افزایش کارایی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذور زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با طول عمر متفاوت تحت تنش شوری

سجاد سهرابیانی، علی مرادی*، امین صالحی و حمیدرضا بلوچی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵)

چکیده

پرایمینگ یکی از راهکارهای بهبود کیفیت فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذر است که باعث بهبود جوانه‌زنی بذور در شرایط محیطی تنش‌زا از قبیل تنش شوری می‌شود. بدین منظور سه آزمایش مجزا به‌صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی برای بذور تولیدی سال‌های ۱۳۹۲،۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ زیره سبز اجرا شد. فاکتور اول برای بذور تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲تیمارهای پرایمینگ با ترکیبات سدیم دی‌هیدروژن فسفات (NaH_2Po_4) ۱٪، اسید آسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۲٤ ساعت و ۱٪NaH_2Po_4، با ترکیب دمایی ٤°C و مدت زمان ۲٤ ساعت و برای بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ اسید جیبرلیک ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۲٤ ساعت و اسید جیبرلیک ۱۰۰ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۱۲ ساعت بود، بذور پرایم نشده هر سه سال نیز به‌عنوان شاهد استفاده شد. فاکتور دوم نیز پتانسیل اسمزی اعمال شده توسط کلرید سدیم در چهار سطح صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری از شاخص‌های جوانه‌زنی، محتوای پروتئین محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پلی فنل اکسیداز و آسکوربات پرواکسیداز کاسته شد، اما تیمارهای پرایمینگ سبب افزایش آنها شدند. در بذور تولیدی سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ ۱٪NaH_2Po_4 و در بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ اسید جیبرلیک ۱۰۰ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۲٤ ساعت بیشترین شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی را در میان سایر تیمارها داشتند. نتایج کلی آزمایش نشان‌دهنده این موضوع است که پرایمینگ از طریق افزایش کیفیت بذر و بهبود فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانتی بر افزایش تحمل زیره سبز به تنش شوری مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، پرایمینگ، جوانه‌زنی بذر، زیره سبز، شاخص بنیه گیاهچه

مقدمه

کشور ایران با یک تنوع بی‌نظیر در شرایط اقلیمی و آب و هوایی، رویشگاه بسیاری از گونه‌های گیاهی، از جمله گیاهان دارویی می‌باشد. زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum* L.، به‌عنوان مهم‌ترین گیاه داروئی اهلی کشور ایران شناخته شده است، این گیاه توجیه اقتصادی بالایی داشته و صادراتی بودن آن نیز باعث ایجاد ارزآوری برای کشور شده که جایگاه آن را در الگوی کشت مناطق خشک و نیمه‌خشک تثبیت کرده است (Amini Dehaghi and Mollafilabi, 2011).

یکی از مشکلات اهلی‌سازی و افزایش تولید گیاهان دارویی، کیفیت پایین بذر و استقرار نامناسب گیاهچه‌ها در شرایط تنش‌زای محیطی مانند تنش شوری است. اثر بازدارنده تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی یا سمیت یونی است. شوری بر کارایی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: amoradi@yu.ac.ir

بذر اثر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و کاهش تولید ماده خشک نیز می‌گردد (Tobe and Omasa, 2004). شوری همچنین ممکن است به‌دلیل عدم توازن بین سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و سطوح گونه‌های اکسیژن فعال منجر به بروز تنش اکسیداتیو گردد (Foyer and Noctor, 2000).

استراتژی‌های مختلفی جهت غلبه بر اثرات منفی تنش‌ها هنگام جوانه‌زنی وجود دارد. یکی از مهمترین تیمارهای مورد استفاده، تیمار قبل از کاشت بذر تحت عنوان پرایمینگ می‌باشد. با استفاده از پرایمینگ می‌توان جوانه‌زنی را در شرایطی چون تنش شوری ارتقاء داد که این مسئله در نهایت می‌تواند به افزایش محصول ختم گردد. بذرهای با کیفیت و قدرت بالاتر می‌توانند بهتر سبز شده و در مواجهه با تنش‌های محیطی درصد سبز شدن و سرعت جوانه‌زنی بالاتری را داشته و در نهایت گیاهچه‌های نیرومندتری تولید خواهند کرد (McDonald *et al*., 2004). نتایج مطالعات نشان داده است که اثر مثبت پرایمینگ بذرها در شوری بالا بیشتر مشخص می‌شود و بذرهای پرایم شده در سطوح شوری بالا عملکرد بهتری نسبت به بذرهای پرایم نشده دارند (شاکرمی و همکاران، ۱۳۸۹). طباطبایی و شاکری (۱۳۹۳) با بررسی اثر پرایمینگ بذر با استفاده از نمک ۰/۵ و ۱ مولار کلرید سدیم بر ویژگی‌های جوانه‌زنی زیره سبز تحت شرایط تنش شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم در سطوح صفر، ۲-، ٤-، ٦-، ۸- و ۱۰ دسی زیمنس بر متر به این نتیجه رسیدند که تنش شوری اثر منفی و معنی‌داری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی مانند طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و درصد جوانه‌زنی داشتند و پرایمینگ با نمک ۱ مولار کلرید سدیم نیز باعث افزایش معنی‌دار صفات مختلف جوانه‌زنی گیاه شد.

برخی مطالعات نشان داده است که کارایی سیستم‌های بیوشیمیایی گیاه با مقاومت به تنش شوری همبستگی دارد (Athar *et al*., 2008). گیاهان مقاوم به شوری باید علاوه بر تنظیم هومئوستازی یون و آب، باید دارای سیستم آنتی‌اکسدانی قوی برای حذف موثر ROSها باشند (Noctor *et al*., 2002). گودرزیان قهفرخی و همکاران (۱۳۹٤) با بررسی تأثیر تنش شوری در چهار سطح (صفر، ٤۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار) بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در دو رقم بذر گندم نان بیان داشتند که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در تمامی سطوح شوری کاهش یافت. احمدپور دهکردی و بلوچی (۱۳۹۱) بیان داشتند که غلظت پروتئین محلول با افزایش تنش شوری و خشکی کاهش و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پرولین که نقش محافظتی در برابر تنش ایفا می‌کنند و محتوای مالون دی‌آلدئید افزایش یافت. اما در اثر اعمال پرایمینگ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پرولین افزایش و میزان مالون دی‌آلدئید یا پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلول کاهش یافت.

مشابه با سایر گیاهان دارویی زیره سبز به‌دلیل دارا بودن اسانس و مواد مؤثره دارویی مستعد زوال طی انبارداری است و همچنین بذور تازه برداشت شده برخی توده‌ها دارای خواب اولیه هستند که جوانه‌زنی این گیاه را دچار مشکل می‌کند، لذا پیش‌تیمارهای بذری می‌توانند در بهبود کیفیت بذرهای زوال یافته و نیز تحریک جوانه‌زنی این گیاه در شرایط نامناسب محیطی کمک نمایند. این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثر پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی زیره سبز با طول عمر متفاوت تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی بذور زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در قالب سه آزمایش جداگانه در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج در سال‌های ۹٤-۱۳۹۳ انجام شد. آزمایش‌ها به‌صورت دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار ۲۵ بذری انجام شد. عامل اول در هر آزمایش تیمار پرایمینگ و عامل دوم سطح تنش شوری بود. به منظور انتخاب تیمارهای پرایمینگ آزمایش مقدماتی برای بذور تولیدی هر سه سال انجام و بر مبنای شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه

بهینه‌ترین تیمارها انتخاب و در آزمایش اصلی استفاده شدند. تیمارهای پرایمینگ انتخاب شده برای بذور تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ شامل چهار سطح اسموپرایمینگ با سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۲٤ ساعت (NaH2Po4 1%-20°C-24h)، اسموپرایمینگ با سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ٤°C و مدت زمان ۲٤ ساعت (NaH2Po4 1%-4°C-24h) و پرایمینگ هورمونی با اسید آسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۲٤ ساعت (AA100 mg.l^{-1}-20°C-24h) و بذرهای پرایم نشده (به عنوان شاهد) بودند. برای بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ نیز تیمارهای پرایمینگ شامل چهار سطح پرایمینگ هورمونی با اسید جیبرلیک با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۲٤ ساعت (GA3100&200 mg.l^{-1}-20°C-24h) و اسید جیبرلیک ۱۰۰ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۱۲ ساعت (GA3100 mg.l^{-1}-20°C-12h) و همچنین بذور پرایم نشده به‌عنوان شاهد بودند. پس از آماده شدن محلول‌های پرایمینگ، حدود ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌ها به پتری‌دیش‌های شیشه‌ای بزرگ با قطر ۱۲ سانتی‌متر حاوی بذور (۳۰۰ عدد بذر) اضافه شد. سپس پتری‌دیش‌ها در دمای ٤ یا ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان‌های ۱۲ یا ۲٤ ساعت قرار داده شدند. در پایان این مدت زمان، بذور از محلول‌ها خارج، شستشو داده شده و سپس تا زمان رسیدن به رطوبت اولیه در دمای اتاق خشک شدند.

