بررسی مقاومت به تنش شوری در بذرهای حاصل از بوته‌های گوجه فرنگی محلول پاشی شده با ۲٤- اپی براسینولید و نانواکسید روی

احمد جوادی[۱]، سعید خماری*[۱]، بهروز اسماعیل‌پور[۲] و علی اصغری[۱]

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، [۲] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵)

چکیده

به منظور ارزیابی اثر محلول پاشی توام ۲٤-اپی براسینولید و نانو اکسید روی قبل از گلدهی برکیفیت بذرهای تولید شده و همچنین امکان القای تحمل شوری در گیاهچه، آزمون قدرت بذر و گیاهچه با حضور نمک NaCl در بستر کشت انجام گرفت. در این پژوهش، علاوه بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوجه فرنگی، پراکسیداسیون لیپیدی و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه نیز اندازه گرفته شد. آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹٤ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های ۲٤-اپی‌براسینولید (۰، ۰/۸ و ۱/٦ میکرو مولار)، نانواکسید روی (۰، ٦۰۰، ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام) و سطوح تنش شوری (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) بود. بر اساس نتایج حاصله، بذرهای گوجه‌فرنگی در حضور شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کم‌ترین سرعت و درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های رشدی گیاهچه را نشان داد. همچنین در همین سطح تنش، کاهش معنی دار در مقدار مالون دی‌آلدهید و افزایش قابل توجهی در محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گیاهچه مشاهده گردید. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ، کاربرد توام ۲٤- اپی براسینولید (غلظت ۱/٦ میکرو مولار) و نانواکسید روی (غلظت ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام) اثرات بازدارنده تنش شوری بر همه صفات مورد بررسی به جز درصد جوانه‌زنی بذر را به طور معنی داری تعدیل نمود.

کلمات کلیدی: براسینو استروئید، تنش شوری، کیفیت بذر، گوجه‌فرنگی، نانو اکسید روی

مقدمه

گوجه فرنگی یکی از سبزیجات مهم و پرمصرف در ایران بوده و به دلیل خوش خوراکی و برخورداری از انواع ویتامین‌ها و ترکیبات آنتی اکسیدان نظیر لیکوپن در سراسر جهان تولید می گردد (George, 2009; Eevera and Vanangamudi, 2006). بر اساس آمار فائو (Anonymous, 2014) میزان تولید این محصول در سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای یافته و به حدود ۱٦۲ میلیون تن رسیده است. علاوه بر تولید میوه و محصولات حاصل از فرآورش آن، تولید بذر کیفی گوجه فرنگی نیز حایز اهمیت زیادی می‌باشد، به طوری که عملکرد بذر معمولا از ۵۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است (George, 2009). هدف اصلی از تولید بذر گوجه فرنگی، دستیابی به توده بذری

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Saeid.khomari@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

برخوردار از کیفیت بالا و استقرار مزرعه‌ای مطلوب است که می‌تواند تحت هر شرایطی جوانه‌زنی سریع و یکنواخت داشته باشد (Atanassova and Georgiev, 2000). عوامل متعددی همچون گسترش مکانیزاسیون کشاورزی و وقوع شرایط محیطی نامطلوب نظیر شوری در خاک، ضرورت توجه به تولید بذرهای برخوردار از جوانه‌زنی سریع و یکنواخت را ایجاب می‌نمایند (Almansouri *et al*., 2001).

به طور کلی غلظت‌های بالای نمک موجب مهار کامل جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه می‌شود (Pessarakli, 1999). دلایل محکمی وجود دارد که تنش شوری در گیاهان مختلف می‌تواند سبب تجمع انواع اکسیژن واکنشی (ROS) مانند آنیون سوپراکسید، پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل و اکسیژن منفرد گردد (Lee *et al*., 2001). در این راستا طبق پژوهش‌های انجام شده، ظرفیت سیستم آنتی اکسیدان تحت تنش شوری افزایش می‌یابد که به نوعی شاخصی از تحمل گیاه به تنش نمک خواهد بود (Parida and Das, 2005; Lin-Dai *et al*., 2009).

