال دوم مطالعه نیز فعالیت آنزیم POD با افزایش تنش خشکی افزایش اما با کاهش میزان آبیاری به ۳۰ درصد نیاز آبی فعالیت آنزیم POD کاهش یافت که میزان کاهش نسبت به تیمار آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۴۴ درصد بوده است (۴-۴۳).

جدول ۴-۴۳- نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (POD)

سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (U/mg.protein.min)	سال	میزان آبیاری (درصد نیاز آبی)	غلظت اسپرمیدین (میلی مولار)	فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (U/mg.protein.min)
اول	۱۰۰	صفر	۰/۰۹ f	دوم	۱۰۰	صفر	۰/۰۷ g
اول	۱۰۰	نیم	۰/۱۳ de	دوم	۱۰۰	نیم	۰/۰۵ h
اول	۱۰۰	یک	۰/۱۵ c	دوم	۱۰۰	یک	۰/۱۴ cd
اول	۷۰	صفر	۰/۱۵ c	دوم	۷۰	صفر	۰/۰۴ h
اول	۷۰	نیم	۰/۱۹ b	دوم	۷۰	نیم	۰/۰۴ h
اول	۷۰	یک	۰/۱۲ e	دوم	۷۰	یک	۰/۰۵ h
اول	۵۰	صفر	۰/۱۵ c	دوم	۵۰	صفر	۰/۰۹ f
اول	۵۰	نیم	۰/۲۷ a	دوم	۵۰	نیم	۰/۱۲ e
اول	۵۰	یک	۰/۱۴ cd	دوم	۵۰	یک	۰/۱۳ de
اول	۳۰	صفر	۰/۰۵ h	دوم	۳۰	صفر	۰/۱۲ e
اول	۳۰	نیم	۰/۱۸ b	دوم	۳۰	نیم	۰/۱۵ c
اول	۳۰	یک	۰/۱۰ f	دوم	۳۰	یک	۰/۱۴ cd

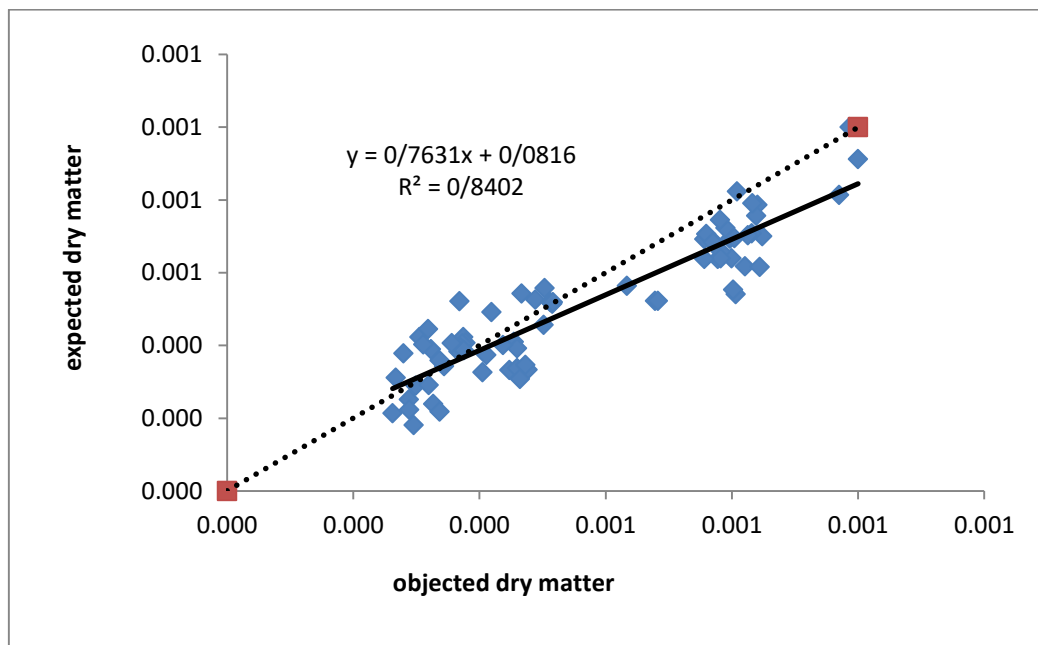
در هر ستون میانگین های دارای حرف یا حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

#### ۳-۴- روش تابع مطلوبیت

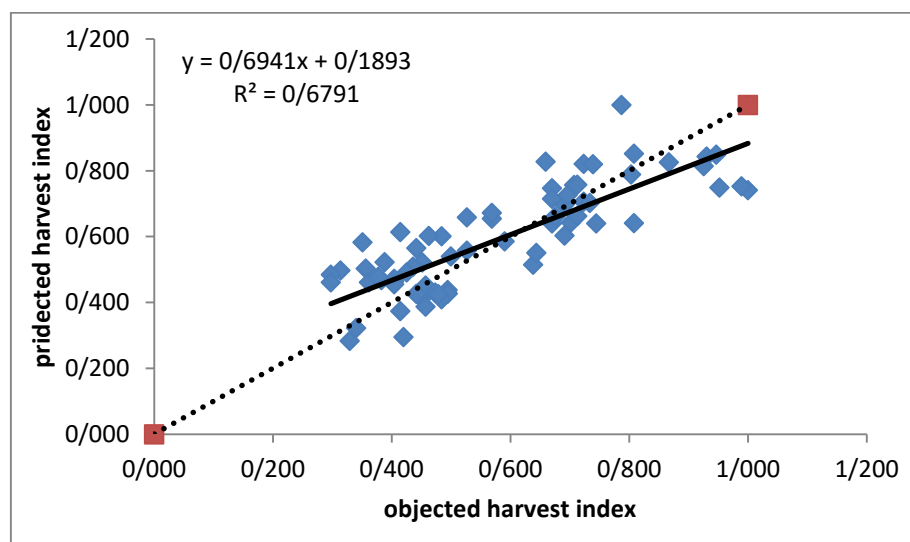
با توجه به جداول مقایسه میانگین ها و بررسی روند تغییرات صفات مورد بررسی تحت شرایط کم آبیاری و استفاده از پلی آمین اسپرمیدین، هر یک از صفات دارای چند نقطه مطلوب موضعی می- باشند که قضاوت در بررسی را مشکل می- نماید. از این رو جهت بررسی وضعیت رابطه هر یک از صفات (Y) با آنزیم های آنتی اکسیدانت و پرولین (Xi) و بر اساس رابطه تابع با مقدار پیش بینی شده ( $\hat{Y}$ ) از لحاظ ضریب تبیین مشخص شد که عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت که منجر به عملکرد دانه می- گردند، با ضریب تبیین بالاتری به ترتیب با ضرائب تبیین ۰/۸۴ و ۰/۶۸ نسبت به شرایط کم آبیاری و کاربرد پلی آمین واکنش نشان می- دهند، لذا از بهینه سازی چندمتغیره به روش تابع مطلوبیت برای این دو صفت استفاده شد. این روش به دلیل جامعیت و انعطاف پذیری تابع در اهمیت وزن دهی به

متغیرها از ارجحیت بالاتری نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی برخوردار است (شکل‌های ۷-۴ و ۸-۴)

(

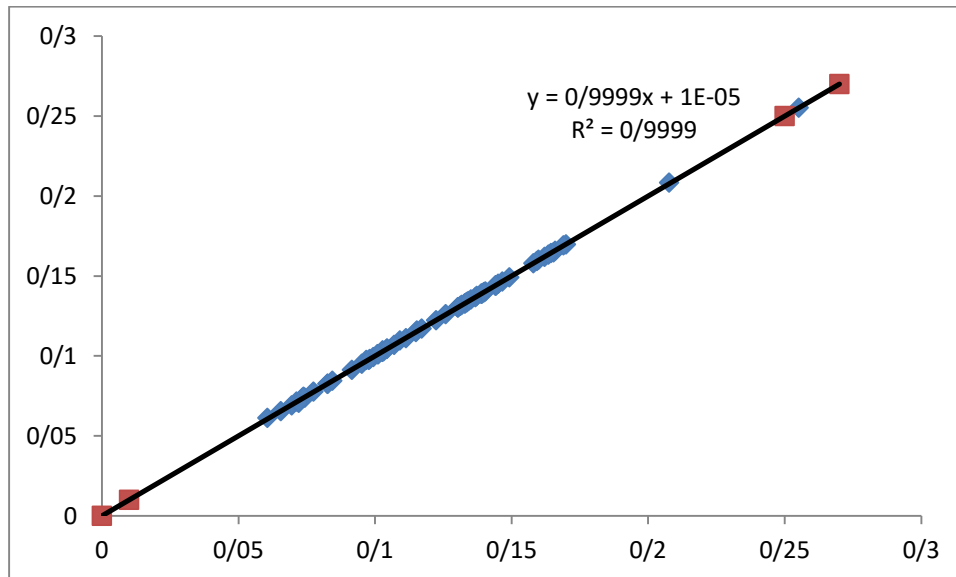


شکل ۷-۴- رابطه عملکرد ماده خشک مشاهده شده با عملکرد ماده خشک مورد انتظار در شرایط کم‌آبیاری و استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین



شکل ۸-۴- رابطه شاخص برداشت مشاهده شده با شاخص برداشت مورد انتظار در شرایط کم‌آبیاری و استفاده از پلی-آمین اسپرمیدین