عامل دوم در هر سه آزمایش شامل تنش شوری با پتانسیل‌های اسمزی صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار اعمال شده توسط کلرید سدیم (NaCl) بود. جهت اعمال تنش شوری بذور همراه با ۵ میلی‌لیتر از محلول‌های شوری با پتانسیل‌های اسمزی مختلف به پتری‌دیش‌های با قطر ۹ سانتی‌متر کشت شدند. برای تهیه پتانسیل اسمزی محلول‌های نمک از فرمول وانت هوف استفاده شد. قبل از انجام آزمون جوانه‌زنی برای جلوگیری از آلودگی بذری، بذرها به مدت ۵ دقیقه با قارچ‌کش کربوکسین تیرام با غلظت یک در هزار ضدعفونی شدند. جهت جلوگیری از اتلاف رطوبت پتری‌دیش‌ها با پارافیلم بسته شدند و سپس در دمای متناوب ۳۰- ۲۰ درجه سانتی‌گراد درون ژرمیناتور به مدت ۱٤ روز قرار گرفتند (ISTA, 2010). در طی آزمایش، شمارش جوانه‌زنی بذرها به صورت روزانه در ساعتی معین انجام شد. ملاک جوانه‌زنی خروج ۲ میلی‌متر طول ریشه‌چه بود. در پایان آزمایش درصد جوانه‌زنی کل (رابطه شماره ۱)، سرعت جوانه‌زنی (رابطه شماره ۲)، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه (رابطه شماره ۳) محاسبه شدند.

(رابطه شماره ۱)

$$\text{درصد جوانه‌زنی کل (ISTA, 2010)} = \frac{\text{بذور جوانه زده}}{\text{کل بذور موجود در تکرار}} \times ۱۰۰$$

(رابطه شماره ۲)

$$\text{سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) (Ellis and Roberts, 1981)} = ni/di$$

که در این رابطه ni بذور جوانه‌زده در روز i ام و di روز پس از شروع جوانه‌زنی می‌باشد.

(رابطه ۳) =شاخص بنیه گیاهچه (وزنی)

۱۰۰/(میانگین وزن گیاهچه × درصد جوانه‌زنی استاندارد)

به‌منظور ارزیابی فعالیت‌های آنزیمی از هر تیمار بذری قبل از خروج ریشه‌چه جهت عصاره‌گیری نمونه برداری شد. مقدار ۰/۰٦٦ گرم از بذور آبنوشی شده درون هاون چینی واقع بر روی یخ، با ۲ میلی لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH ٦/۸ هموژن شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤°C، سانتریفیوژ شد (Dean, 1985). سوپرناتانت بدست آمده برای اندازه‌گیری محتوای پروتئین محلول و فعالیت آنزیم‌های CAT، PPO و APX مورد استفاده قرار گرفت.

میزان پروتئین محلول گیاهچه به روش Bradford (۱۹۷٦) اندازه گیری شد. برای این منظور ۲/۵ میلی‌لیتر محلول برادفورد داخل کووت ۳ میلی‌لیتر ریخته شد و سپس ۲۵ میکرولیتر عصاره به آن اضافه شد و پس از ۱ دقیقه جذب در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر ثبت شد. غلظت پروتئین بر حسب میکروگرم بر گرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Cacmak و Horst (۱۹۹۱) با کمی تغییر اندازه گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم به ۲/۸ میلی لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی مولار با pH=٦/٨، ۱۰۰ میکرولیتر H_2O_2 ۳۰ میلی مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی اضافه و جذب به مدت ۱ دقیقه به فاصله زمانی ۳۰ ثانیه در طول موج ۲٤۰ نانومتر قرائت شد. تجزیه H_2O_2 با کاهش جذب در طول موج ۲٤۰ نانومتر دنبال گردید. فعالیت آنزیم به صورت جذب در دقیقه به ازای میلی‌مول در گرم وزن‌تر بذر گزارش شد.

ضریب خاموشی کاتالاز (ε=۰/۰۳۹٤ $mMol^{-1}cm^{-1}$)

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز از روش Kar و Mishra (۱۹۷٦) استفاده شد. بدین صورت که ۱/۵ میلی لیتر تریس اسید کلریدریک ۰/۲ مولار با pH=۷/٦ و ۰/۳ میلی مولار پیروگالول ۰/۰۲ مولار را با هم مخلوط کرده و سپس ۰/۱ میلی لیتر از عصاره پروتئینی استخراج شده به آنها افزوده، ورتکس شده و سپس جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۲۰ نانومتر قرائت گردید. ضریب خاموشی پلی فنل اکسیداز (ε=۰/۰۰٦۲ $mMol^{-1}cm^{-1}$)

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مخلوط واکنش با حجم کل ۳ میلی‌لیتر، به ترتیب شامل ۲/٤۹۰ سی‌سی بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار با pH=۷، ۳۰۰ میکرولیتر آسکوربات ۰/۵ میلی‌مولار، ۳۰ میکرولیتر EDTA ۰/۱ میکرومولار، ۱۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۳۰ میکرولیتر H_2O_2 ۳۰ میلی مولار بود. واکنش با اضافه نمودن H_2O_2 آغاز شد. به‌دنبال اکسید شدن آسکوربات، یک دقیقه پس از شروع واکنش، کاهش جذب در ۲۹۰ نانومتر نسبت به زمان شروع واکنش (در بازه زمانی یک دقیقه‌ای) ثبت شد. در نهایت با استفاده از تغییرات جذب در دقیقه (بازه زمانی صفر و یک دقیقه) و ضریب خاموشی آسکوربات میزان آسکوربات بر جای مانده پس از یک دقیقه انجام واکنش آنزیمی محاسبه و به‌صورت جذب در دقیقه به ازای میلی‌مول بر گرم وزن تر بذر گزارش شد. یک واحد آنزیمی آسکوربات پراکسیداز مقدار آنزیمی است که یک میلی مول آسکوربات را در یک دقیقه اکسید می‌کند (Nakano and Asada,1987). ضریب خاموشی آسکوربات (ε=۲/۸ $mMol^{-1}cm^{-1}$).

محاسبات آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای بذور تولیدی سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نشان داد که اثرات اصلی تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه (وزنی) در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. اثرات متقابل دوگانه تیمار پرایمینگ و تنش برای همه صفات معنی‌دار شدند (جدول ۱، ۲ و ۳).

درصد جوانه‌زنی: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای درصد جوانه زنی بذور زیره سبز نشان داد که در بذور تولیدی هر سه سال با افزایش سطح تنش شوری، از درصد جوانه‌زنی بذور کاسته شد و بذور پرایم شده در همه سطوح پتانسیل اسمزی شوری صفر، ۳-، ٦- و۹- بار جوانه‌زنی بیشتری نسبت به بذور پرایم نشده داشتند (شکل ۱). در بذور تولیدی سال ۱۳۹۱ در سطح تنش صفرو ۳- بار تیمارهای پرایمینگ با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند و به‌طور میانگین ۱۸ تا ٢٤ درصد جوانه‌زنی بالاتری نسبت به تیمار پرایم نشده داشتند. مشاهده شد که میزان اثرگذاری پرایمینگ بر بهبود جوانه‌زنی با افزایش شدت تنش افزایش یافت، در پتانسیل‌های اسمزی ٦- و ۹- بار پرایمینگ با سدیم دی هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت جوانه‌زنی را به بیش از دو برابر بذور پرایم‌نشده افزایش داد. روند نسبتاً مشابهی نیز در بذور تولیدی سال ۱۳۹۲ مشاهده شد. بذور پرایم شده با سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت توانست جوانه‌زنی بذور پرایم نشده را در سطوح تنش صفر، ۳-، ٦- و

جدول ۱- تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر زیره سبز تولیدی سال ۱۳۹۱

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن‌خشک گیاهچه	شاخص‌بنیه گیاهچه
پرایمینگ (A)	۳	۱۹۰٤/۲۵**	۲/٦۷**	۸/۲۲**	۱۳/٤۵**
تنش شوری (B)	۳	۱۲٦۵۵/۵۸**	۱۹/٤٤**	۹٦/۱۹**	۱۲۵/٦۱**
A*B	۹	۲٤/٦۹**	۰/۱۲**	۱/۱۰**	۱/۵٤**
خطای آزمایش	٤۸	۱۱/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰٦
ضریب تغییرات	-	٦/۳۱	۱۰/۵۳	۷/۹۷	۷/۲۵

** و * نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

جدول ۲- تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر زیره سبز تولیدی سال ۱۳۹۲