کیفیت بذر، تولید اقتصادی گیاهان را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در بسیاری از نظام‌های کشاورزی مدرن، توده بذری برخوردار از کیفیت بالا که موجب سبز شدن سریع و یکنواخت گیاهچه‌ها تحت شرایط محیطی متغیر می‌گردد، مورد نیاز است (Finch-Savage *et al*., 2004). عملکرد و کیفیت بذر متاثر از شرایط رشد و نموی گیاه مادری است. بذرها منبعی غنی از هورمون‌های گیاهی بوده و برای نمو و توسعه عادی میوه‌ها ضروری هستند، به طوری که تعداد و نحوه توزیع بذرها در درون میوه تعیین کننده اندازه و شکل میوه می‌باشد. از طرف دیگر، میوه گوجه فرنگی به عنوان مرکز انتقال مواد غذایی جذب شده توسط گیاه به سمت بذرها عمل نموده و در این ارتباط نقش تنظیمی هورمون‌ها نیز حایز اهمیت بالایی خواهد بود (Srivastava and Handa, 2005). در این راستا، غلظت درونی هورمون‌های گیاهی نظیر براسینواستروئیدها و وضعیت تغذیه‌ای گیاه به ویژه با عناصر ریز مغذی در طی دوره تشکیل و نمو بذر روی گیاه مادری حایز اهمیت فراوانی می‌باشند. برخی محققان، تولید بذرهای کیفی در گیاهان تیمار شده با براسینو استروئید و نانو اکسید روی را گزارش نموده‌اند (Oh *et al*., 2012؛ پاریاد، ۱۳۹۱).

براسینو استروئیدها در غلظت‌های بسیار پایین (در حد میکرو مولار) و متغیر در بافت‌های مختلف گیاهی حضور دارند، به طوری که بافت‌های جوان (برگ‌های در حال توسعه) دارای مقادیر بالاتری از براسینو استروئیدها در مقایسه با بافت-های مسن‌تر هستند (Yokota and Takahashi, 1986). براسینواستروئیدها از طریق تاثیر بر رشد و تقسیم سلولی (Bajguz, 2000; Schaller, 2003) خصوصیات الکتریکی، نفوذپذیری و پایداری غشاها و فعالیت آنزیم‌های متصل به غشای سلولی (Khripach *et al*., 1998) موجب بهبود رشد و توسعه گیاهچه (Anuradha and SeetaRamRao, 2001) می گردند. از طرف دیگر، اثر مثبت و محرک براسینواستروئیدها جهت غلبه بر آسیب‌های فیزیولوژیکی ناشی از تنش‌های دمایی (Dhaubhadel *et al*., 1999)، خشکی (Li and Van Staden, 1998)، فلزات سنگین (Bajguz, 2000)، عوامل بیماری‌زا و آفت کش‌ها (Sasse, 1999) و شوری (Sasse *et al*., 1995) به اثبات رسیده است. عنصر ریز مغذی روی (Zn) نقش اساسی در متابولیسم گیاه (Romheld and Marschner, 1991) و نیز بیوسنتز پروتئین‌ها، RNA و DNA ایفا می‌کند (Welch, 2001). اگرچه نیاز گیاهان به روی اندک (۱۰۰ppm–۵) است، ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد گیاهان از صدمات فیزیولوژیکی ناشی از ناکارآمدی سیستم‌های متعدد آنزیمی و سایر فرآیندهای متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد (Baybordi, 2006). روی برای حفظ پیوستگی ساختار غشای سلول‌های ریشه ضروری است (Welch, 2001)، به طوری که در شرایط کمبود روی نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه افزایش می‌یابد (Marschner and Cakmak, 1986).

هدف از اجرای این پژوهش، افزایش کیفیت بذرهای گوجه فرنگی و در نتیجه القای قابلیت تحمل گیاهچه‌های حاصله در شرایط تنش شوری بود، که این مهم از طریق محلول پاشی برگی ۲٤–اپی براسینولید و نانو اکسید روی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

مرحله قبل از گلدهی و در ادامه آزمون بذرهای استخراج شده در محیط جوانه‌زنی استاندارد حاوی نمک NaCl دنبال گردید.

مواد و روش‌ها

بذرهای گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L. cv'Y') متعلق به رقم وای از شرکت تولید بذر فلات تهیه گردید. آزمایش‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شدند. تیمارهای آزمایش شامل محلول پاشی برگی ٢٤- اپی براسینولید (EBL) (با غلظت‌های. ۰، ۰/۸ و ۱/٦ میکرو مولار) و نانو اکسید روی (NP-ZnO) (با غلظت‌های ۰، ٦۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام) و سه سطح شوری (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بود. در آزمون تحمل شوری گیاهچه، از نمک NaCl (به عنوان نمک غالب در خاک-های شور) به منظور برقراری سطوح تنش استفاده گردید. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل انجام آزمایش در افق ۳۰-۰ سانتی‌متری تعیین گردید (جدول ۱).