با توجه به ضرائب تبیین بالا در استفاده از روش تابع مطلوبیت، روش مذکور توانست به خوبی واکنش متغیرهای پاسخ را به سه آنزیم آنتی‌اکسیدانت و میزان پرولین پیش‌بینی نماید (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹ - تابع مطلوبیت شاخص برداشت و عملکرد ماده خشک سویا در شرایط کم‌آب‌باری و استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین

#### ۴-۴- مدل‌های رگرسیونی چندگانه

یک مدل رگرسیون شامل بیش از یک متغیر مستقل را مدل رگرسیون چندگانه می‌نامند. ضرائب رگرسیون و همبستگی ساده در مواردی که متغیر تابع تحت تاثیر چند متغیر دیگر قرار می‌گیرد از اعتبار چندانی برخوردار نیستند، لذا با استفاده از ضرائب رگرسیون جزء می‌توان شدت تغییر در تابع (Y) به ازای یک واحد تغییر در متغیر  $X_1$  وقتی سایر متغیرها ثابت باشند را بیان نمود. مدل (۱-۴) یک مدل رگرسیون خطی چندگانه با k متغیر مستقل نامیده می‌شود که در آن Y تابع،  $X_i$  متغیر مستقل،  $\beta_k$  ضرائب رگرسیون،  $\beta_0$  عرض از مبدأ صفحه رگرسیونی و  $\varepsilon$  خطا نامیده می‌شوند.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (\text{معادله ۱-۴})$$

مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه اغلب به صورت توابع تقریبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یعنی رابطه‌ی حقیقی بین تابع و متغیرهای مستقل نامعلوم است، اما در دامنه‌های معینی از

متغیرهای مستقل این مدل رگرسیون خطی تقریباً مناسب می‌باشد. مدل‌هایی که از نظر ساختاری پیچیده‌تر هستند مانند معادلات درجه دوم، سوم و مدل‌هایی که شامل اثرات متقابل باشند را نیز می‌توان با مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه تجزیه کرد. مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه اغلب به صورت توابع تقریبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یعنی رابطه‌ی حقیقی بین تابع و متغیرهای مستقل نامعلوم است، اما در دامنه‌های معینی از متغیرهای مستقل این مدل رگرسیون خطی تقریباً مناسب می‌باشد. مدل‌هایی که از نظر ساختاری پیچیده‌تر هستند مانند معادلات درجه دوم، سوم و مدل‌هایی که شامل اثرات متقابل باشند را نیز می‌توان با مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه تجزیه کرد (رضائی و سلطانی، ۱۳۷۷).

بدین ترتیب مدل‌های رگرسیونی چندگانه شامل اثرات ساده، اثرات متقابل دوگانه، سه‌گانه، چهارگانه، درجه دوم و سوم متغیرها برای عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴-۴۴). در مدل‌های ارائه شده بر اساس معنی‌دار بودن اجزاء مدل، ضرائب  $\beta_0$  و  $\beta_1$  و... تعریف شده‌اند (جدول ۴-۴۵ تا ۴-۵۹). خط تیره در مدل‌های ارائه شده نشانه عدم رابطه معنی‌دار بین متغیر پاسخ و متغیر مستقل است. آزمون معنی‌دار بودن رگرسیون برای تعیین وجود یا عدم وجود رابطه خطی بین تابع (Y) و متغیرهای مستقل  $X_1, X_2, \dots, X_K$  می‌باشد و نشان می‌دهد که حداقل یکی از متغیرها مشارکت معنی‌داری در مدل دارد (رضائی و سلطانی، ۱۳۷۷).



جدول ۴-۴۴- مدل‌های ارائه شده جهت بررسی رابطه‌های متغیرهای  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، پرولین

Num.	Models
1	$X_1, X_2, X_3, X_4$
2	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4$
3	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_1X_2X_3, X_1X_2X_4, X_1X_3X_4, X_1X_2X_4$
4	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_1X_2X_3, X_1X_2X_4, X_1X_3X_4, X_1X_2X_4, X_1X_2X_3X_4$
5	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_1X_2X_3, X_1X_2X_4, X_1X_3X_4, X_1X_2X_4, X_1X_2X_3X_4, X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2$
6	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2$
7	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_1X_2X_3, X_1X_2X_4, X_1X_3X_4, X_1X_2X_4, X_1X_2X_3X_4, X_1^3, X_2^3, X_3^3, X_4^3$
8	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1^3, X_2^3, X_3^3, X_4^3$
9	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2$
10	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_1X_3, X_1X_4, X_2X_3, X_2X_4, X_1^3, X_2^3, X_3^3, X_4^3$
11	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2X_3, X_1X_2X_4, X_1X_3X_4, X_1X_2X_4, X_1X_2X_3X_4, X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2$
12	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2X_3, X_1X_2X_4, X_1X_3X_4, X_1X_2X_4, X_1X_2X_3X_4, X_1^3, X_2^3, X_3^3, X_4^3$
13	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2X_3X_4, X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2$
14	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2X_3X_4, X_1^3, X_2^3, X_3^3, X_4^3$
15	$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_4^2, X_1^3, X_2^3, X_3^3, X_4^3$

جدول ۴-۴۵- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۱ جدول ۴-۴۴).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	5.26439	17.75975	1.19230
$X_1$	-	-	0.60166
$X_2$	-	1.99907	-
$X_3$	17.23564	219.75261	-
$X_4$	-	-	-
$R^2$	0.3157	0.4843	0.1641
Adjusted $R^2$	0.2748	0.4535	0.1142

در مدل اثرات ساده (جدول ۴-۴۵) ضریب تبیین به دست آمده، بسیار پایین می باشد. این امر نشان می دهد واکنش ماده خشک کل، شاخص برداشت و واکنش ترکیبی آن ها به این متغیرهای مستقل بسیار پیچیده می باشد و اثرات ساده متغیرهای مستقل نمی تواند تغییرات این متغیرهای پاسخ را به خوبی توصیف نماید.

با اضافه کردن برهمکنش های دوگانه متغیرهای مستقل، ضرائب تبیین تعدیل شده متغیرهای پاسخ و تابع مطلوبیت افزایش یافت. برهمکنش  $X_1X_3$  برای ماده خشک کل، شاخص برداشت و واکنش ترکیبی آن ها (تابع مطلوبیت) معنی دار نشد (جدول ۴-۴۶).

جدول ۴-۴۶- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می باشند. Dry matter عملکرد ماده خشک تک بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۲ جدول ۴-۴۴).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	7.32216	96.52607	-0.10658
$X_1$	-	-	3.73697
$X_2$	-	-	0.26238
$X_3$	-69.16171	-	-15.84477
$X_4$	-	-	12.94528
$X_1X_2$	-3.10265	-	-0.84272
$X_1X_3$	-	-	-
$X_1X_4$	143.24559	1204.04702	-
$X_2X_3$	13.62695	81.08301	2.54651
$X_2X_4$	-9.87391	-	-2.88586
$R^2$	0.5144	0.6009	0.5135
Adjusted $R^2$	0.444	0.5429	0.4429

جدول ۴-۴۷- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۳ جدول ۴-۴۴).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	-20.86843	-119.38325	-3.34071
$X_1$	214.99928	1377.10348	31.70907
$X_2$	4.02189	25.04576	0.60630
$X_3$	-	-	-
$X_4$	-	-	-
$X_1X_2$	-25.97586	-195.09811	-3.26736
$X_1X_3$	-1008.75507	-5457.88283	-164.17682
$X_1X_4$	-	-5976.73187	-
$X_2X_3$	-	-	-
$X_2X_4$	-	-	-
$X_1X_2X_3$	127.77341	708.57657	20.60060
$X_1X_2X_4$	-	-	-
$X_1X_3X_4$	1815.91068	-	317.72542
$R^2$	0.6536	0.6767	0.6510
Adjusted $R^2$	0.5831	0.6110	0.5800

جدول ۴-۴۸- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۴ جدول ۴-۴۴).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	-21.60313	-124.29826	-3.42456
$X_1$	445.99126	2922.39317	58.07242
$X_2$	4.40100	27.58192	0.64957
$X_3$	-	-	-
$X_4$	132.28874	-	21.02691
$X_1X_2$	-69.52546	-486.43613	-8.23772
$X_1X_3$	-2841.83764	-17721	-373.38846
$X_1X_4$	-25.67.81072	-18169	-285.99567
$X_2X_3$	-	-	-
$X_2X_4$	-22.12134	-	-
$X_1X_2X_3$	444.67415	2828.57852	56.76881
$X_1X_2X_4$	391.84142	3004.41037	-
$X_1X_3X_4$	16479	106583	1991.22697
$X_1X_2X_3X_4$	-2530.96500	-16932	-
$R^2$	0.6923	0.7022	0.6710
Adjusted $R^2$	0.6233	0.6355	0.5972