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن‌خشک گیاهچه	شاخص‌بنیه گیاهچه
پرایمینگ (A)	۳	۱٦۹۷/۵۸**	۱/٤۸**	۸/۷۸**	۱۵/٤۷**
تنش شوری (B)	۳	۱۲۱۵۰/۹۱**	۲۰/۲۸**	۸۸/۸۱**	۱٤۹/٤۳**
A*B	۹	۱۱۸/٦۹**	۰/۰۳*	۰/۹۰**	۱/۱۳**
خطای آزمایش	٤۸	۱۰/٤۱	۰/۰۳	۰/۰٦	۰/۰۷
ضریب تغییرات	-	٦/۰۱	۹/۱۰	٦/۸۳	٦/۸٤

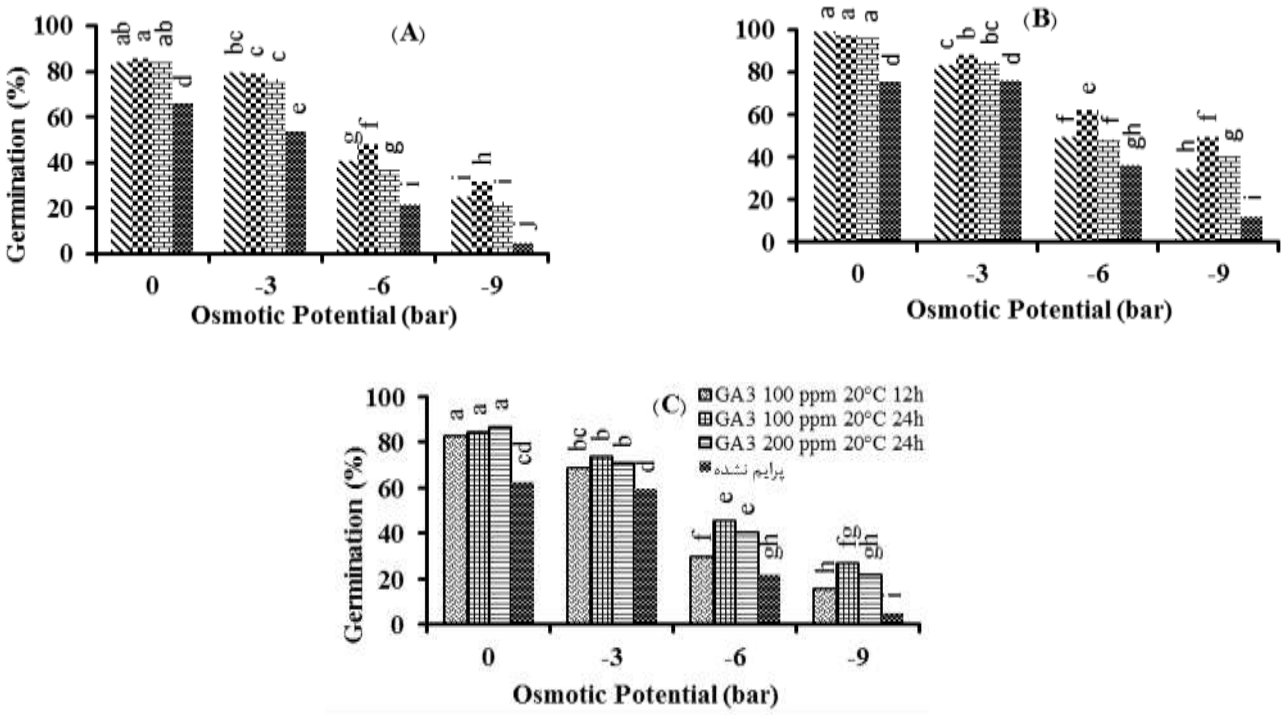
** و * نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

جدول ۳- تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر زیره سبز تولیدی سال ۱۳۹۳

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن‌خشک گیاهچه	شاخص‌بنیه گیاهچه
پرایمینگ (A)	۳	۱۳۲۲/۹۱**	۳/۷۳**	۹/۸٤**	۹/۷۸**
تنش شوری (B)	۳	۱۳۳٤۰/۲۵**	۲۷/۷۰**	۷۱/۷۷**	۹۷/۳٤**
A*B	۹	٤۷/۸۰**	۰/٤۳**	۰/٤۱**	۱/۲٤**
خطای آزمایش	٤۸	۱۸/۵۸	۰/۱۱	۰/۰٤	۰/۰۷
ضریب تغییرات		۸/٦۱	۱۳/۱۰	۸/۲۲	۹/۱۱

** و * نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد

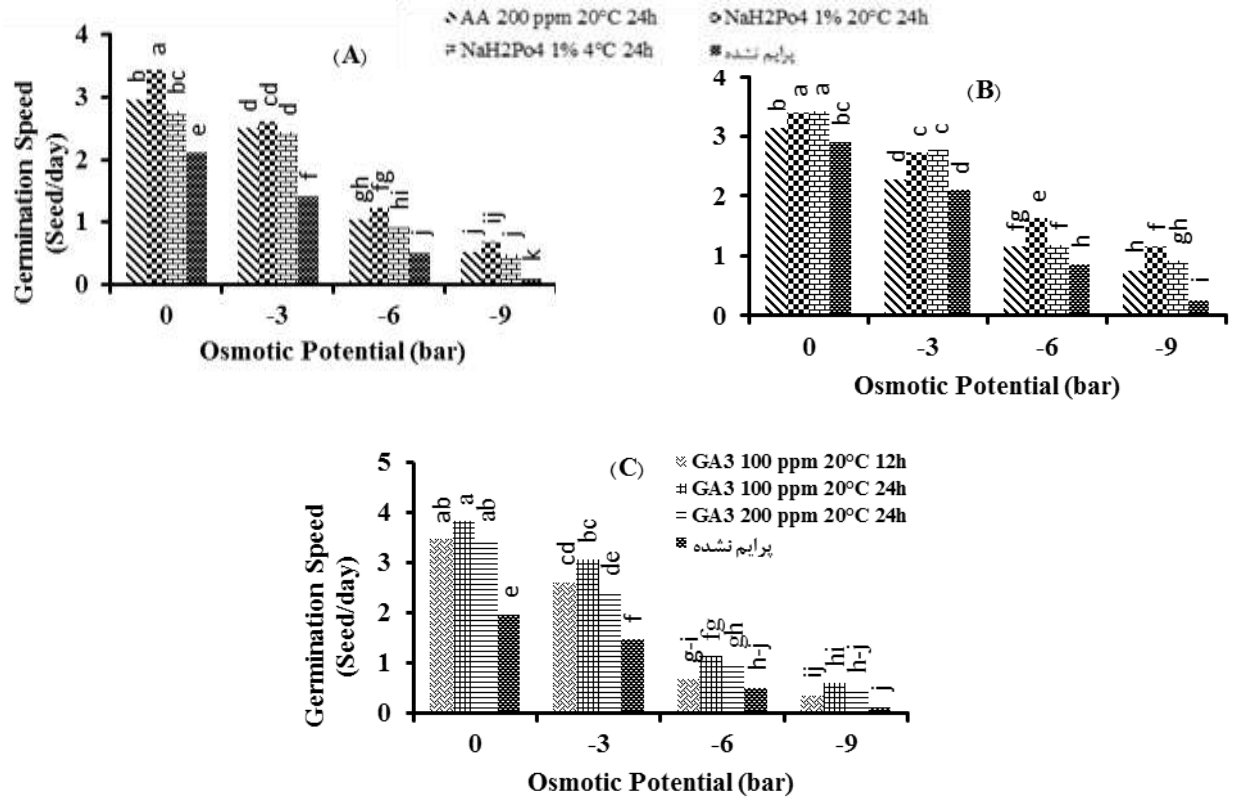
۹- بار از ۷۵، ۷٦، ۳٦ و ۱۲ درصد به ترتیب به ۹۷، ۸۸، ٦۲ و ٤۹ درصد افزایش دهد. نمود بیشتر اثر مثبت پرایمینگ بذر با نمک سدیم دی‌هیدروژن فسفات با افزایش شوری نسبت به پرایمینگ با اسید آسکوربیک و بذور پرایم نشده احتمالاً به دلیل القاء اولیه شوری ناشی از نمک استفاده شده بوده که علاوه بر پیش‌اندازی مراحل جوانه‌زنی بذر زیره سبز، موجب آمادگی بیشتر بذر جوانه‌زده نسبت به شوری گردیده است. به‌نظر می‌رسد که تأثیر اسموپرایمینگ بذر در بیان ژن‌های مؤثر بر پایداری غشاهای پلاسمایی از عوامل کلیدی در افزایش مقاومت گیاهچه‌ها در مقایسه با بذور پرایم نشده به شوری



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش ترکیب پرایمینگ و سطح تنش شوری برای درصد جوانه‌زنی بذر زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C) هر ستون میانگین ٤ تکرار می‌باشد و حروف مشابه در هر نمودار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

بوده است. در بررسی‌های صورت گرفته، با افزایش تنش شوری ظهور نهایی بذور آفتابگردان پرایم شده با نیترات پتاسیم و نمک کلرید سدیم، بیشتر از بذور پرایم نشده بود (Afkari, 2010). در بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ نیز تیمار اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت بالاترین درصد جوانه‌زنی را در اکثر سطوح تنش به‌خود اختصاص داد، این تیمار توانست جوانه‌زنی را در سطوح صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار از ٦۳، ٦۰، ۲۲ و ۵ درصد در بذور پرایم نشده به ۸۵، ۷٤، ٤٦ و ۲۷ درصد افزایش دهد.