این پژوهش به صورت دو مرحله‌ی مزرعه‌ای و آزمایشگاهی به اجرا درآمد، بدین صورت که ابتدا نشاءهای تولید شده از بذرهای گوجه فرنگی، پس از ۲۵ روز رشد در خزانه، جهت کشت در زمین اصلی به مزرعه منتقل شدند. در ادامه پس از استقرار نشاءها و رشد رویشی قابل قبول، در مرحله قبل از شروع گلدهی اقدام به محلول‌پاشی توام EBL و NP-ZnO گردید. به منظور افزایش جذب سطحی و ماندگاری محلول پاشیده شده روی برگ‌های گوجه‌فرنگی از سورفکتانت Tween-20 با غلظت ۰/۱ درصد استفاده شد، تیمار شاهد نیز شامل پاشش آب مقطر و Tween-20 بود. پس از برداشت میوه‌های کاملا رسیده، بذرها به روش تخمیر (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٤ ساعت) استخراج و خشک (با رطوبت ۸٪) گردیدند. کیفیت توده بذری فرآوری شده با بررسی قابلیت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه، از طریق آزمون جوانه-زنی استاندارد در شرایط تنش شوری مورد مطالعه قرار گرفت.

آزمون جوانه‌زنی استاندارد: بذرهای استخراج شده مطابق با قوانین انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA)، پس از ۱۰ دقیقه ضدعفونی سطحی با محلول یک درصد هیپوکلریت سدیم، به صورت چهار تکرار ۵۰ بذری در دمای متناوب ۲۵/۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. شمارش روزانه تعداد بذرهای جوانه زده (خروج دو میلی‌متری ریشه‌چه) تا پایان روز چهاردهم از شروع آزمایش ادامه یافت. در هر واحد آزمایشی، درصد جوانه‌زنی استاندارد و طول و وزن خشک گیاهچه اندازه گیری شد. شاخص سرعت جوانه‌زنی بذر ($\bar{R}$) نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Ellis and Roberts, 1981):

$$\bar{R} = \frac{\sum n}{\sum Dn}$$

n= تعداد بذور جوانه زده در هر روز.....

D= تعداد روز از آغاز آزمایش

سنجش مقدار پرولین گیاهچه: این سنجش در گیاهچه-های گوجه فرنگی با استفاده از معرف نین هیدرین و به روش اسپکتروفتومتری صورت گرفت (Bates, 1973).

سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدی: این سنجش از طریق اندازه گیری مقدار مالون دی آلدهید (MDA) با استفاده از روش (۱۹٦۸) Heath and Packer انجام شد. به این منظور، ۰/۱ گرم بافت گیاهی تازه در یک میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل در ۱٤۰۰۰rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. یک میلی‌لیتر تری-کلرواستیک اسید ۲۰ درصد (حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید) به ٤۰۰ میکرو لیتر از رو شناور حاصله اضافه شد. مخلوط به دست آمده در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم انکوبه گردید. سپس دوباره در ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده مورد نظر برای جذب در این طول موج کمپلکس MDA-TBA می‌باشد. جذب بقیه رنگیزه‌های غیر اختصاصی در ٦۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. برای محاسبه غلظت مالون دی آلدهید از ضریب خاموشی مربوطه ($۰/۱۵۵cm^{-1}.\mu M^{-1}$) بهره گرفته شد و مقادیر با واحد $\mu mol.g^{-1}$ FW بیان گردید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه

مشخصه	EC(dS/m)	pH	بافت	درصد							ppm		
				عصاره اشباع	آهک	رس	لای	شن	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	روی
مقدار	۲/٦	۷/۸	لومی	٤۹	۱٤/٤	۲۳	٤۲	۳٥	۰/٦۲	۰/۰٦	۸/۲۹	۸/۲۹	۲۸

سنجش فعالیت کاتالاز: بدین منظور، ۱۰۰ میلی‌گرم بافت گیاهچه توسط یک میلی لیتر بافر استخراج (۵۰ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار (pH= ٦) تهیه و ٤ گرم پودر PVP اضافه شد) در چهار درجه سانتی‌گراد هموژن گردید. هموژنای حاصل در سرعت ۱۲۰۰۰rpm و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. در ادامه، سه میلی لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH= ٦) و ٤۰ میکرولیتر محلول ۳۰ میلی مولار آب اکسیژنه (H_2O_2) با هم مخلوط گردید. پس از افزودن ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی، در پایان پنج دقیقه از شروع واکنش در دمای آزمایشگاه، جذب در طول موج ۲٤۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. اعداد جذب بر عدد ضریب خاموشی پراکسید هیدروژن ($\mu M^{-1}.cm^{-1}$ ۳۹/٤) تقسیم و فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس میکرو مول H_2O_2 تولید شده در دقیقه بیان شد (Aebi, 1984).