جدول ۴-۴۹- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۵ جدول ۴-۴۵).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	-18.94073	-150.24928	-1.71767
$X_1$	401.12332	3112.09925	42.78569
$X_2$	4.56658	31.39554	0.61272
$X_3$	-	-	-
$X_4$	-	-	-
$X_1X_2$	-67.59694	-560.13597	-6.57299
$X_1X_3$	-2085.01027	-14753	-
$X_1X_4$	-2268.35684	-20085	-
$X_2X_3$	-	-	-
$X_2X_4$	-25.76528	-236.75100	-
$X_1X_2X_3$	379.25011	2661.90513	44.77305
$X_1X_2X_4$	377.58408	3664.11140	-
$X_1X_3X_4$	12893	98239	-
$X_1X_2X_3X_4$	-2078.49156	-16598	-
$X_{11}$	-41.87420	-243.70590	-6.97324
$X_{22}$	-	-	-
$X_{33}$	-277.89145	-	-58.17645
$X_{44}$	-	-	66.77144
$R^2$	0.7521	0.7536	0.7500
Adjusted $R^2$	0.6740	0.6761	0.6726

جدول ۴-۵۰- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۶ جدول ۴-۴۵).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	14.14255	58.93123	2.99193
$X_1$	-	-	1.84938
$X_2$	-	-	-0.19768
$X_3$	-	-	-
$X_4$	-84.84893	-	-17.97276
$X_{11}$	-	-	-
$X_{22}$	-	-	0.01450
$X_{33}$	-	-	-
$X_{44}$	-	-	52.03069
$R^2$	0.4025	0.5114	0.3267
Adjusted $R^2$	0.3267	0.4494	0.2413

جدول ۴-۵۱- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۷ جدول ۴-۴۵).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	13.51966	18.24751	6.10101
$X_1$	439.4779	3193.16537	52.70877
$X_2$	6.88472	-	1.14969
$X_3$	-	-	-
$X_4$	-672.78438	-	-184.5917
$X_1X_2$	-61.54012	-456.32184	-7.25782
$X_1X_3$	-2043.89411	-11412	-309.15759
$X_1X_4$	-2363.88217	-18910	-
$X_2X_3$	-	-	-
$X_2X_4$	-18.62096	-171.87809	-
$X_1X_2X_3$	375.35194	2200.71341	56.07740
$X_1X_2X_4$	359.86956	3164.03731	-
$X_1X_3X_4$	15253	98512	2028.05516
$X_1X_2X_3X_4$	-2333.50803	-15869	-
$X_{11}$	-212.18376	-1924.60980	-17.65885
$X_{22}$	-	-	-
$X_{33}$	-	-	-
$X_{44}$	4847.75395	-	1208.88993
$X_{111}$	122.71110	1234.22484	-
$X_{222}$	-	-	-
$X_{333}$	-	-	-
$X_{444}$	-9451.36505	-	-2345.99138
$R^2$	0.8825	0.8943	0.8376
Adjusted $R^2$	0.8332	0.8499	0.7694

جدول ۴-۵۲- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter: عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت (مدل شماره ۸ جدول ۴-۴۴).

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	11.40193	49.56482	2.32506
$X_1$	-	-	-
$X_2$	-	-	-
$X_3$	-	168.92032	-
$X_4$	-47.19120	-	-9.17625
$X_{111}$	-	-	-
$X_{222}$	0.00318	-	0.000635
$X_{333}$	-	-	-
$X_{444}$	-	-	-
$R^2$	0.3997	0.5168	0.3154
Adjusted $R^2$	0.3234	0.4555	0.2284

جدول ۴-۵۳- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۹ جدول ۴-۴۴}.

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	10.86571	108.79356	0.83514
$X_1$	-	-208.44274	3.48422
$X_2$	-	-	-
$X_3$	-	-	-13.76876
$X_4$	-	-	-
$X_1X_2$	-4.44719	-19.02385	-1.02153
$X_1X_3$	377.55757	2184.21647	59.82747
$X_1X_4$	159.36266	1578.21301	-
$X_2X_3$	15.49157	84.07029	2.97696
$X_2X_4$	-	-	-2.62489
$X_{11}$	-52.84679	-305.06291	-8.27232
$X_{22}$	-	-	-
$X_{33}$	-425.83491	-2369.21334	-7.74208
$X_{44}$	-	-	-
$R^2$	0.6134	0.6534	0.6287
Adjusted $R^2$	0.5267	0.5757	0.5453

جدول ۴-۵۴- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3, X_2, X_1$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter : عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱۰ جدول ۴-۴۴}.

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	10.56908	108.85569	0.66644
$X_1$	-	-	-
$X_2$	-	-	-
$X_3$	-77.50598	-	-19.01564
$X_4$	-	-	-
$X_1X_2$	-3.38659	-	-0.88395
$X_1X_3$	-	-	-
$X_1X_4$	168.65056	1548.62613	-
$X_2X_3$	13.62192	71.10762	2.74252
$X_2X_4$	-	-	-2.70633
$X_{111}$	-	-	-
$X_{222}$	-	-	-
$X_{333}$	-	-	-
$X_{444}$	-	-	-
$R^2$	0.5335	0.6100	0.5614
Adjusted $R^2$	0.4289	0.5226	0.4631

جدول ۴-۵۵- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter : عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱۱ جدول ۴-۴۴}.

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	4.32939	24.86622	0.90291
$X_1$	18.38854	-	6.21155
$X_2$	-	-	-
$X_3$	43.63378	304.61086	-
$X_4$	-	-	-
$X_1X_2X_3$	30.96833	-	6.61515
$X_1X_2X_4$	-46.17554	-	-11.37705
$X_1X_3X_4$	1269.30878	6875.09013	193.89394
$X_{11}$	-45.04450	-205.10228	-7.87918
$X_{22}$	-	-	-
$X_{33}$	-392.90004	-	-73.34668
$X_{44}$	-	-	-
$R^2$	0.5272	0.5772	0.5351
Adjusted $R^2$	0.4405	0.4997	0.4499

جدول ۴-۵۶- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3$ ،  $X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter : عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱۲ جدول ۴-۴۴}.

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	8.48392	56.34318	1.18665
$X_1$	-	-92.07565	3.15277
$X_2$	-	-	-
$X_3$	-	168.46091	-3.00352
$X_4$	-	-	-
$X_1X_2X_3$	-	-	4.41895
$X_1X_2X_4$	-	-	-8.38414
$X_1X_3X_4$	-	-	136.51837
$X_{111}$	-	-	-4.24991
$X_{222}$	-	-	-
$X_{333}$	-	-	-105.13197
$X_{444}$	-	-	-
$R^2$	0.4411	0.5447	0.4445
Adjusted $R^2$	0.3386	0.4612	0.3427

جدول ۴-۵۷- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱۳ جدول ۴-۴۴}.

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	14.01634	57.37433	2.99910
$X_1$	-	-	1.90957
$X_2$	-	-	-0.18903
$X_3$	-	-	-
$X_4$	-	-	-19.46178
$X_1X_2X_3X_4$	-	672.87567	-
$X_{11}$	-	-111.54457	-
$X_{22}$	-	-	0.01477
$X_{33}$	-	-	-
$X_{44}$	-	-	59.98670
$R^2$	0.4309	0.5749	0.3304
Adjusted $R^2$	0.3386	0.5131	0.2332

جدول ۴-۵۸- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_1, X_2, X_3, X_4$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱۴ جدول ۴-۴۴}.

Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	12.34243	63.26968	2.19561
$X_1$	-	-67.93586	1.53191
$X_2$	-	-	-
$X_3$	-	167.80803	-
$X_4$	-	-	-9.77167
$X_1X_2X_3X_4$	-	559.85128	-
$X_{111}$	-	-	-
$X_{222}$	0.00311	-	0.000644
$X_{333}$	-	-	-
$X_{444}$	-	-	124.98092
$R^2$	0.4116	0.5543	0.3244
Adjusted $R^2$	0.3262	0.4895	0.2263



جدول ۴-۵۹- اجزای کاهش یافته متغیرهای پاسخ، پارامترها و شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $R^2$  تصحیح شده.  $X_3$ ,  $X_2$ ,  $X_1$ ،  
 $X$  به ترتیب فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و پرولین می‌باشند. Dry matter :  
 عملکرد ماده خشک تک‌بوته و Harvest index: شاخص برداشت {مدل شماره ۱۵ جدول ۴-۴۴}.