سرعت جوانه‌زنی: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای سرعت جوانه‌زنی بذور زیره سبز نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری، سرعت جوانه‌زنی بذور پرایم شده و بذور پرایم نشده کاهش یافت (شکل ۲). تأثیرگذاری تنش بر سرعت جوانه‌زنی از ۳- بار شروع و در ۹- بار به حداکثر رسید. تیمارهای پرایمینگ تا حدودی توانستند اثرات تنش را خنثی کنند و سرعت جوانه‌زنی بالاتر و معنی‌داری نسبت به بذور پرایم نشده در هر سطح تنش نشان دادند. در بذور تولیدی سال ۱۳۹۱ در کلیه سطوح تنش بالاترین سرعت جوانه‌زنی به بذور پرایم شده با سدیم دی هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت اختصاص داشت، به‌طوریکه توانست سرعت جوانه‌زنی در سطوح تنش صفر، ۳-، ٦- و ۹- بار را به‌ترتیب از ۲/۱، ۱/٤، ۰/٤ و ۰/۱ بذر در روز در بذور پرایم نشده به ۳/٤، ۲/۵، ۱/۲ و ۰/٦ بذر در روز افزایش دهد. در بذور تولیدی سال ۱۳۹۲ در سطوح تنش صفرو ۳- بار تیمار سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ٤°C و مدت زمان ٢٤ ساعت دارای بالاترین سرعت جوانه‌زنی بود. در سطح تنش ٦- و ۹- بار بذور پرایم شده با سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت بالاترین سرعت جوانه‌زنی را به‌خود اختصاص داد. در بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت بالاترین سرعت جوانه‌زنی را در کلیه



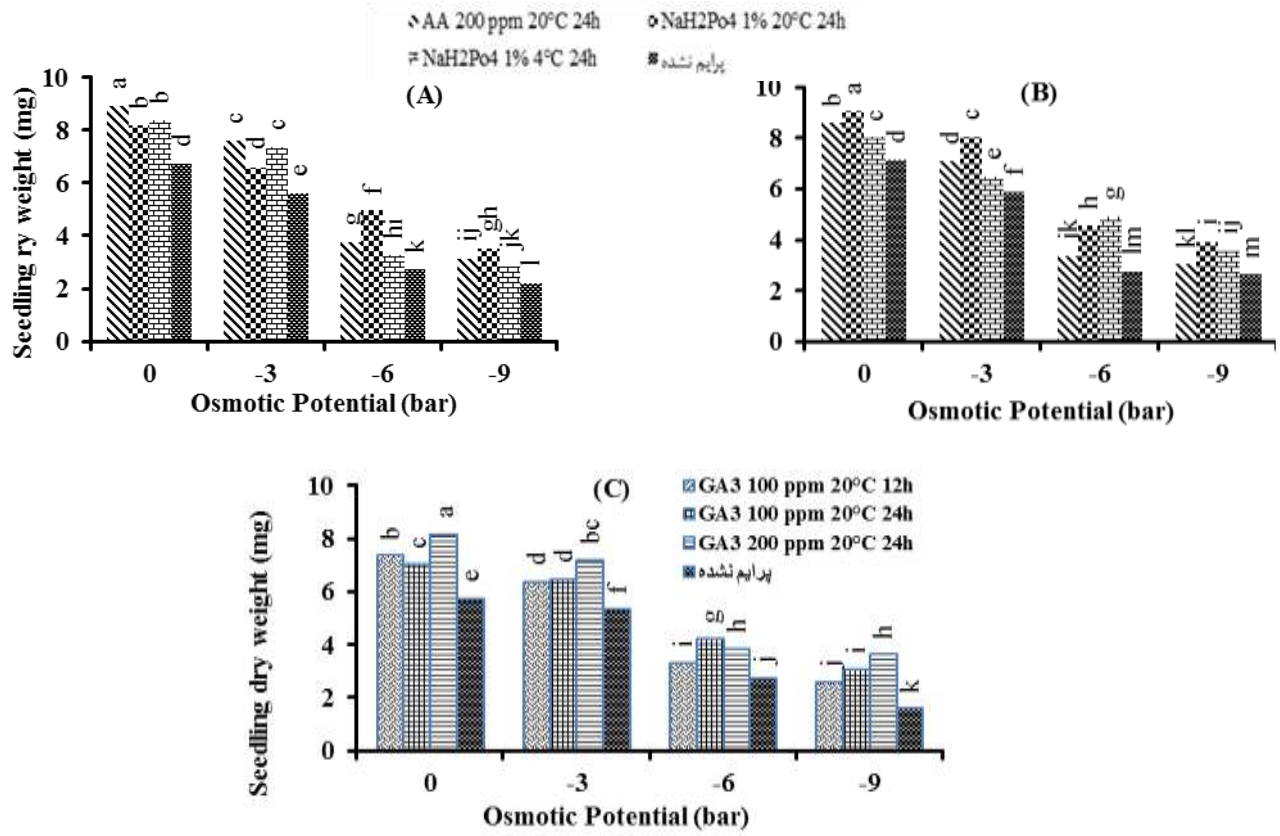
شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش ترکیب پرایمینگ و سطح تنش شوری بر سرعت جوانه‌زنی بذر زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C)، هر داده میانگین ٤ تکرار می‌باشد و حروف مشابه در هر نمودار بر اساس آزمون LSD از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

سطوح تنش به‌خود اختصاص داد.

مهم‌ترین عکس‌العمل بذر تحت شرایط شوری شامل الگوی متفاوت سنتز پروتئین‌ها، به تأخیر انداختن ظهور بافت‌های جنینی و کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی می‌باشد و این امر سبب کاهش رشد گیاهچه‌ها می‌گردد. تیمار بذور با هورمون اسید جیبرلیک بر سرعت جوانه‌زنی و متوسط مدت زمان جوانه‌زنی مؤثر بود، به‌نظر می‌رسد دلیل بالا بودن سرعت جوانه‌زنی در این تیمار آزادسازی آنزیم‌های تجزیه کننده کربوهیدرات و پروتئین در داخل بذر باشد (Ashraf and Foolad, 2005). به‌علاوه پژوهشگران علت خروج سریعتر ریشه‌چه و ساقه‌چه در بذور پرایم شده را به بازده بیشتر جذب آب و فعالیت متابولیکی در دوره جوانه‌زنی نسبت دادند و معتقدند که توانایی بالاتر جذب آب در بذور پرایم شده نسبت به بذور پرایم نشده منجر به تاثیر مثبت بر درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (Ghana and Schillinger, 2003).

وزن خشک گیاهچه: مشابه آنچه که در شاخص‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد، با افزایش سطح تنش شوری از وزن خشک گیاهچه در کلیه تیمارها کاسته شد. در بذر سال ۱۳۹۱ پرایم نشده وزن خشک گیاهچه در سطح تنش صفر از ٦/٧ میلی‌گرم، در سطح تنش ۹- بار به ۲/۲ میلی‌گرم کاهش یافت (شکل ۳). مشاهده شد که در سطح تنش صفر و ۳- بار بیشترین وزن خشک گیاهچه با اسید آسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت تولید شد. در سطح تنش ٦- و ۹- بار تیمار سدیم دی هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت بیشترین وزن خشک گیاهچه را تولید کردند.