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: این سنجش با استفاده از روش (۱۹۹۲) MacAdam *et al.* صورت پذیرفت. به منظور استخراج آنزیم پراکسیداز، ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه گیاهی در یک میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر فسفات+KCl+PVP)، در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد (با استفاده از هاون چینی سرد) ساییده شد. همگنای تهیه شده پس از انتقال به لوله اپندورف در ۱۲۰۰۰rpm و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵دقیقه سانتریفیوژ گردید. جهت ممانعت از تخریب آنزیم تا زمان اندازه‌گیری فعالیت، نمونه‌های سانتریفیوژ شده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس نمونه‌های عصاره حاوی آنزیم از فریزر خارج و در حمام یخ قرار داده شدند. در ادامه ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار، ۵۰ میکرولیتر گایاکول ۲۰۰ میلی‌مولار و ٤۰ میکرولیتر محلول ۳۰ میلی‌مولار آب اکسیژنه با هم مخلوط گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن اضافه شد و بعد از ۵ دقیقه از شروع واکنش در دمای آزمایشگاه، جذب در طول موج ٤۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. اعداد مربوط به جذب بر عدد ضریب خاموشی تتراگایاکول ($\mu M^{-1}.cm^{-1}$ ۲٦/٦) تقسیم شدند و فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس میکرومول تتراگایاکول تولید شده در دقیقه بیان شد. محلول جذب زمینه (Blank) شامل تمام موارد به جز عصاره استخراج شده بود.

پس از آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها (بر اساس آزمون شاپیرو-ویلک) و بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (طبق آزمون لون)، تجزیه‌ی واریانس (ANOVA) متغیرهای اندازه گیری شده توسط نرم افزارهای آماری SPSS، STATISTICA و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و رسم شکل‌ها توسط برنامه EXCEL انجام پذیرفت.

نتایج

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، محلول پاشی توام ۲٤-اپی‌براسینولید و نانو اکسید روی (EBL+NP-ZnO) و تنش شوری از نظر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، مقدار مالون دی‌آلدهید، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز و محتوای پرولین آزاد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل بین عوامل آزمایشی (EBL+NP-ZnO×شوری) از نظر طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، مقدار مالون دی‌آلدهید، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز و محتوای پرولین آزاد برگ در سطح احتمال یک درصد و به لحاظ سرعت جوانه‌زنی درسطح احتمال پنج درصد معنی‌دار به دست آمد. به لحاظ درصد جوانه‌زنی استاندارد، اثر متقابل معنی‌داری بین عوامل آزمایشی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی EBL+NP-ZnO بر برخی ویژگی‌های مرتبط با جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوجه فرنگی تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		جوانه‌زنی استاندارد	سرعت جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه
بلوک	۲	۲/۲۰۳^{ns}	۰/۰۰۵۷**	۰/۰۰۶**	۰/۰۱۰**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۱**
EBL+NP-ZnO	۸	۱۷۹/۹۶**	۰/۰۰۳۶**	۱/۲۰۲**	۱/۱۸۳**	۰/۰۱۲۳**	۰/۰۱۱۸**
شوری	۲	۳۲/۳۰**	۰/۲۵۴**	۲۴/۳۹۳**	۲۴/۱۳۱**	۰/۲۴۸۴**	۰/۲۴۱**
EBL+NP-ZnO×شوری	۱۶	۱/۶۷۹^{ns}	۰/۰۰۰۲*	۴/۰۲۶**	۰/۲۵۸**	۰/۰۰۲۵**	۰/۰۰۲۵**
خطا	۵۲	۵/۹۳۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶۴	۰/۰۷۷	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات(٪)	-	۲/۶۵	۴/۷۱۲	۱/۵۶۷	۱/۴۷۳	۱/۸۲۴	۱/۴۷۷

، ** و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ادامه جدول ۲-

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		شاخص طولی قدرت گیاهچه	مالون دی‌آلدهید	پراکسیداز	کاتالاز	پرولین
بلوک	۲	۰/۰۲۰۱^{ns}	۰/۰۰۱۰۶**	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۴**	۰/۰۰۰۰۰۹۷**
EBL+NP-ZnO	۸	۳۰/۱۷۸**	۰/۱۱۳**	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۰۰۷۷۵**	۰/۰۰۰۰۱۷**
شوری	۲	۱۹۸/۹۹**	۲/۰۸۸**	۰/۰۱۷**	۰/۰۰۰۶۵**	۰/۰۰۰۳۴**
EBL+NP-ZnO×شوری	۱۶	۲/۲۴۴**	۰/۰۵۱**	۰/۰۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۰۱۶**	۰/۰۰۰۰۰۴**
خطا	۵۲	۰/۱	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۴
ضریب تغییرات(٪)	-	۲/۳۹۴	۸/۹۰۸	۲/۱۶۱	۱/۹۷۰	۱/۴۸۳

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مورد مطالعه دیده نشد (جدول ۲).