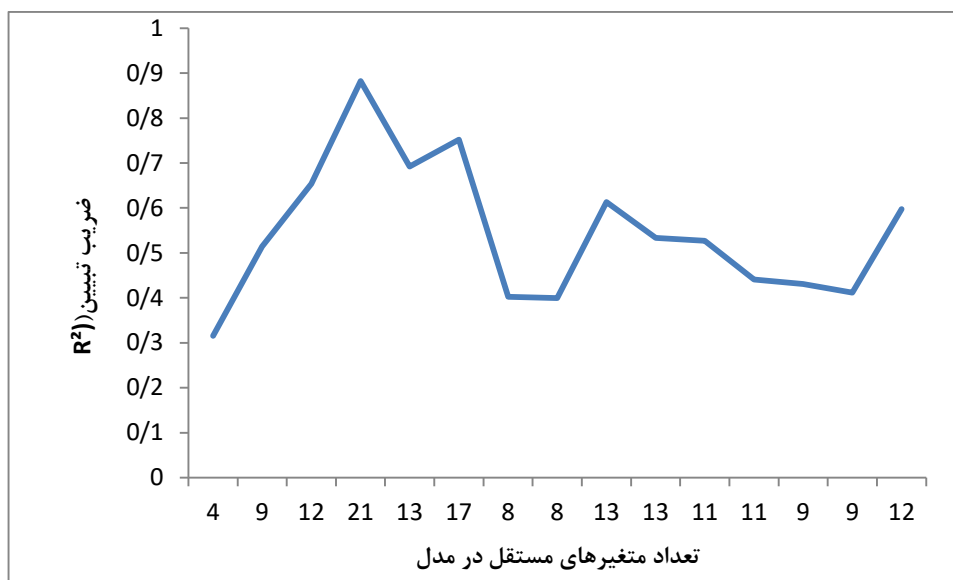
Model components	General desirability(D)	Dry matter( $y_1$ )	Harvest index( $y_2$ )
Intercept	11.60704	-22.34256	6.50692
$X_1$	61.69793	515.04311	6.58881
$X_2$	-	-	-
$X_3$	-	-	-
$X_4$	-	-	-
$X_{11}$	-175.00069	-1577.19735	-14.40634
$X_{22}$	-	-	-
$X_{33}$	-	-	-
$X_{44}$	-	-	-
$X_{111}$	136.76198	1247.04681	10.33792
$X_{222}$	-	-	-
$X_{333}$	-	-	-
$X_{444}$	-	-	-
$R^2$	0.5976	0.7495	0.4014
Adjusted $R^2$	0.5158	0.6985	0.2796

ارزیابی صحت و درستی مدل بخش مهمی از تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه است که یکی از راه‌های ارزیابی، ضریب تبیین ( $R^2$ ) می‌باشد. استفاده از  $R^2$  به‌عنوان معیاری برای توجیه تنوع  $Y$  در اثر متغیرهای مستقل متداول است (رضائی و سلطانی، ۱۳۷۷).

همان‌طور که در شکل (۴-۱۰) مشاهده می‌شود بیشترین ضریب تبیین ( $R^2$ ) در مدل ارائه شده با بیشترین متغیر مستقل (۲۱ متغیر) شامل پرولین و سه آنزیم آنتی‌اکسیدان و featureهای آن -ها (برهمکنش‌ها، توان دوم، ...) می‌باشد (جدول ۴-۵۱)، که مدل برتر بر اساس تابع مطلوبیت به صورت مدل (۴-۲) بیان می‌شود:

مدل (۴-۲)

$$Y=13.52+439.48x_1+6.88x_2-672.78x_4-61.54x_1x_2-2043.89x_1x_3-2363.88x_1x_4-18.62x_2x_4+375.35x_1x_2x_3+359.87x_1x_2x_4+15253x_1x_3x_4-2333.51x_1x_2x_3x_4-212.18x_1^2+4847.75x_4^2+122.71x_1^3-9451.36x_4^3$$



شکل ۴-۱۰ - رابطه بین تعداد متغیرهای مستقل در مدل با ضریب تبیین در تابع مطلوبیت

بررسی مدل رگرسیونی چندگانه نشان داد که در شرایط کم آبیاری با استفاده از پلی آمین اسپرمیدین تاثیر آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بر ایجاد مقاومت به تنش از طریق تاثیر بر عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت مثبت بوده و این در حالی است که اثرات متقابل دوگانه آنزیم-های آنتی اکسیدانت و میزان پرولین برگ رابطه منفی نشان داد. این مدل می تواند برای مدل سازی و مطالعات مربوطه بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۴-۵ - نتیجه گیری:

- استفاده از پیش تیمار پلی آمین اسپرمیدین در شرایط تنش خشکی باعث بهبود صفات جوانه زنی شامل درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، یکنواختی جوانه زنی، طول ریشه چه و وزن گیاهچه گردید.
- در افزایش تحمل به تنش خشکی غلظت اسپرمیدین نقش مهمی در بهبود جوانه زنی گیاه داشته، به طوری که در این آزمایش غلظت کمتر (یک میلی مولار) افزایش نسبی بیشتری نسبت به غلظت دو میلی مولار نشان داد.

- تاثیر کم آبیاری بر صفات مرفولوژی و بیوشیمیایی گیاه منفی بوده و استفاده از غلظت‌های متفاوت اسپرمیدین باعث بهبود صفات مورد بررسی گردید. نتایج نشان داد که استفاده از اسپرمیدین در تنش‌های متوسط به بالا (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی یا کمتر) به میزان بیشتری در افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی موثر بوده است.

- در تنش‌های متوسط به بالا، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش یافت اما استفاده از اسپرمیدین باعث افزایش فعالیت این آنزیم‌ها گردیده است. با این وجود بررسی نقش پلی‌آمین در غلظت‌های متفاوت و تاثیر آن بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نیاز به تحقیق بیشتری دارد.

- بررسی مدل‌های رگرسیونی چندگانه نشان داد که رابطه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و میزان پرولین برگ در شرایط تنش خشکی و استفاده از پلی‌آمین اسپرمیدین رابطه‌ای پیچیده و غیر خطی است. در این میان نقش مثبت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز با افزایش تحمل به تنش در گیاه مشخص گردید.

#### ۴-۶- پیشنهادات:

- با توجه به تاثیر غلظت‌های مورد بررسی پلی‌آمین اسپرمیدین در شرایط تنش خشکی در بهبود عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و صفات بیوشیمیایی مورد بررسی در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که غلظت‌های کمتر پلی‌آمین در شرایط تنش خشکی در مراحل جوانه‌زنی و فنولوژی گیاه در مزرعه مورد بررسی قرار گیرد.

- پیشنهاد می‌شود در بررسی رگرسیونی چندگانه رابطه عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و پرولین، از بهینه‌سازی جهت تعیین مقادیر بهینه آنزیم‌های مورد بررسی و پرولین استفاده گردد.

## منابع

- ۱) آقاجانی دلاور، ع. ۱۳۹۵. تعیین کارایی قارچ شبه میکوریزا (*Piriformospora indica*) در بهبود عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم برنج (*Oriza sativa* L.) در روش‌های مختلف کم-آبیاری، رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۹۱ صفحه.
- ۲) احمدی، ک.، قلی‌زاده، ح.، عبادزاده، ح.ر.، حسین‌پور، ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ.، رفیعی، م. ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، جلد اول: محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، ۱۲۵ صفحه
- ۳) الیاری، ح.، شکاری، ف. ۱۳۸۰. دانه‌های روغنی، زراعت و فیزیولوژی، انتشارات عمیدی.
- ۴) بی‌نام. ۱۳۹۴. اقلیم‌شناسی مازندران. اداره کل هواشناسی مازندران.
- ۵) تکاسی، س.، راشد محصل، م.ح.، بنایان، م. ۱۳۹۰. بررسی پتانسیل آللوپاتیک عصاره آبی در اندام‌های هوایی یونجه بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های چهارگونه علف‌هرز، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۹، شماره ۱، صفحات ۶۹-۶۰.
- ۶) جهان، م.، نصیری محلاتی، م.، رنجبر، ف.، آریایی، م.، کمایستانی، م. ۱۳۹۳. اثرات کاربرد پلیمر سوپرجاذب رطوبت در خاک و محلول‌پاشی اسید هیومیک روی برخی ویژگی‌های آگروفیزیولوژیکی و عملکرد کمی و کیفی چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در شرایط مشهد. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۶، شماره ۴، صفحات ۷۶۶-۷۵۳.
- ۷) دانشیان، ج.، پور موسوی، س.م.، گلوی، م.، اصغرزاده، ح.، صباغ‌نیا، ن. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر تنش خشکی و کود دامی بر شاخص‌های رشد سویا. نشریه زراعت پژوهش و سازندگی، شماره ۸۴، صفحات ۲۰-۱۴.
- ۸) رضایی، ع.، سلطانی، ا. ۱۳۷۷. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۹۴ صفحه.

- ۹) روح‌اللهی، ا.، کافی، م.، صیاد امین، پ.، ارغوانی، م. ۱۳۸۸. تاثیر شوری روی جوانه‌زنی و رشد اولیه نخود ایرانی، پنجه‌مرغی و چچم، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۸۱: صفحات ۱۵۳-۱۴۷.
- ۱۰) زمانی، ز.، نیاکان، م.، قربانلی، م. ۱۳۹۲. تاثیر پوتریسین برون‌زا بر میزان ترکیبات فنلی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیترات ردوکتاز دانه‌رست گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyomus niger*) تحت تنش خشکی، نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران، شماره پیاپی ۳۱، سال هشتم، شماره ۳، صفحات: ۷۸-۹۰.
- ۱۱) سلطانی، ا.، اکرم قادری، ف.، معمار، ح. ۱۳۸۶. تاثیر پرایمینگ بر مولفه‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه پنبه در شرایط تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم، شماره پنجم.
- ۱۲) فرجادی شکیب، م.، نادری، ر.، مشهدی اکبر بوجار، م. ۱۳۹۲. تاثیر محلول‌پاشی اسپرمیدین بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سیکلامن ایرانی (*Cyclamen persicum* Miller). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. سال پنجم، شماره سیزدهم، صفحات ۹۶-۱۱۳.
- ۱۳) فرجی، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام و لاین‌های خالص سویا در منطقه گرگان، مجله به‌زراعی نهال و بذر، جلد دوم، شماره یک، صفحات ۳۵-۴۵.
- ۱۴) فرخی، آ.، گالشی، س.، زینلی، ا.، عبدالزاده، ا. ۱۳۸۳. بررسی تحمل به خشکی ۱۱ ژنوتیپ سویا (*Glycine max L.*) در مرحله رشد رویشی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره چهارم، ۱۲ صفحه.
- ۱۵) عرب، غ.، مظفری، س.، عنایتی کلیجی، ح. ۱۳۹۵. سویا کاسپین. نشریه ترویجی سازمان جهاد کشاورزی مازندران. ۶ صفحه.
- ۱۶) عزیزی، م.، فلاح طوسی، ا. ۱۳۸۰. گزارش نهایی پروژه‌های تحقیقاتی کلزا در استان خراسان، مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان، صفحات ۱۱-۱۳.
- ۱۷) علیزاده، ا.، کمالی، غ. ۱۳۸۶. مصرف آب گیاهان در ایران. انتشارات آستان قدس رضوی.