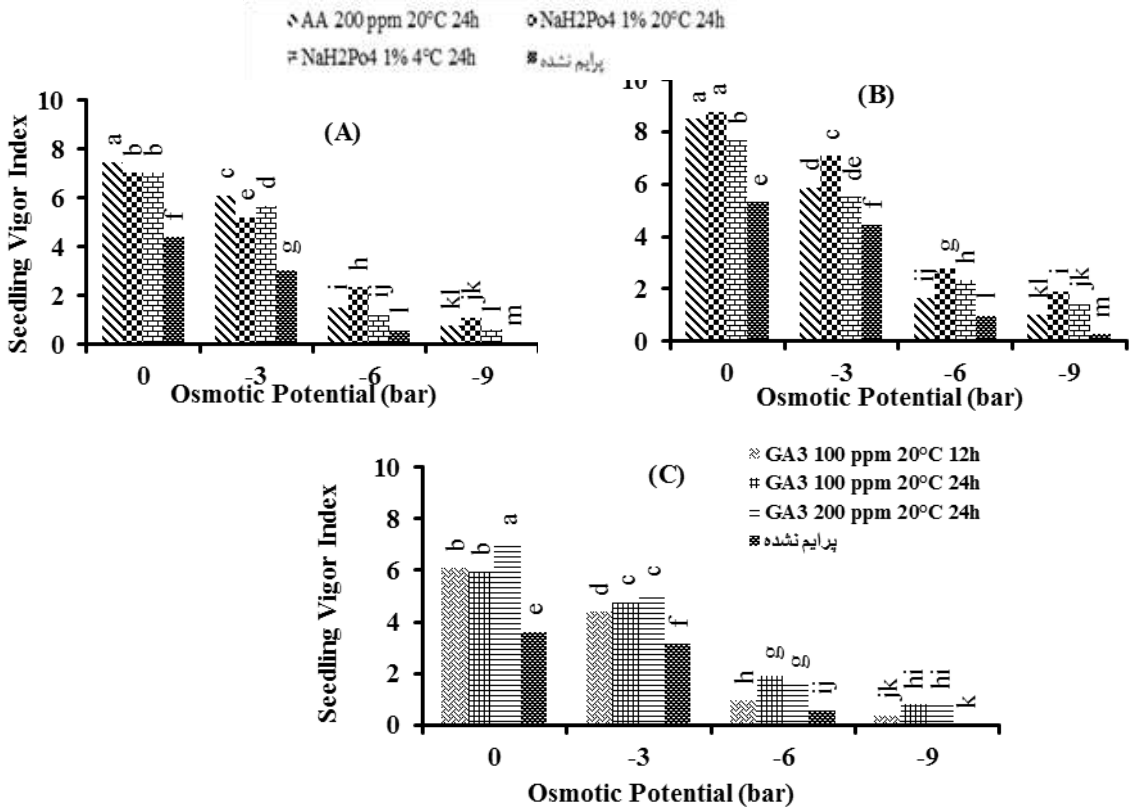
در بذور تولیدی سال ۱۳۹۲ در سطح تنش صفر، ۳- و ۹- بار بیشترین وزن خشک گیاهچه به بذور پرایم شده با سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت اختصاص یافت. در بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ در



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش ترکیب پرایمینگ و سطح تنش شوری بر وزن خشک گیاهچه بذر زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C)، هر داده میانگین ٤ تکرار می‌باشد و حروف مشابه در هر نمودار بر اساس آزمون LSD از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری باهم ندارند.

سطوح تنش صفر، ۳- و ۹- بار بیشترین وزن خشک گیاهچه به تیمار اسید جیبرلیک ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°Cو مدت زمان ٢٤ ساعت اختصاص یافت، در سطح تنش ٦- بار تیمار اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت دارای بیشترین وزن خشک گیاهچه بود، به‌طوریکه توانست وزن خشک گیاهچه را از ۲/۷ میلی‌گرم در بذور پرایم نشده به ٤/۲ میلی‌گرم افزایش دهد. یکی از دلایل کاهش وزن ساقه‌چه در شرایط تنش شوری، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از آندوسپرم به جنین است. کاهش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر افزایش غلظت شوری امری طبیعی بوده و نتایج گزارش شده توسط دیگر پژوهشگران نیز مؤید این موضوع بوده است (Jaleel *et al.*, 2007).

شاخص بنیه گیاهچه: نتایج نشان داد که در بذور تولیدی سال ۱۳۹۱ در سطح تنش صفر و ۳- بار بیشترین شاخص بنیه گیاهچه به تیمار اسید آسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت اختصاص یافت (شکل ٤). در سطح تنش ٦- و ۹- بار بیشترین شاخص بنیه گیاهچه در تیمار سدیم دی هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت مشاهده شد. در بذور تولیدی سال ۱۳۹۲ در کلیه سطوح تنش بیشترین شاخص بنیه گیاهچه به تیمار سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱٪ با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت اختصاص یافت. اختلاف در میزان شاخص بنیه گیاهچه میان بذور پرایم شده با بذور پرایم نشده در بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ بیشتر قابل مشاهده بود. که این اختلاف بیشتر ممکن است به دلیل توأم بودن اثر تنش و خواب اولیه در این بذور باشد. در سطوح



شکل ٤- مقایسه میانگین برهمکنش ترکیب پرایمینگ و سطح تنش شوری بر شاخص بنیه گیاهچه بذر زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C)، هر داده میانگین ٤ تکرار می‌باشد و حروف مشابه در هر نمودار بر اساس آزمون LSD از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری باهم ندارند

تنش صفر و ۳- بار بیشترین شاخص بنیه گیاهچه به تیمار اسید جیبرلیک ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت اختصاص یافت. این تیمار پرایمینگ توانست شاخص بنیه گیاهچه را از ۳/٦ و ۳/۱ به‌ترتیب در سطوح تنش صفر و ۳- بار در بذور پرایم نشده به ۷/۱ و ۵ افزایش دهد.

در سطح تنش ٦- و ۹- بار تیمار اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت شاخص بنیه گیاهچه بالاتری را نشان داد. شاخص بنیه گیاهچه ارتباط مستقیمی با وزن خشک گیاهچه دارد و تنش شوری با کاهش وزن خشک گیاهچه باعث افت این شاخص می‌شود. با افزایش تنش شوری و منفی شدن پتانسیل اسمزی آب توسط نمک، جذب آب برای جنین سخت‌تر می‌شود، در نتیجه با افزایش شوری و کاهش در انتقال و تحرک ذخایر غذایی بذر جوانه‌زنی و بنیه بذر کاهش می‌یابد (Soltani *et al.*, 2006).

صفات بیوشیمیایی: نتایج تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای بذور تولیدی سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نشان داد که اثرات اصلی شامل تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری برای کلیه شاخص‌های بیوشیمیایی شامل پروتئین کل، فعالیت آنزیم کاتالاز، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٤، ٥ و ٦).

محتوای پروتئین محلول: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری بر محتوای پروتئین محلول بذر نشان داد که با افزایش سطح تنش، میزان پروتئین محلول به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. در بذور تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲در کلیه تیمارها بیشترین میزان پروتئین محلول در سطح تنش صفر بار مشاهده شد. در اغلب سطوح تنش، بذور پرایم شده با سدیم دی هیدروژن فسفات با ترکیب

جدول ٤- تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای برخی شاخص‌های بیوشیمیایی بذر زیره سبز تولیدی ۱۳۹۱

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		محتوای پروتئین‌های محلول	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز
پرایمینگ (A)	۳	۳/۰٦**	٦٥۳/۳۰**	۲٦٥۱/۸۷**	۰/۰۳**
تنش شوری (B)	۳	۲۰/۰۳**	٦۱٥۱/۹٦**	۲٤۸۸٤/۳۸**	۰/۱٥**
A*B	۹	۰/۰۰۲**	۲٤۸/۲۸**	۱٥۹٦/۹٤*	۰/۰۰٤*
خطای آزمایش	۳۲	۰/۰۰۰٦	۳۸۰/۹۰	٦۸۸/۳۲	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۸/۰۱	۱٦/٤۸	۱۹/٤۹	۲۱/٦۰

**** و * به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد می‌باشد.**

جدول ٥- تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای برخی شاخص‌های بیوشیمیایی بذر زیره سبز تولیدی ۱۳۹۲

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		محتوای پروتئین‌های محلول	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز
پرایمینگ (A)	۳	۰/۰۲**	۳٤٦٦/٦۷**	۲٥۰۹/٤۱**	۰/۰۳**
تنش شوری (B)	۳	۰/۰۳**	٥٤۸۰/٥۰**	۱۲٦۹۸/۱۸**	۰/۱۱**
A*B	۹	۰/۰۰٥**	۲۰۲/٤٦**	۷۷۸/۳۸*	۰/۰۰۷**
خطای آزمایش	۳۲	۰/۰۰۰۲	۳۲/۷۷	۳٤٦/٥۰	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	-	٤/۸۹	۱۱/۱٥	۱٥/۹۸	۱٦/۸۳