با افزایش شدت تنش شوری، درصد جوانه‌زنی استاندارد بذرهای گوجه فرنگی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت، به طوری که کم‌ترین قابلیت جوانه‌زنی در سطح ۱۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl مشاهده گردید. از سوی دیگر، درصد جوانه‌زنی بذرهای حاصل از بوته‌های محلول پاشی شده با ۲۴-اپی-براسینولید و نانواکسید روی (EBL+NP-ZnO) نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) افزایش چشم‌گیری نشان داد. بالاترین درصد جوانه‌زنی بذر به ترکیب تیماری B_2N_2 (غلظت ۳۰ میلی‌گرم در هکتار ۲۴-اپی‌براسینولید و غلظت ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی) و پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر به ترکیب تیماری B_0N_0 (عدم کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید و نانواکسید روی) تعلق داشت (جدول ۳).

افزایش غلظت نمک NaCl در محیط کشت، موجب تاخیر معنی‌داری در جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی شد. غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی را در مقایسه با سطوح دیگر تنش به خود اختصاص داد. از طرف دیگر، اثر منفی تنش شوری بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای حاصل از بوته‌های محلول پاشی شده در مقایسه با شاهد (عدم محلول پاشی) تا حدودی رفع گردید، به طوری که توده بذری به دست آمده از بوته‌های محلول‌پاشی شده با غلظت‌های بالای ۲۴-اپی‌براسینولید و نانواکسید روی (B_2N_2) سریع‌ترین جوانه-زنی را نسبت به تیمار شاهد (B_0N_0) در هر سه سطح تنش از خود نشان داد (شکل ۱).

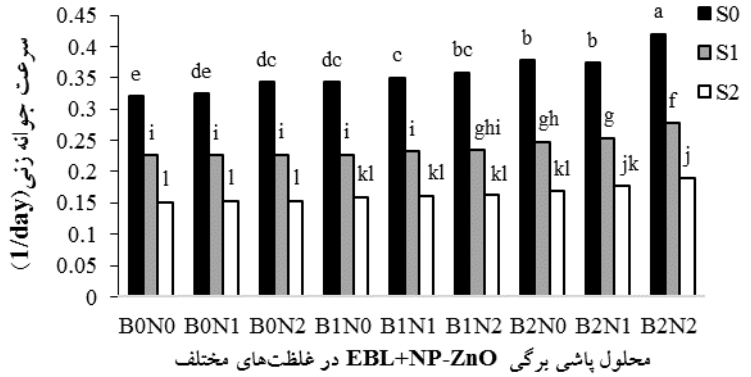
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

جدول ۳- درصد جوانه‌زنی استاندارد بذرهای گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری

تیمارهای آزمایشی	سطوح تیماری	درصد جوانه‌زنی استاندارد (٪)
محلول پاشی برگی EBL+NP-ZnO در غلظت‌های مختلف (LSD= ۲/۰۹)	B_0N_0	۸۵/۳۳^{g}
	B_0N_1	۸۷/۲۲^{fg}
	B_0N_2	۸۸/٦٦^{f}
	B_1N_0	۹۱/۲۲^{e}
	B_1N_1	۹۱/۳۳^{de}
	B_1N_2	۹۳/۳۳^{cd}
	B_2N_0	۹۵/۱۱^{bc}
	B_2N_1	۹٦/٦٦^{b}
	B_2N_2	۹۸/۸۷^{a}
تنش شوری (LSD= ۱/۲۰٦)	S_0	۹۳/۰٤^{a}
	S_1	۹۲/۰۳^{ab}
	S_2	۹۰/۸۵^{b}