- ۱۸) کریمی، ه.، ۱۳۷۵. گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه تهران، ۷۱۴ صفحه.
- ۱۹) مرادی دزفولی، پ.، شریفزاده، ف.، جان محمدی، م. ۱۳۸۷. تاثیر روش پرایمینگ روی جوانه زنی بذر لاین های اینبرد ذرت (*Zea mays L.*)، مجله علوم کشاورزی، جلد سوم، صفحات ۲۵-۲۲.
- ۲۰) موسوی، س. ح.، وفابخش، ج.، صدرآبادی حقیقی، ر. ۱۳۸۹. اثر تنش کم آبی بر کارایی مصرف آب ارقام کلزا (*Brassica napus L.*) در شرایط مشهد. نشریه بوم شناسی کشاورزی، جلد ۲، شماره ۳، صفحات ۴۹۱-۴۸۶.

- 21) Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. *Method of Enzymology*, 105:121-12.
- 22) Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat, *Plant Cell Environment*, 24: 1337-1344
- 23) AlizadehForotan, M., Pirdashti, H., Yaghoobian, Y. and Babaeizad, V. 2016. The effect of Paklobutrazol and incubation fungus *Piriformospora indica* on activity of antioxidant enzymes and morphological characteristics of green bean (*Phaseolus vulgaris*) under cold stress. *Journal of Plant Process and Function*, 5: 133-146.
- 24) Allen, R., Pereira, L.A., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirement, Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper, NO 50, Italy
- 25) Almaghrabi, O. A. 2012. Impact of drought stress on germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. *Life Science Journal*, 9: 590-598.
- 26) Aliobaidy, M.G. 2013. Effect of putrescine and humic acid on cotton plant growing under salinity stress conditions. Master of Science Thesis, Cairo University, Egypt.
- 27) Amini, F., and Ehsanpoor, A.A. 2005. Soluble proteins, proline, carbohydrates and  $Na^+/K^+$  changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under invitro salt stress. *American Journal of Biochemistry* 1(4): 212-216.
- 28) Anjamshoaa, S., Moeinrad, H., Ebrahimi, H. 2011. The effect of different irrigation levels on grain yield and yield components of four chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad climatic condition, *Iranian Journal of Pulses Research*. Vol.2(2), pp. 69-82.

- 29) Anjum, F., Yaseen, M., Rasul, E., Wahid, A., Anjum, S. 2003. Water stress in barley (*Hordeum Vulgare* L.), I. Effect on chemical composition and chlorophyll contents, *Pakistan Journal Agriculture Science*, 40: 45-49
- 30) Ardnt, S. K. K., Clifford, S.C., Wanek, W., Jones, H.G., Popp, M. 2001. Physiological and morphological adaptation of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress, *Tree Physiology*, 21: 705-715
- 31) Asada, K. 2006. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions, *Plant. Physiology*, 141(2): 391-396.
- 32) Ashraf, M. and Iram, A. 2005. Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. *Flora*, 200: 535-546
- 33) Ashraf, m., Foolad, M.R. 2007. Roles of glycinebetaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216
- 34) Apel, K., Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction, *Annual Review Plant Biology*, 55: 373-399
- 35) Basu, P.S., Ali, M., Chaturvedi, S.K. 2004. Adaptation of photosynthetic components of chickpea to water stress. 4<sup>th</sup> international crop science congress. Brisbane Australia, 26<sup>th</sup> Sep- 10<sup>th</sup> Oct.
- 36) Bates, L.S., Aldren, R.P., Teare, L.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207
- 37) Bloknina, O., Fagerstedt, K. V. 2010. Oxidative metabolism, ROS and no under oxygen deprivation, *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 48(5): 359-373.
- 38) Bradford, M. M. 1976. A Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Methods of Biochemical Analysis*, 72: 248- 254
- 39) Chandrasekar, V., Sairam, R.K., Srivastava, G.C. 2000. Physiological and biochemical responses of hexaploid and tetraploid wheat to drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185: 219-227
- 40) Chattopadhyay, M.K., Tiwari, B.S., Chattopadhyay, G., Bose, A., Sengupta, D.N., Ghosh, B. 2002. Protective role of exogenous polyamines on salinity-stressed rice (*Oryza sativa*) plant, *Physiology Plant*, 116: 192-199
- 41) Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant, *Functional Plant Biology* 30:239-264

- 42) Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5:187-188
- 43) Couee, I., Hummel, I., Sulmon, C., Gouesbet, G., Amrani, A.E. 2004. Involvement of polyamines in root development, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 76: 1-10
- 44) Decov, I., Tsonev, T., Yordanov, I. 2000. Effects of water stress and high-temperature stress on the structure and activity of photosynthetic apparatus of *Zea mays* and *Helianthus annuus*. *Photosynthetica*, 38: 361-366
- 45) Derringer, G., and Suich, R. 1980. Simultaneous optimization of several response variables. *J. Qual. Tech.* 12: 214-219
- 46) Dodd, G. L. and Donovan, L. A. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany*, 86: 1146-1153.
- 47) Dsouza, M. R., Kokila, S., Devaraj, V.R. 2014. Polyamine levels in leaves of hyacinth bean (*Lablab purpureus*) and their relation to drought-tolerance, *World Applied Science Journal*, 32(12): 2398-2402
- 48) Efeoglu, B., Ekmekci, Y., Cicek, N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery, *South African Journal of Botany*, 75: 34-42
- 49) Farnia, A., Noormohamadi, G., Naderi, A., Darvish, F., Majidi Hervan, I. 2006. Effect of drought stress and strains of *Bradyrhizobium japonicum* on grain yield associated characteristics in soybean in Borujerd. *Iranian Journal of Crop Science*, vol 8(3):201-214.
- 50) Farooq, M., Basra, S. M. A., Hossain, M., Rehman, H. and Saleem, B. A. 2007. Incorporation of polyamines in the priming media enhances the germination and early seedling growth in hybrids sunflower (*Helianthus annus* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 9: 868-872.
- 51) Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties, *Acta Physiology Plant*, Vol 31, pp. 937-945
- 52) Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Cheema, S. A. and Aziz, T. 2010. Comparative time course action of the foliar applied glycinebetaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196: 336-345.
- 53) Farshadfar, E., Mohammadi, R., Aghaee, M., Sutka, J. 2003. Identification of QTL involved in physiological and agronomic indicators of drought tolerance in rye using a multiple selection index, *Acta Agronomic Hung*, 51: 419-428.



- 54) Fazel Kakhaki, F., Nezami, A., Parsa, M. and Kafi, M. 2014. Evaluation of germination parameters and seedling growth of sesame ecotypes under salt stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(2): 217-232.
- 55) Flexas, J., Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C-3 plants: Stomatal and nonstomatal limitation revisited. *Ann.Bot.* 89:183-1890
- 56) Foyer, C. H., Fletcher, J.M. 2001. Plant antioxidant: colour me healthy, *Biologist*, 48: 115-120
- 57) Fu, J., Huang, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress, *Environmental Experiment Botany*, 45: 105-114
- 58) Garg, B.K. 2003. Nutrient uptake and management under drought: nutrient-moisture interaction, *Current Agriculture*, 27: 1-8.
- 59) 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
- 60) Groppa, M. D., Benavides, M.P. 2008. Polyamines and abiotic stress: recent advances, *Amino Acids*, 34: 35-45
- 61) Grossman, A., Takahashi, H. 2001. Macronutrient utilization by photosynthetic eukaryotes and the fabric of interactions, *Annual Review Plant Physiology*, 52: 163-210
- 62) Hakala, M., Tuominen, I., Keranen, M., Tyystjarvi, T., Tyystjarvi, E. 2005. Evidence for the role of the oxygen-evolving manganese complex in photoinhibition of photosystem ii. *Biochimica et Biophysica Acta* 1706, 68-80
- 63) Hall, A. 2003. Plant reaction to growth condition. Ferdowsi University of Mashhad Publication, pages:191-209
- 64) Harrington, E.J.R. 1965. The desirability function. *Industrial Quality Control* 21: 494-498.
- 65) Harris, D., Tripathi, R.S., Joshi, A. 2002. On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice, *International Rice Research Notes*, 22:30
- 66) Herbinger, K., Tausz, M., Wonisch, A., Soja, G., Sorger, A., Grill, D. 2002. Complex interactive effects of drought and ozone stress on the antioxidant defense systems of two wheat cultivars, *Plant Physiology Biochemistry*, 40: 691-696.