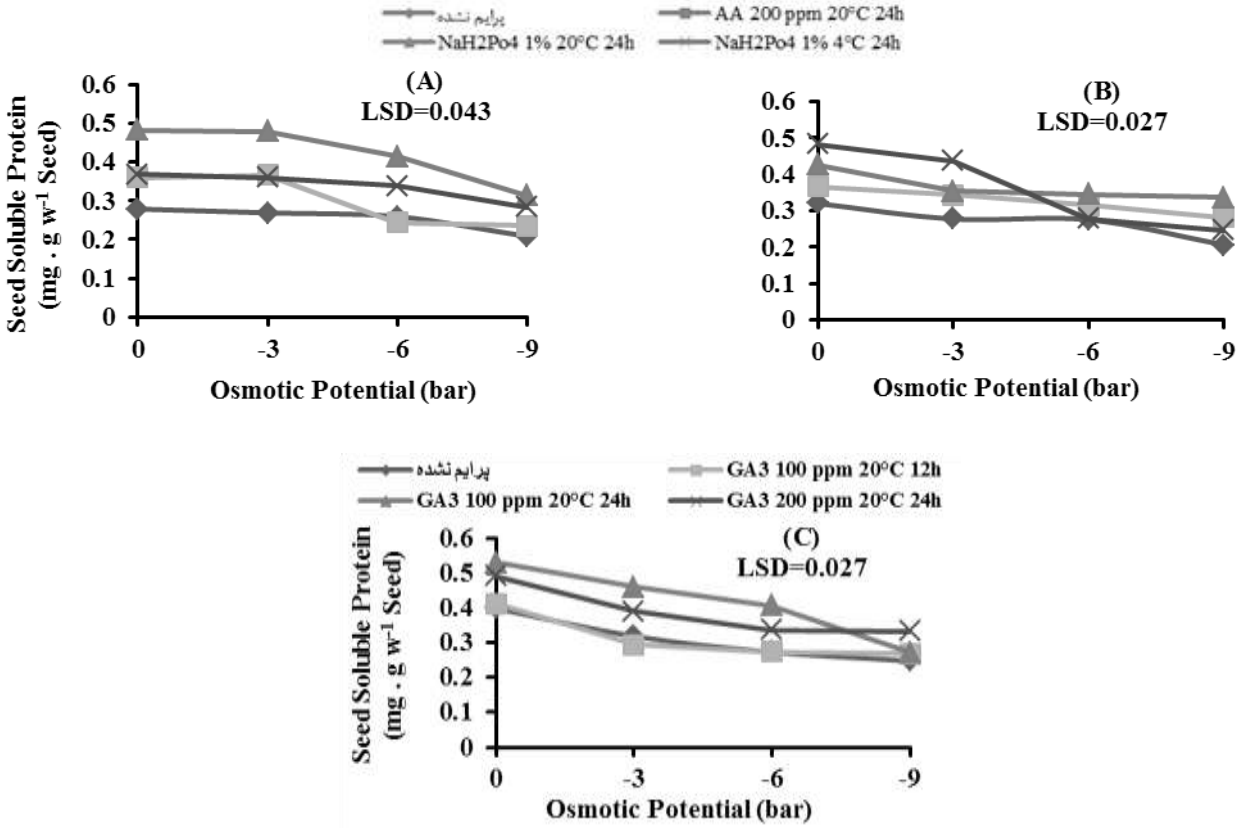
**** و * به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد می‌باشد.**

جدول ٦- تجزیه واریانس برهمکنش تیمار پرایمینگ و تنش شوری برای برخی شاخص‌های بیوشیمیایی بذر زیره سبز تولیدی ۱۳۹۳

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		محتوای پروتئین‌های محلول	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز
پرایمینگ (A)	۳	۰/۰۳**	۲۸۸۸/۰٤**	۷۰۰۲/۹٤**	۰/۱٤**
تنش شوری (B)	۳	۰/۰٦**	۸٦۰٤/٦٦**	۲٤۷٥٤/۱۸**	۰/۳٦**
A*B	۹	۰/۰۰۳**	۲٦۲/۳٤*	۱۷۰۸/۹۱*	۰/۰۲*
خطای آزمایش	۳۲	۰/۰۰۰۲	۱۱۸/٤۹	۷٤۱/٦٥	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات	-	٤/٦۲	۱۳/۲٦	۱۸/۰٥	۲۲/۱۲

**** و * به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد می‌باشد.**

دمایی ۲۰°C و مدت زمان ۲٤ ساعت دارای بیشترین میزان پروتئین محلول بودند (شکل ٥). در بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ با افزایش سطح تنش از میزان پروتئین بذر کاسته شد. بذور پرایم شده در کلیه سطوح تنش دارای میزان بیشتری از پروتئین

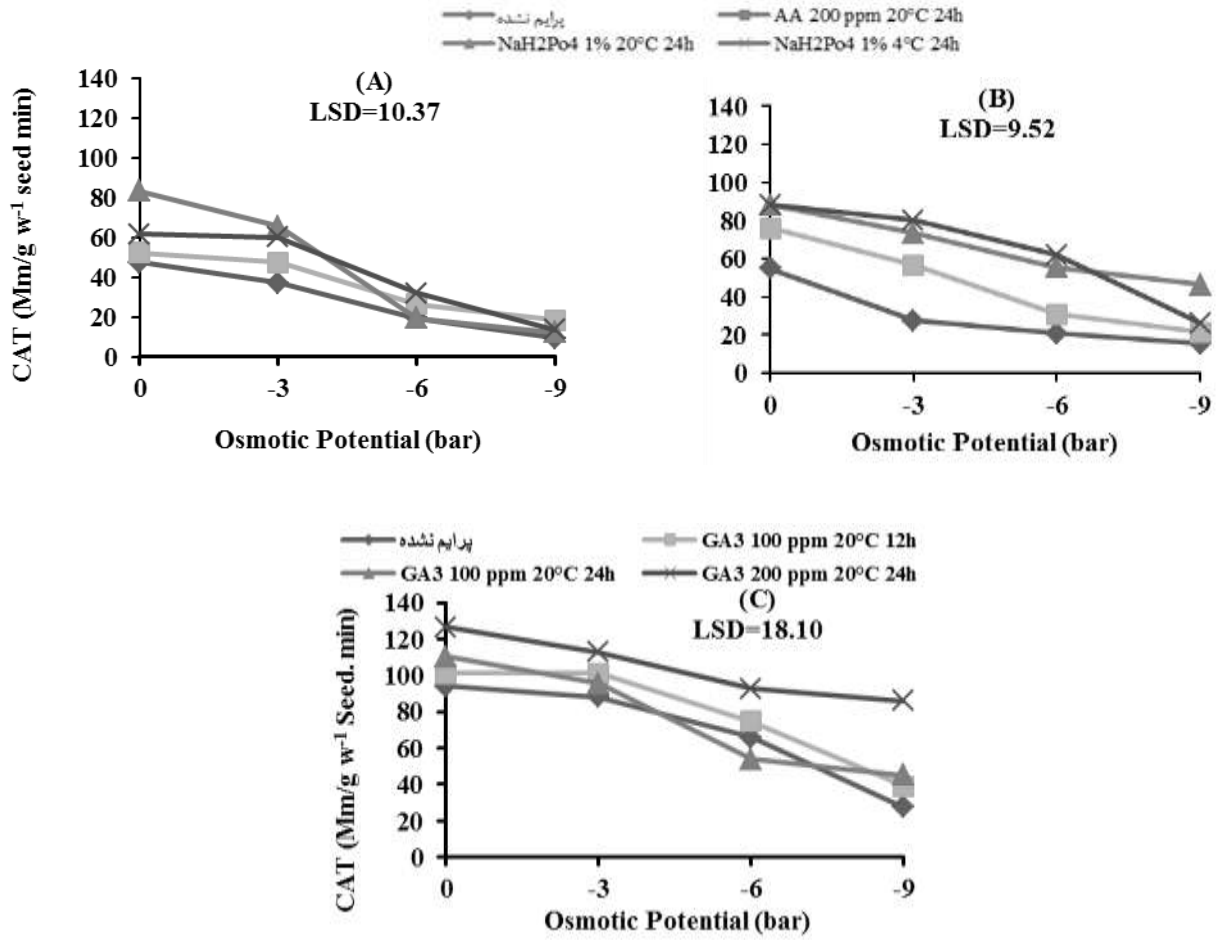


شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری بر روند تغییرات محتوای پروتئین محلول بذر زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C)، (هر داده میانگین ۳ تکرار است)

نسبت به بذور پرایم نشده بودند. سنتز پروتئین‌ها در فرآیند جوانه‌زنی، رشد محور جنینی و تولید آنزیم‌های هیدرولیز کننده و سایر سیستم‌های سلولی انتقال دهنده مواد اندوخته‌ای بذر نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. احمدپور دهکردی و بلوچی (۱۳۹۱) بیان داشتند که غلظت پروتئین محلول با افزایش تنش شوری و خشکی کاهش یافت. اما در اثر اعمال پرایمینگ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پرولین افزایش و میزان مالون دی آلدئید یا پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلول کاهش یافت.