B_0 (شاهد، عدم کاربرد ۲٤-اپی‌براسینولید)، B_1 (غلظت ۰/۸ میکرومولار ۲٤-اپی‌براسینولید)، B_2 (غلظت ۱/۶ میکرومولار ۲٤-اپی‌براسینولید). N_0 (شاهد، عدم کاربرد نانواکسید روی)، N_1 (غلظت ٦۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی)، N_2 (غلظت ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی). S_0 (شاهد، غلظت صفر میلی‌مولار نمک NaCl)، S_1 (غلظت ۵۰ میلی‌مولار نمک NaCl)، S_2 (غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl)



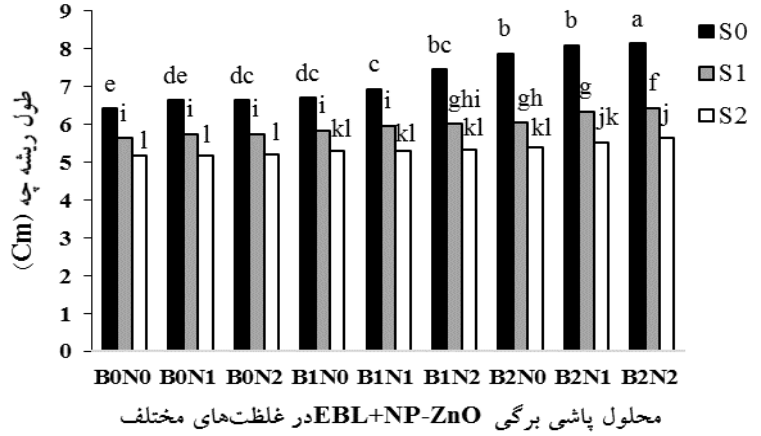
شکل۱- شاخص سرعت جوانه‌زنی بذرهای گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۱۹٦). S_0 (شاهد، غلظت صفر میلی‌مولار نمک NaCl)، S_1 (غلظت ۵۰ میلی‌مولار نمک NaCl)، S_2 (غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl)

طول ریشه‌چه گوجه‌فرنگی متاثر از تنش شوری به طور معنی-داری کاهش یافت. طویل‌ترین ریشه‌چه در شرایط غیر شور (شوری صفر میلی‌مولار) و کوتاه‌ترین آن در غلظت ۱۰۰ میلی-مولار نمک ثبت شد. بذرهای حاصله از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ۲٤-اپی‌براسینولید و نانواکسید روی، در تمامی سطوح تنش ریشه‌چه طویل‌تری نسبت به شاهد تولید نمودند. به طوری که بالاترین غلظت ۲٤- اپی‌براسینولید در ترکیب با غلظت‌های ٦۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام نانو اکسید روی، موجب افزایش حدود ده درصد در طول ریشه‌چه در مقایسه با شاهد (B_0N_0) گردید (شکل ۲).

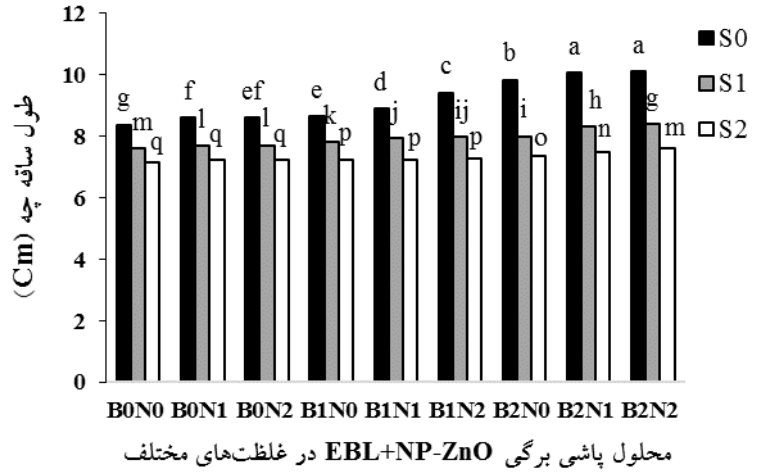
حضور نمک NaCl در بستر کشت موجب تولید ساقه‌چه های کوتاه‌تری نسبت به محیط فاقد نمک گردید. با افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

غلظت نمک، اثر بازدارندگی تنش شوری بر رشد گیاهچه (کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه) شدت یافت. به طوری‌که



شکل۲- شاخص طول ریشه‌چه بذرهای گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۵۷۵).



شکل۳- شاخص طول ساقه‌چه بذرهای گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۶۳۱).