- 67) Hodges, D. M. DeLong, J.M., Forney, C.F., Prange, R.K. 1999. Improving the thiobarbituric acid reactive substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containing anthocyanin and other interfering compounds, *Planta*, 207: 604-611
- 68) Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Ashraf, M. Y., Cheema, M.A. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycine-betaine and salicylic acid in sunflower, *Journal Agronomy Crop Science*, 194: 193-199
- 69) Iraki, S. N., Bressan, R. A. and Carpita, N. C. 1989. Cell walls of tobacco cells and changes in composition associated with reduced growth upon adaptation to water and saline stress. *Plant Physiology*, 91: 48-53.
- 70) Jacobs, J., Ward, G., Mckenzie, F. 2004. Effects of irrigation strategies on dry matter yields and water use efficiency of arrange of forage species, *Crop Science*, 533- 549.
- 71) Jung, S., Kim, J.S., Cho, K.Y., Tae, G.S., Kang, B.G. 2000. Antioxidant responses of cucumber(*Cucumis sativus*) to photoinhibition and oxidative stress induced by norflurazon under high and low PPFDs, *Plant Science*, 153: 145-154
- 72) Kaya, M.D., Okcub, G., Ataka, M., Cikilic, Y., Kolsaricia, O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower(*Helianthus annuus* L.), *European Journal Agronomy*, 24: 291-295
- 73) Kim, J.Y., Mahe, A., Barnegeon, J., Prioul, J.L. 2000. A maize vacuoiur invertase, IVR2, is induced by water stress. Organ /tissue specificity and diurnal modulation of expression, *Plant Physiology*, 124;71-84.
- 74) Khaheh, H., Bingham, M., Powel, A. 2000. The effects of reduced water availability and salinity on the early seedling growth of soybean. *Proceeding of the Third International Crop Science Congress, Humbarg, Germany.*
- 75) Khuri, A.I., Conlon, M. 1981. Simultaneous optimization of multiple responses represented by polynomial regression functions. *Technometrics* 25: 199- 204.
- 76) Kubis, J. 2003. Polyamines and scavenging systems influence of exogenous spermidine on catalase and guaiacol peroxidase activities and free polyamine level in barley leaves under water deficit, *Acta Physiology Plant*, Vol 25, pp.337-343.
- 77) Kusano, T., Berberich, T., Tateda, C., Takahashi, Y. 2008. Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta*, 22:367-381

- 78) Kuznetsov, V. I. V., Radyukina, N. L. and Sheryakova, N. I. 2006. Polyamines and stress: biological role, metabolism, and regulation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53(5): 583-604
- 79) Lepoint, L., Turner, N.C., French, R. J., Barr, M. D., Duda, R., Davis, S.L. 2006. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment, *European Journal Agronomy*, 11: 279-291.
- 80) Li, Y. H., Liu, Y.J., Xu, X.L., Jin, M., An, L. Z., Zhang, H. 2012. Effect of 24-epibrassinolide on drought stress-induced changes in *Chorispora bungeana*, *Biology of Plant*, 56: 192-196.
- 81) Liu, H.P., Yu, B.J., Zhang, W.H. 2005. Effect of osmotic stress on the activity of Ht ATPase and the levels of covalently and noncovalently conjugated polyamines in plasma membrane preparation from wheat seedling roots. *Plant Science* 168: 1599-1607
- 82) Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnezhad, B, Struik, P.C., Sohrabi, E. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars, *Australian Journal of Crop Science*, Vol.4(8), pp. 580-585.
- 83) Maggio, A., Miyazaku, S., Veronese, P., Fujita, T., Ibeas, J.I., Damsz, B., Narasimhan, an active role in stress-induced growth reduction. *Plant Journal*, 31:699-712
- 84) Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, A., Lakshmanan, GMA., Panneerselvam, R. 2007. Growth, biochemical modification and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol 59, pp.141-149.
- 85) Martin-Tanguy, J. 2001. Metabolism and function of polyamines in plants: recent development (new approaches), *Plant Growth Regulation*, 34: 135-148.
- 86) Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F., Pinto, M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), *European Journal Agronomy*, 26:30-38
- 87) McWilliams, D. 2003. Drought strategies for cotton, Cooperative Extension Service Circular 582, College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State University, USA.
- 88) Meachel, B. and Kuffman, M. R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51: 914-916.

- 89) Miller, G., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S., Mittler, R. 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses, *Plant Cell Environment*, Vol 33, pp.453-467.
- 90) Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *Trends Plant Science*, Vol 7, pp.405-410.
- 91) Monakhova, O.F., Chernyadev, I.I. 2002. Protective role of karolin-4 in wheat plants exposed to soil drought, *Apply Biochemistry Micro* 38: 373-380
- 92) Multu, F., Bozcuk, S. 2013. Effects of exogenous polyamines on leaf area of sunflower grown in salinity stress, *Journal of Biology and Chemistry*, Vol 41(4), pp. 331-339.
- 93) Murungu, F.S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L. J., Whalley, W.R. 2003. Effects of seed priming aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton(*Gossypium hirsutum* L.) and maize(*Zea mays* L.), *Soil and Tillage Research*, 74: 161-168.
- 94) Nasri, M., Heidari Sharif Abad, H., Shiranirad, A., Majidi Heravan, E., Zamanizadeh, E. H.2006. The effect water stress on physiological characters of rapeseed cultivars. *Journal of Agriculture and Sciences*, 127-133
- 95) Nayyar, H., Chander, S. 2004. Protection effects of polyamines against oxidative stress induced by water and cold stress in cheakpea, *Journal of Agronomy Crop Science*, 190: 355-365
- 96) Nayyar, H. 2005. Putrescine increases floral retention, pod set and seed yield in cold stress cheakpea, *Journal of Agronomy Crop Science*, 191: 340-345
- 97) Nayyar, H., Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants, *Environmental and Experimental Botany*, 58:106-113
- 98) Nishiyama, Y., Allakhverdiev, S.I., Murata, N. 2006. Anew paradigm for the action of reactive oxygen species in the photoinhibition of photosystem II. *Biochimic et Biophysica Acta* 1757: 742-749
- 99) Noctor, G., Veijovic- Jovanovic, S., Foyer, C.H. 2000. Peroxide processing in photosynthesis: antioxidant coupling and redox signaling. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B.* 355:1465-1475.
- 100) Nyachiro, J.M., Briggs, K.G., Hoddinott, J., Johnson-Flanagan, A. M. 2001. Chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and water deficit in spring wheat, *Cereal Research Community*, 29: 135-142.

- 101) Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka, H., Fujita, K. 2006. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biology Plant*, 50:138-41
- 102) Oliviera-Neto, C. F., Silva-Lobatto, A. K., Goncalves-Vidigal, M. C., Costa, R. C. R., Santos-Filho, B. G., Alves, G. A. R., Silva-Main, W. Y. M., Cruz, F. J. R., Neres, H. K. B., Santos Lope, M. J. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages, *Science and Technology*, 7: 588-593.
- 103) Orikiriza, L. J. B., Agaba, H., Eilu, G., Kabasa, J.D., Worbes, M., Huffermann, A. 2013. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soil, before and after water stress, *Journal of Environmental Protection*, 4: 713-721
- 104) Osuagwu, G.G.E., Edeoga, H., Osuagwu, A.N. 2010. The influence of water stress(drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves(*Ocimum gratissimum* L.), *Recent Research in Science and Technology*, 2: 27-33.
- 105) Pandey, S., Ranade, S.A., Nagar, P.K., Nikhil, K. 2000. Role of polyamines and ethylene as modulators of plant senescence, *Journal Bioscience*, 25(3): 291-299.
- 106) Pignatiello, J.J. 1993. Strategies for robust multi-response quality engineering. *IIE Trans* 25: 5-15.
- 107) Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b, *Photosynthesis Research*, 73:149-156.
- 108) Purcell, L.C., King, C.A., and Ball, R.A. 2000. Soybean cultivar difference in ureides and relation ship to drought tolerant nitrogen fixation and manganese nutrition. *Crop Science*, 40: 1062-1070
- 109) Rauf, M., Munir, M., UI-Hassan, M., Ahmed, M., Afzali, M. 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Biotechnology*, 8:971-975
- 110) Reddy, A. R., Chaitanya, K.V., Sundar, D. 2000. Water stress-mediated changes in antioxidant enzyme activities of mulberry(*Morus alba* L.). *J. Seri. Jpn*, 69; 169-175

- 111) Reddy, A., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plant, *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189-1202
- 112) Sadeghi, H., Khazaei, F., Yari, L., Sheidaei, S. 2011. Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soybean(*Glycine max* L.), *Journal of Agricultural and Biological Science*, vol 6(1): 39-43
- 113) Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Agarwal, S., Meebna, R.C. 2005. Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes, *Biology Plant*, 49: 85-91.
- 114) Schaller, G., Kieber, J. 2002. Ethylene. *American Society Plant Biologists*, 1-17.
- 115) Seckin, B., Turkan, I., Sekmen, A. H., Ozfidan, C. 2010. The role of antioxidant defense systems at differential salt tolerance of *Hordeum marinum* Huds.( sea barley grass) and *Hordeum vulgare* L.(cultured barley), *Environmental and Experimental Botany*, 69(1): 76-85.
- 116) Skotnica, J., Matouskova, M., Naus, J., Lazar, D., Dvorak, L. 2000. Thermoluminescence and fluorescence study of changes in photosystem II photochemistry in desiccating barley leaves, *Photosynthesis Research*, 65: 29-40
- 117) Shanker, A.K., Maheswari, M., Yadav, S.K., Desai, S., Bhanu, D., Attal, N.B., Venkateswarlu, B. 2014. Drought stress responses in crops, *Funet Integr Genomics*, 14: 11-22
- 118) Shehab, G. G., Ahmed, O. K. and El-Betagi, H. S. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Hort Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38: 139-148.
- 119) Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E., Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation, *Journal of Plant Physiology*, 167:1248-1252
- 120) Siddique, M.R.B., Hamid, A., Islam, M.S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41:35-39
- 121) Silva, M. A., Jifon, J. L., Silva, J. A. G., Shavma, V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19: 193-201.
- 122) Singh, K. P. 2001. Effect of water stress on seed germination and seedling growth of some wheat genotypes. *Advance in Plant Science*, 14: 23-26.