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): بررسی روند تغییرات فعالیت آنزیم CAT نشان داد با افزایش سطح تنش شوری فعالیت آنزیم CAT به صورت خطی کاهش یافت. به‌طور مثال در بذور تولیدی سال ۱۳۹۱ فعالیت آنزیم CAT در بذور پرایم نشده در سطح تنش صفر از ٤٧/٤٢ میلی‌مول بر گرم وزن‌تر در دقیقه در سطح تنش صفر به ۹/٤٤ میلی‌مول بر گرم وزن‌تر در دقیقه در سطح تنش ۹- بار کاهش یافت، که این روند کاهش فعالیت آنزیم CAT در سطوح تنش ٦- و ۹- بار شدت بیشتری نشان داد (شکل ٦).

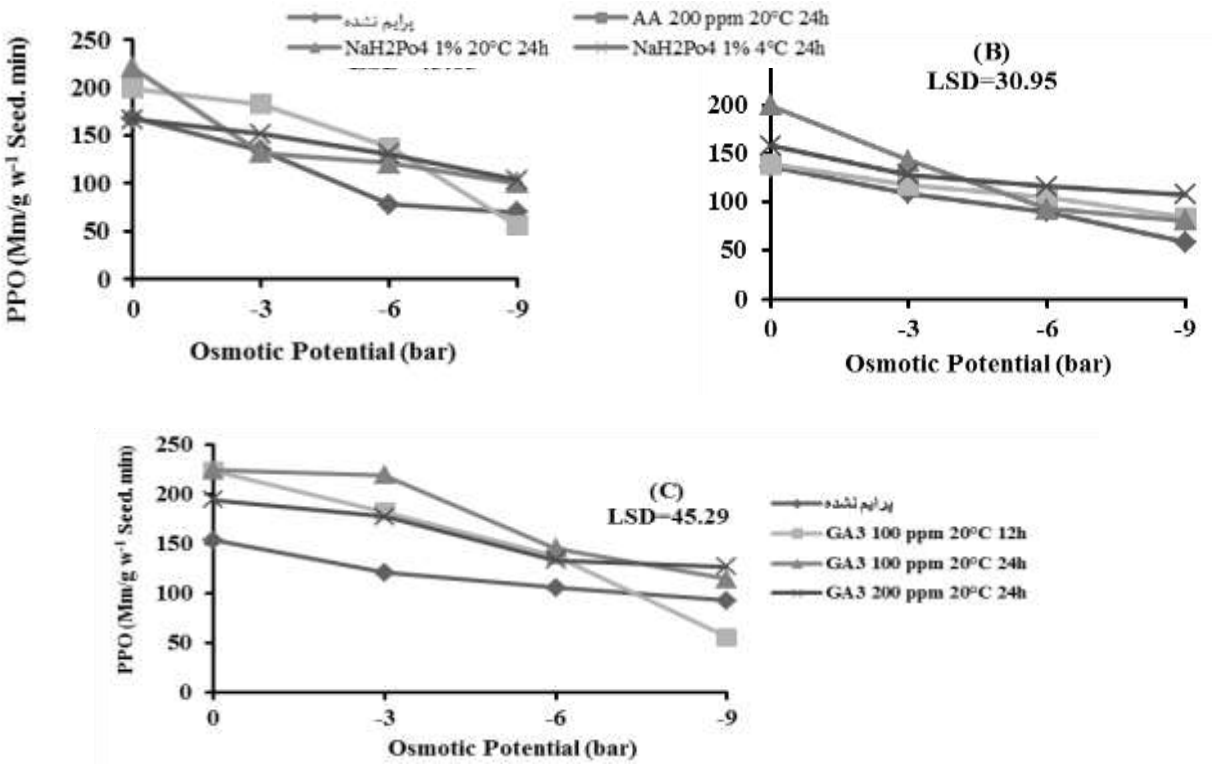
تیمارهای پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم CAT شدند، به‌طوریکه در کلیه سطوح تنش، بیشترین فعالیت آنزیم CAT به بذور پرایم شده اختصاص یافت. گیاهان جهت کاهش اثرات سوء تنش اکسیداتیو در طی بروز تنش شوری، از یک سیستم پیچیده دفاعی آنتی‌اکسیدانی استفاده می‌کنند. از آنتی‌اکسیدانی‌های درگیر در این سیستم که دارای وزن مولکولی کمی هستند می‌توان به CAT، APX و POX اشاره کرد. این آنزیم‌ها نقش مهمی در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهی دارند. بررسی کاتالاز در زمان پرایمینگ نشان داده که این آنزیم در طی پرایمینگ در سیتوزول سلولی تجمع پیدا می‌کند که این مرحله هم‌زمان با تجزیه هیدروژن پراکسیداز می‌باشد و حاصل این فرآیند تجزیه هیدروژن پراکسید و نشان‌دهنده نقش حفاظتی کاتالاز می‌باشد (Kibinza *et al.*, 2011).



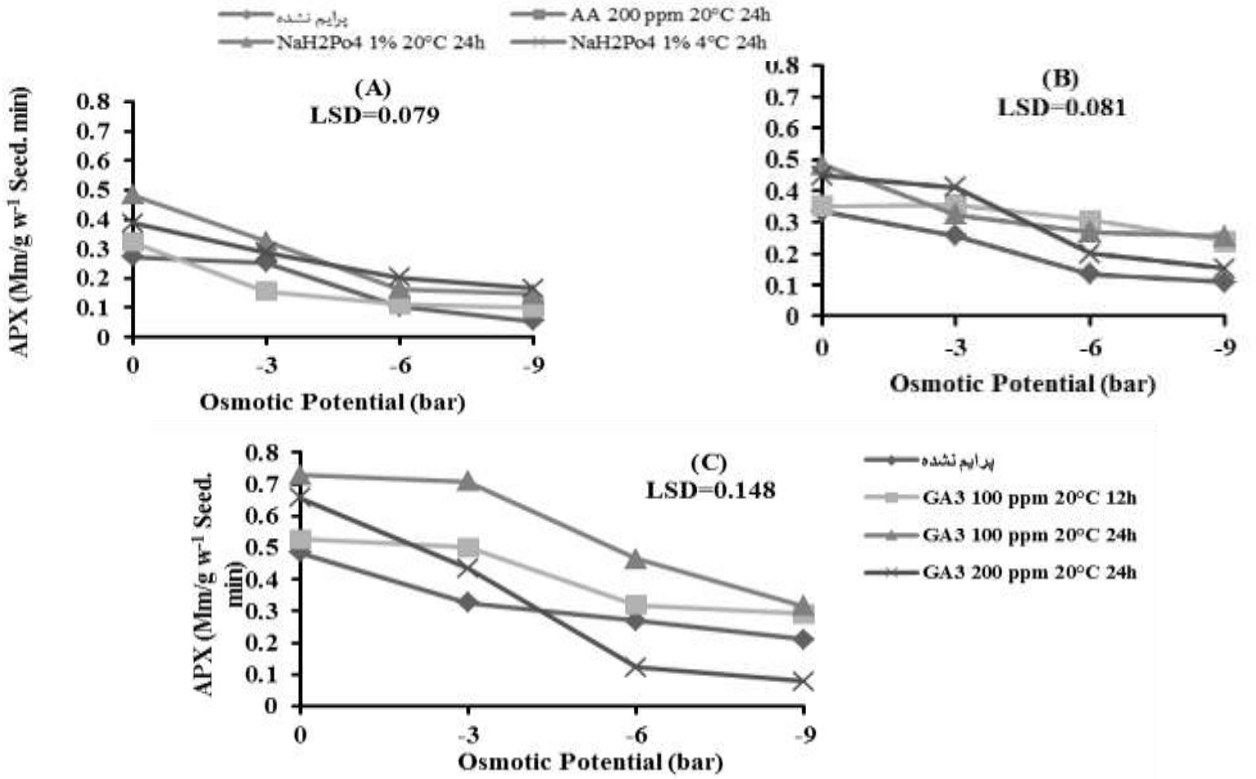
شکل ٦- مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری بر روند تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز بذر زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C)، (هر داده میانگین ۳ تکرار است)