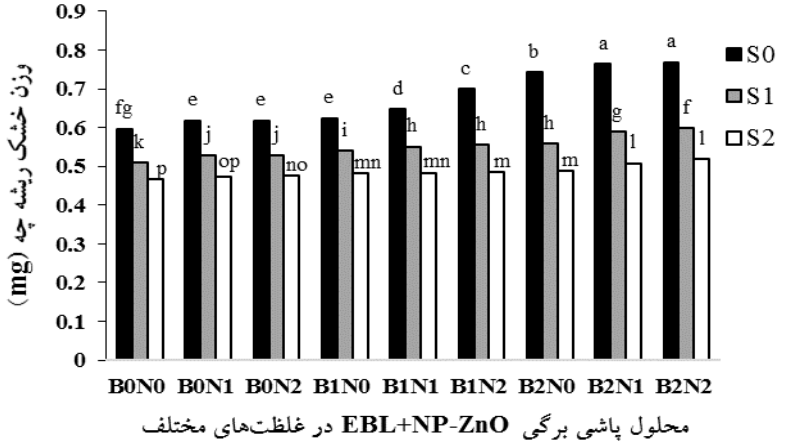
غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد کم‌ترین طول ساقه‌چه را به خود اختصاص داد. از طرف دیگر، محلول‌پاشی با EBL+NP-ZnO موجب حصول بذرهایی شد که در سطوح مختلف تنش شوری ساقه‌چه‌های طویل‌تری در مقایسه با توده بذری شاهد (آب‌مقطر+Tween-20) تولید کردند. بالاترین غلظت ٢٤- اپی‌براسینولید همراه با غلظت‌های ٦٠٠ و ١٢٠٠ پی‌پی‌ام نانو اکسید روی طویل‌ترین ساقه‌چه را نسبت به تیمار شاهد (B_0N_0) داشتند (شکل ٣).

با شورتر شدن محیط کشت، وزن خشک ریشه‌چه کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت. به طوری‌که شوری ١٠٠ میلی‌مولار نمک NaCl نسبت به شاهد، وزن خشک گیاهچه را حدود ٢٢ درصد کاهش داد. از سوی دیگر، بذرهای حاصل از بوته‌های محلول-پاشی شده با EBL+NP-ZnO اثرات سوء ناشی از تنش شوری را به لحاظ وزن خشک ریشه‌چه تا حدودی تعدیل نمود. به نحوی که در ترکیب‌های تیماری B_2N_1 و B_2N_2 (به ترتیب غلظت ١/٦ میکرومولار ٢٤-اپی‌براسینولید همراه با غلظت‌های ٦٠٠ و ١٢٠٠ پی‌پی‌ام نانو اکسید روی) بالاترین وزن خشک ریشه‌چه مشاهده گردید (شکل ٤).

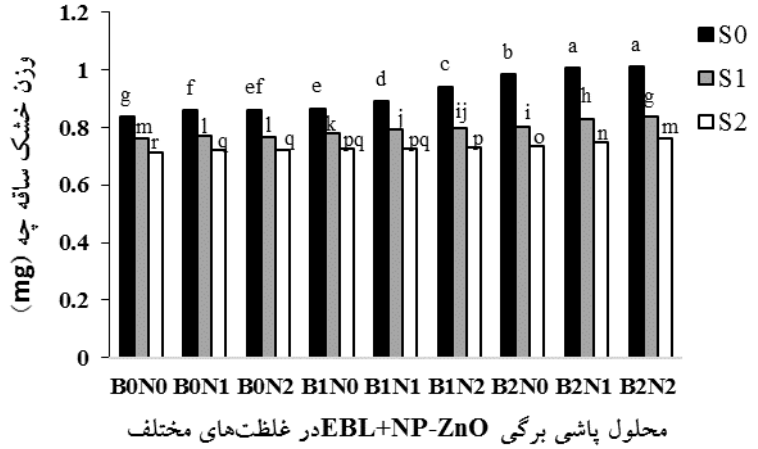
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

تنش شوری حاکم بر محیط کشت بذرهای گوجه‌فرنگی موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه‌چه گردید و این



شکل٤- شاخص وزن خشک ریشه‌چه بذرهای گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۰۷۷).