- 123) Sivakumar, T., Manavalan, R., and Valliappan, K. 2007. Global optimization using derringer's desirability function: Enantioselective determination of ketoprofen in formulations and in biological matrices. *Acta Chromatographica* 19: 29-47.
- 124) Smieikalis, K.D., Mullen, R.E., Carlson, R.E., Knapp, A.D. 1989. Drought-induced stress effects on soybean seed calcium and quality. *Crop Science*, 29: 1519-1523
- 125) Speeht, J.E., Chase, K., Macrander, M., Greaf, G.L., Chung, J., Markwell, I.P., German, M., Orf, J.H., Lark, K.G. 2001. Soybean response to water. A QTL analysis of degree tolerance. *Crop Science*, 40: 493-509
- 126) Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S. and Latifi, N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Science and Technology*, 29: 653-662.
- 127) Talaat, N.B., Shasky, B.T., Ibrahim, A.S. 2015. Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine, *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 113, pp. 47-58.
- 128) Taiz, L., Zeiger, E. 2006. *Plant physiology*, 4<sup>th</sup> Edition, Sinauer Associates Incorporated Publishers, Massachusetts.
- 129) Takahashi, T., Kakehi, J.I. 2009. Polyamines: ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses. *Annals of Botany*, 105:1-6
- 130) Tang, W. and Newton, R. J. 2005. Peroxidase and catalase activities are involved in direct adventitious shoot formation induced by thidiazuron in eastern white pine (*Pinus strobus* L.) zygotic embryos. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 43:730-769.
- 131) Vahidi, J. 2009. Effect of water stress germination indices in seven wheat cultivar. *World Academi of Science, Engineering and Technology*, 49
- 132) Vaidyanathan, H., Sivakumar, P., Chakrabarsty, R., Thomas, G. 2003. Scavenging of reaction oxygen species in NaCl-stressed rice( *Oryza Sativa* L.) differential response in salt-tolerant and sensitive varieties, *Plant Science*, 165: 1411-1418.
- 133) Verma, S., Mishra, S. N. 2005. Putricine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense system, *Journal Plant Physiology*, Vol 162, pp: 669-677.
- 134) Vinning, G.G. 1998. A compromise approach to multi-response optimization. *Journal of Quality Technology* 30: 309-313..

- 135) Vu, J.C.V., Gesch, R.W., Pennanen, A.H., Allen, J.R. L.H., Boote, K.J., Bowes, G. 2001. Soybean photosynthesis, rubisco, and carbohydrate enzymes function at elevated- CO<sub>2</sub> in supraoptimal temperatures. *Journal Plant Physiology*, 158:295-307
- 136) Wahid A., Rasul, E. 2005. Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit, in: Pessarakli M.(Ed.), *Handbook of Photosynthesis*, 2nd ed., CRC Press, Florida, pp,479-497
- 137) Wang, W., Vinocur, B., Altman, A.2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetics engineering for stress tolerance, *Planta*, Vol. 218, pp. 1-14.
- 138) Yaghoobian, Y., Mohammadi-Goltapeh, E., Pirdashti, H., Esfandiari, E., Feiziasl, V. and Kari Dolatabadi, H. 2014. Effect of *Glomus mosseae* and *Piriformospora indica* on growth and antioxidant defense responses of wheat plants under drought stress. *Agriculture Research*, 3: 239-245.
- 139) Yiu, J., Juang, L., Fang, D., Liu, Ch., Wu, Sh. 2009. Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of welsh onion, *Scientia Horticulture*, 12093):306-314.
- 140) Yoshimura, K., Yabuta Y., Ishikawa, T. and Shigeoka, S. 2000. Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. *Plant Physiology*, 123: 223–233.
- 141) Yu, X., Du, X., Song, L. 2007. Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the *Rhus typhina*, *Scientia Siluge Science*, 43: 57-61
- 142) Zhang, M., Duan, L., Tian, X., He, Z., Li, J., Wang, B., Li, Z. 2007. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system, *Journal of Plant Physiology*, 164:709-717
- 143) Zhu,J. 2006. Effects of drought stress induced by polyethylene glycol on germination of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seeds from pollination forests on sandy land. *Natural and Pollination Forests on Sandy Land Journal of Forest Research*, 11(5): 319-328.
- 144) Zadbood, A., Noghondarian, K., Zadbood, Z. 2013. Multiresponse surface optimization via harmony search algorithm. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research* 24: 131-136..



# ضمائم

ضمیمه ۱- اطلاعات مجموع بارش ماهانه منطقه مورد آزمایش براساس داده‌های سینوپتیک ایستگاه هواشناسی شمال - مازندران

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
1984	55.5	75	50.7	13.5	44.9	59.4	7.7	120	18.3	123	96.3	89.5
1985	62.1	125.8	38.4	13.4	2.1	3.1	20	44.7	41.1	110.3	22.4	64.6
1986	81.7	51.2	66.2	18.3	9.7	10.2	12.2	35.6	69.2	127	139.3	90.9
1987	18.3	60.7	97.4	39.3	7.9	3.8	37.5	92.7	65.8	288.7	67.6	103.4
1988	114.7	34.6	54.3	31.8	28.2	24.4	105.5	95.8	37.2	122.7	42.3	43
1989	59.6	47.7	126.5	13.2	24.2	4.6	8.8	79.2	136.4	99.1	27.6	78.7
1990	81.9	38	88.3	40.3	31.8	22.5	28.7	45	34.7	93.9	83.9	72.6
1991	61.8	110.4	44.8	19.8	44.5	7	27.8	8.8	26.5	38.4	67.9	93.1
1992	105.4	110.1	106.1	83.4	71.4	17.6	16.9	67.3	70.5	76.8	161.3	53.6
1993	70.4	82.5	62.8	25.9	28.8	68.1	36	34.6	115.8	19	108.8	21.4
1994	76.3	50.1	39.5	22.8	49.7	160	3.2	6.4	106	118.3	87.4	125.6
1995	33	41.4	22.7	47.2	2.2	17.9	18.6	27.3	135.5	78.3	81.3	105.5
1996	27.1	88.6	52.4	59.6	17	41.7	7.5	11.8	162.9	130.9	199.4	22.5
1997	67.8	65.6	115.8	24	18.7	40.4	101	29.2	139.5	93.6	99.1	123.6
1998	119.2	52.3	20	73	21.6	22.7	22.8	52.9	98.8	68.7	20.8	35.7
1999	92.5	8.9	59.7	43.5	46.4	4.3	126.7	14.8	92	45.1	75.3	49.6
2000	85.5	57	41.6	0	33.8	39.2	6.8	26.4	103.5	122.1	107.1	84.1
2001	24.9	34.9	47.1	11.5	61.4	8.2	10.2	76.6	38.9	64.1	161.6	73.5
2002	56.9	50.7	76.2	90.7	47.1	17.8	18.8	28.7	9.5	181.1	189.6	117.3
2003	28.8	66.8	62.4	56.8	32.4	49.6	11.8	67.2	105.5	70	158.6	92.3
2004	30	10.8	116.8	106.6	45	78.9	64.1	7	74.9	75.2	143.4	133.6
2005	94	59.9	90.9	30.4	66.8	40	8.6	31.5	51.3	67.6	146.7	45.8
2006	81.2	28.3	41.8	17.9	29.7	8	11.9	2.3	78.7	85.2	117.2	165.4
2007	58.6	104.8	166.1	40.6	6.1	39.2	63.9	2.2	58.6	54	141	54.6
2008	52.6	45.7	26	3.9	19.6	19.4	19.4	19	93.7	161.7	43.6	73.6
2009	74.1	66.5	100.3	76.4	24.4	20.2	4.9	80.1	186.4	52	206.5	44.2
2010	85.7	79.4	37.9	49.4	17.2	9.1	8	61.8	7	67.3	12	28.4
2011	141.5	113	80.3	19.9	13.8	44.6	5.3	100	68.3	186.6	82.5	49.9
2012	77.4	87.8	78.4	3	1.8	22.5	16.5	43.7	84.4	51.3	145	114.9
2013	64.1	46.6	75	40.7	19.9	16.4	20.5	33.4	40.5	109.8	101.7	115.8
2014	32.7	26.9	70.8	17.7	9.1	32	23.3	4.1	74.6	132.9	41.8	47.9
2015	63.1	51.7	69.3	18.3	7.7	8.5	50.9	26.5	64.1	155.6	69.7	65.5
2016	64.1	124.6	77.8	62.2	41.1	52.6	68.1	0	113.1	51.2	82.2	39.4
2017	68.4	61.2	33.3	66.9	8.8	8.7	3.2	0.1	38.2	101.9	62	39.5