پلی فنل اکسیداز (PPO): نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری برای فعالیت آنزیم PPO نشان داد که تنش شوری فعالیت آنزیم PPO را در بذور تولیدی هر سه سال تحت تأثیر قرار داد، که این روند کاهش فعالیت آنزیم PPO در سطوح تنش ٦- و ۹- بار شدت بیشتری نشان داد. به‌طور مثال در بذور تولیدی سال ۱۳۹۱ فعالیت آنزیم PPO از ۱٦۸/۳۳ (میلی‌مول در گرم وزن‌تر) در سطح تنش صفر به ٦۹/۸۹ در سطح تنش ۹- بار رسید، اما تیمارهای پرایمینگ فعالیت آن را بهبود بخشید و در کلیه سطوح تنش بذور پرایم شده دارای فعالیت آنزیم PPO بیشتری نسبت به بذور پرایم نشده داشتند. (شکل ۷).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX): نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری فعالیت آنزیم APX به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما تیمارهای پرایمینگ باعث بهبود فعالیت این آنزیم شدند (شکل ۸). در بذور تولیدی سال ۱۳۹۱ بیشترین فعالیت آنزیم APX با ۰/٤۸۳ (میلی‌مول بر گرم وزن‌تر در دقیقه) در بذور پرایم شده با سدیم دی‌هیدروژن فسفات ۱درصد با ترکیب دمایی ٤°C و مدت زمان ۲٤ ساعت در سطح تنش صفر و کمترین فعالیت آنزیم APX با ۰/۰٥٤ در بذور پرایم نشده در سطح تنش ۹- بار مشاهده شد. در بذور تولیدی سال ۱۳۹۲ نیز تنش شوری فعالیت آنزیم APX را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. و با افزایش سطح تنش از میزان فعالیت آنزیم APX کاسته شد، به‌طوریکه فعالیت آنزیم APX از ۰/۳۳٤ در سطح تنش صفر به ۰/۱۱۰ در سطح تنش ۹- بار کاهش یافت. تیمارهای پرایمینگ



شکل ۷- مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری بر روند تغییرات فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C)، (هر داده میانگین ۳ تکرار است)



شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش تیمار پرایمینگ و سطح تنش شوری بر روند تغییرات فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در بذرهای زیره سبز تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ (A)، ۱۳۹۲ (B) و ۱۳۹۳ (C)، (هر داده میانگین ۳ تکرار است).

فعالیت آنزیم APX را بهبود بخشیدند و در کلیه سطوح تنش بیشترین فعالیت آنزیم APX را به‌خود اختصاص دادند.

در بذور تازه برداشت شده سال ۱۳۹۳ نیز بیشترین فعالیت آنزیم APX در کلیه سطوح تنش به بذور پرایم شده با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت اختصاص یافت. آنزیم آنتی‌اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز توانایی واکنش مستقیم با رادیکال سوپراکسید و سایر فرم‌های فعال اکسیژن را دارد که می‌تواند شدت آسیب تنش شوری را کاهش دهد (کافی و همکاران، ۱۳۸۹). تنش اکسیداتیو حاصل افزایش سطوح رادیکال‌های آزاد اکسیژن درون سلولی است. میزان تجمع شکل‌های مختلف اکسیژن فعال در زمان جوانه‌زنی به وسیله میزان تولید و آزاد شدن گونه‌های فعال اکسیژن در هنگام وقوع تنش و همچنین فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی تعیین می‌شود که تعادل بین انواع اکسیژن فعال و همچنین فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی تعیین کننده میزان خسارت وارده است. سیستم آنتی‌اکسیدانی شامل آنزیم‌ها و متابولیت‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون ریداکتاز و سایر آنزیم‌ها باعث باعث حذف انواع فعال اکسیژن می‌شوند (Bailly, 2004).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که با افزایش پتانسیل اسمزی تنش شوری جوانه‌زنی بذر زیره سبز کاهش یافت. میزان اثر گذاری تنش از ۳- بار شروع شد و ۹- بار به حداکثر رسید. پرایمینگ توانست تا حدودی اثر منفی تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی را کاهش دهد. در بذور تولیدی سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ پرایمینگ با سدیم دی هیدروژن فسفات ۱ درصد و در بذور تولیدی سال ۱۳۹۳ پرایمینگ با اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب دمایی ۲۰°C و مدت زمان ٢٤ ساعت کارایی بهتری نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ نشان دادند. نتایج همچنین نشان داد که استفاده از تیمار پرایمینگ سبب افزایش محتوای پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی فنل اکسیداز و آسکوربات پرواکسیداز شد، که بهبود این فاکتورهای بیوشیمیایی می‌تواند یکی از دلایل افزایش کارایی فیزیولوژیک (جوانه‌زنی) بذور پرایم شده در شرایط تنش شوری باشد. نتایج کلی این پژوهش حاکی از کاربرد مؤثر نمک سدیم دی‌هیدروژن فسفات به‌عنوان یک ترکیب جدید در افزایش کارایی جوانه‌زنی بذر است. نمود بیشتر اثر مثبت پرایمینگ بذر با نمک سدیم دی‌هیدروژن فسفات با افزایش شوری نسبت به پرایمینگ با اسید آسکوربیک و بذور پرایم نشده احتمالاً به دلیل القاء اولیه شوری ناشی از نمک استفاده شده بوده که علاوه بر پیش‌اندازی مراحل جوانه‌زنی بذر زیره سبز، موجب آمادگی بیشتر بذر جوانه‌زده جهت مواجهه با تنش شوری گردیده است.

منابع

احمدپور دهکردی، س. و بلوچی، ح. ر. (۱۳۹۱) اثر پرایمینگ بذر بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلول گیاهچه سیاه‌دانه تحت تنش خشکی و شوری. مجله الکترونیکی تولید گیاهان زراعی ۵: ۸۵-٦۳.

شاکرمی، ب.، دیانتی تیلکی، ق.، طبری، م. و بهتری، ب. (۱۳۸۹) اثر تیمارهای پرایمینگ بر مقاومت به شوری بذور *Festuca arundinacea Schreb* و *Festuca ovina* L در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه. دو فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران ۱۸: ۳۲۸-۳۱۸.

طباطبایی، س. ع. و شاکری، ا. (۱۳۹۳) اثر پرایمینگ بذر بر ویژگی‌های جوانه‌زنی زیره سبز (*Cuminum ciminum* L.). دو فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم ٤: ۷۳-٦٦.

کافی، م.، عیشی رضایی، ا.، حقیقی خواه، م. و قربانی، ص. (۱۳۸۹) مطالعه اثر سطوح مختلف شوری و پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی و خصوصیات گیاهچه دو گونه دارویی خانواده مرکبان. نشریه بوم شناسی کشاورزی ۲: ۲۵۵-۲٤۵.

گودرزیان قهفرخی، م.، درویشی، ب. و قاسمی، ا. (۱۳۹٤) تأثیر شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و غلظت مالون دی‌آلدئید در دو رقم بذر گندم نان. نشریه تحقیقات بذر ۵: ۳٤-۲٤.

Afkari, A . (2010) The effects of NaCl priming on salt tolerance in sunflower germination and seedling grown under salinity conditions. African Journal of Biotechnology 9: 1764-1770.

Amini Dehaghi, M. and Mollafilabi, A. (2011) Evaluation of some drought resistance criteria in landraces. American-Eurasian network for scientific information. Advances in Environmental Biology 5: 237-242.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2005) Presowing seed treatment, a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy 88: 223-271.

Athar, H. R., Khan, A. and Ashraf, M. (2008) Exogenously applied ascorbic acid alleviates saltinduced oxidative stress in wheat. Journal of Experimenta Botany 63: 224-231.

Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seed Science Research 14: 93-107.

Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of protein utilizing the principle of protein dye binding. Annual Review of Biochemistry 72: 248- 25.

Cacmak, I. and Horst, W. (1991) Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip soybean. Plant Physiology 83: 463- 468.

Dean, J. A. (1985). Legends handbook of chemistry. CRC Press 5: 96-101.

Ellis, R. A. and Roberts, E. H. (1981) The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology 9: 373-409.

Foyer, C. H. and Noctor, G. (2000) Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. New Phytology 146: 359-388.

Ghana, S. G. and Schillinger, W. F. (2003) Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. Crop Science 43: 2135-2141.

ISTA. (2010) International rules for seed testing. International seed testing Association. Zurich, Switzerland.

Jaleel, C. A., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R. and Panneerselvam, R. (2007) Studies on germination, seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. South African Journal of Botany 73: 190–195.

Kar, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activity during rice leaf senescence. Plant Physiology 57: 315-319.

Kibinza, S., Bazin, J. and Baily, C. (2011) Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. Plant Science 181: 309-15.

McDonald, C. M., Floyd, C. D. and Waniska, R. D. (2004) Effect of accelerated aging on mazie, sorghun and sorghum. Journal of Cereal Scince 39: 351-301.

Nakano, Y. and Asada, K. (1987) Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. Plant Cell Physiology 28: 131-140.

Noctor, G., Veljovic-Jovanovic, S., Driscoll, S., Novitskaya, L. and Foyer, C. H. (2002) Drought and xidative load in the leaves of C3 plants: a predominant role for photorespiration? Journal Agronomy 89: 841–850.

Soltani, A., Gholipoor, M. and Zeinali, M. E. (2006) Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. Environmental and Experimental Botany, 55: 195-200.

Tobe, K., Li, M. X. and Omasa, K. (2004) Effects of five different salts on seed germination and seedling growth of *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae). Seed Science Research 14:345-353.