ضمیمه ۲- اطلاعات میانگین دمای ماهانه منطقه مورد آزمایش بر اساس داده‌های سینوپتیک ایستگاه هواشناسی شمال - مازندران

سال	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
1984	8.3	5.4	9.4	14.9	18.1	21.9	26	23.9	22.2	17.1	13.7	6.2
1985	6.6	7.5	7.1	15.6	21	24.3	24	25	23.3	16.6	13.6	8.5
1986	7.7	7.7	7.2	14.9	19	23.4	25.5	25.8	24	18.3	12.2	7.5
1987	8.9	8.4	9.5	13.1	20.3	24.1	25.2	25.6	21.3	14.5	12.3	8.9
1988	6.5	7.3	10	15	18.9	25	25.4	24.3	22.3	18.3	13.2	9.8
1989	5.1	5.2	10.8	15.8	20.2	24	26.7	26.4	22.7	19.4	13.9	9.4
1990	5.6	7.4	9.8	14.7	18.5	23.9	25.7	24.1	23.3	18	14	8.4
1991	7.2	6.2	8.4	15.3	18.7	23.3	26.2	25.9	22.2	19.6	12.6	7.6
1992	4.9	6.3	8	13.2	17	23.3	24.6	23.2	21.7	17	12.7	8.5
1993	6.3	5.6	9.5	14.9	19.4	22.6	24.4	25.3	22.3	16.3	9.8	7.8
1994	7.2	5.3	9.5	15.6	19.8	21.3	24.2	24.7	21.1	17.5	14.2	6.9
1995	8.1	8.2	10.8	15.7	21	24	25.4	26	23.4	16.3	13.8	7.5
1996	6.2	7.5	7.9	12.8	20.8	22.3	26.2	25.8	23.6	17.9	12.4	10.4
1997	8.3	6.7	8.3	15.4	20.6	24.8	25.4	26.4	21.5	20.2	12.2	8.8
1998	6.5	6.2	10.4	16.5	20.7	25.8	26.1	27	23	18	14.7	11
1999	7.9	10	10.6	14.7	18.6	23.3	25.3	28.1	22.8	19.3	11.7	9.4
2000	7.3	8.2	9.4	18	19.9	23.1	26.5	27.4	24	17.4	11.7	9.3
2001	6.7	9.2	12.3	16.2	20.3	23.4	25.6	26.5	23.8	17.8	13.4	10.5
2002	7.7	9	12.3	13.9	18.1	23.4	26.4	26.2	25	21.5	14.4	6
2003	7.7	8	8.2	12.5	19	22.2	25	26.1	23	20.6	12.7	9.5
2004	9.1	10	11.7	13.9	19.6	23.8	24.4	27.2	22.8	18.3	13.9	7.7
2005	7.2	6.6	10.9	15.2	19.8	23.3	26.8	26.4	24	19.3	12.8	10.4
2006	5	8.4	11.8	15.5	19.4	25.7	25.7	28.2	23.7	21	13.6	7.2
2007	7.2	7.9	9.7	13.8	20.4	24.6	24.8	27.6	24.7	18.9	13.6	7.9
2008	2.9	6.1	14.2	16.8	20	23.3	26.2	27.3	24.8	18.8	12.7	8.1
2009	6.4	9.2	11.4	12	19.8	23.9	26.7	24	22.7	19.1	13.7	9.9
2010	9.3	8.9	10.6	14.2	20.5	26.9	28.2	27.7	24.4	20.5	13.7	11.4
2011	8.3	7.6	9.5	15	20.1	24.7	27.8	26	22.9	17.5	9.3	7
2012	7.1	5.2	8.4	17.4	23	25.2	26.2	27.9	23.1	20.3	14.6	9.2
2013	8.6	9	12.4	15.1	20.8	24.3	26.2	25.2	24.6	18	14.4	7.6
2014	7.8	6	11	15.5	22.4	24.9	26.6	28.1	25.2	17.4	11.5	9
2015	7.7	8.9	9.9	14.6	20.9	25.8	26.7	26.8	24.2	19.4	11.9	8.4
2016	8.7	8.8	12.5	15.7	20.9	24.9	25.7	27.8	23.9	17.6	10.2	8
2017	7.1	6.5	10.9	14.7	21.5	24.8	27.3	28.8	25.9	18.5	14.7	9.4

ضمیمه ۳- نیاز خالص آبیاری زراعت سویا تابستانه در دشت قائم‌شهر-جویبار، استان مازندران اساس برنامه Netwat

( وزارت جهاد کشاورزی- سازمان هواشناسی کشور- طرح بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی)

ماه	دهه	تبخیر (mm)	باران موثر(mm)	نیاز خالص آبیاری(mm)	ماه	دهه	تبخیر و تعرق(mm)	باران موثر(mm)	نیاز خالص آبیاری(mm)
فروردین	۱	-	-	-	مهر	۱	۲۸	۱۵	۱۳
	۲	-	-	-		۲	۲۳	۲۰	۳
	۳	-	-	-		۳	۲۰	۲۰	۰
اردیبهشت	۱	-	-	-	آبان	۱	۱۶	۱۶	۰
	۲	-	-	-		۲	۸	۸	۰
	۳	-	-	-		۳	-	-	-
خرداد	۱	-	-	-	آذر	۱	-	-	-
	۲	-	-	-		۲	-	-	-
	۳	-	-	-		۳	-	-	-
تیر	۱	-	-	-	دی	۱	-	-	-
	۲	۱۴	۵	۹		۲	-	-	-
	۳	۱۷	۵	۱۲		۳	-	-	-
مرداد	۱	۱۸	۰	۱۸	بهمن	۱	-	-	-
	۲	۲۳	۹	۱۴		۲	-	-	-
	۳	۳۳	۱۲	۲۱		۳	-	-	-
شهریور	۱	۳۲	۱۲	۲۰	اسفند	۱	-	-	-
	۲	۳۳	۸	۲۵		۲	-	-	-
	۳	۳۳	۲۴	۹		۳	-	-	-

جمع	تبخیر و تعرق	باران موثر	نیاز خالص آبیاری
میلی‌متر	۲۹۸	۱۵۴	۱۴۴

نیاز خالص آبیاری (مترمکعب در هکتار) ۱۴۴۰

در محاسبه نیاز آبی برای آبیاری اولیه خاک مقدار آب منظور نشده است، لذا می‌توان با توجه به شرایط خاک و

نوع زراعت ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر به مقدار نیاز خالص آبیاری افزود.

## Abstract

The water is restricted agent for growth and development for crops and development for crops and drought stress is a main agent of damages to crop in worldwide. Today's polyamines including putrescine (put), spermidine (spd), and spermine (spm) are organic polycations with low molecular weight that protect plants as regulators of physiological process against stresses. In order to evaluate the effect of spd on growth and some characteristics of soybean under drought stress, an experiment with two stages including germination and seedling growth under experimental condition at Sari Agricultural Science and Natural Resources University and field experiment on soybean CV. Caspian in drought stress condition in 2016 and 2017 years in Mazandaran, Joybar.

In germination experiment, treatments were including three level of drought stress (0, -2, -4 bar), and three level of spermidine (0, 1, 2 mM) with 4 replicates. For condition drought stress is used PEG 8000. The results showed that application of spd at rate of 1 mM improved germination properties, significantly, including germination maximum, germination rate, germination uniformity, times 10, 50, 90% germination, radicle length, seedling weight and final germination under mild drought stress (-2 bar). High dose of spermidine could not improve the tolerance to intensive stress in evaluated traits. The priming by spd led to increasing of tolerance to stress by improvement germination properties and increasing of activity of antioxidant enzymes in soybean seedlings. The field experiment was conducted based on randomized complete block design with three replication in Chapakrood (Joybar, Mazandaran province) in 2016 and 2017 years. The treatments were included four irrigation levels (100, 70, 50 and 30% of water requirement) as main plots and three spd levels (0, 0.5, 1 mM) as sub-plots. Evaluated parameters were leaf number, pod number per plant, plant height, seed number per plant, weight of 1000 seeds, dry matter yield per plant, seed yield per plant, membrane stability index (MSI), relative water content (RWC), electrolyte leakage (EL), malonaldehyde (MDA), and hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ), photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids), amount protein of leaf, activity of antioxidant enzymes including CAT, APX, POD, and amount leaf proline were significant ( $p < 0.05$ ). The results showed with decreasing amount irrigation, application of spd specially in middle and high stresses (irrigation low 50% water requirement) could increase plant tolerance to stress with improvement of evaluated characteristics and increasing of antioxidant enzymes..

Keywords: Antioxidant enzymes, Desirability function, Multiple regression, Proline



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Agriculture**

**Ph.D Thesis in Agroecology**

**Title: Effect of spemidine on growth and some properties of soybean  
under drought stress conditions**

**By: Masoumeh Heidargholinezhad kenari**

**Supervisor:**

Dr. Manoochehr Gholipoor

**Advisors:**

Dr. Hamid Abbasdokht

Dr. Hemmatollah Pirdashti

**Septamber 2019**