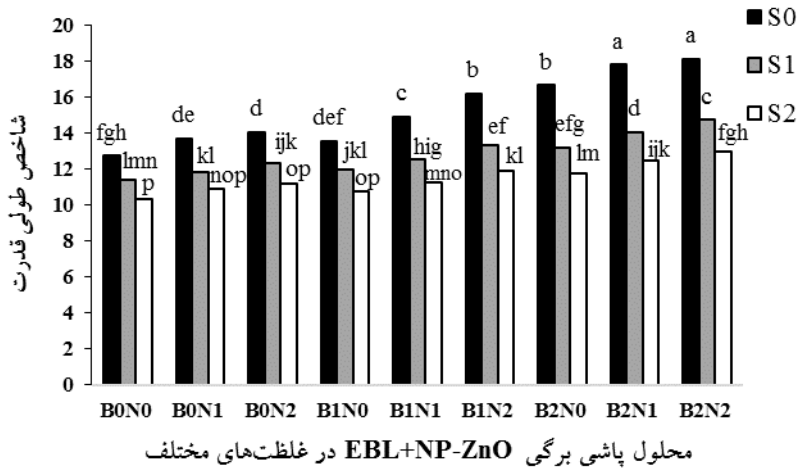
شکل۵- شاخص وزن خشک ساقه‌چه بذرهای گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۰٦٤).

کاهش با افزایش غلظت نمک به نحو قابل توجهی تشدید گردید. از طرف دیگر، محلول پاشی ترکیب‌های غلظتی ٢٤- اپی‌براسینولید و نانواکسید روی بر روی بوته‌های گوجه‌فرنگی موجب تولید بذرهایی شد که تا حدودی توانایی مقابله با تنش شوری را داشتند. چراکه غلظت ۱/٦ میکرومولار ٢٤-اپی- براسینولید توام با غلظت‌های ٦۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی در سطوح مختلف نمک بالاترین وزن خشک ساقه‌چه را به خود اختصاص دادند، و سایر سطوح ٢٤-اپی‌براسینولید و نانواکسید روی در غلظت‌های مختلف NaCl وزن خشک ساقه‌چه بالاتری نسبت به شاهد از خود نشان دادند (شکل ۵).

شاخص طولی قدرت گیاهچه گوجه‌فرنگی به طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت و با افزایش غلظت نمک کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت. به طوری‌که سطح ۱۰۰ میلی- مولار با کاهش حدود ۲۵ درصدی شاخص قدرت نسبت به شاهد (عدم حضور نمک) کم‌ترین مقدار را داشت. از طرف دیگر بذرهای به دست آمده از بوته‌های محلول‌پاشی شده، یک مقاومت نسبی در برابر تنش شوری از خود نشان دادند. چرا که تمامی ترکیب‌های غلظتی ٢٤-اپی‌براسینولید و نانواکسید روی تحت سطوح مختلف تنش شوری شاخص قدرت بالاتری در مقایسه با شرایط عدم محلول پاشی (شاهد) داشتند. بالاترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

مقدار شاخص طولی قدرت گیاهچه گوجه فرنگی در غلظت ۱/٦ میکرومولار ۲٤- اپی‌براسینولید توام با غلظت‌های ٦۰۰ و



شکل٦- شاخص طولی قدرت گیاهچه‌های گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۵۸٦).

۱۲۰۰ پی‌پی‌ام نانو اکسید روی (به ترتیب B_2N_1 و B_2N_2) در سطوح مختلف تنش شوری حاصل گردید (شکل ٦).

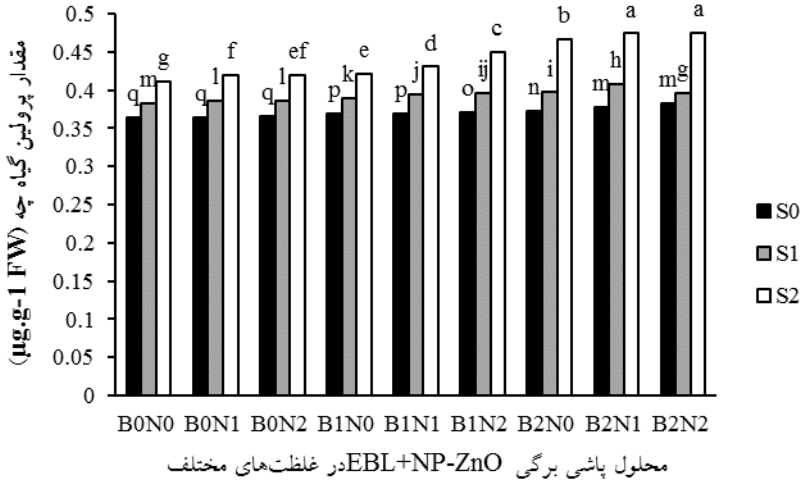
افزایش شدت تنش شوری در بستر کشت بذرهای گوجه فرنگی موجب افزایش پرولین آزاد گیاهچه گردید. به طوری‌که در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl، محتوای پرولین در حدود ۱۲ درصد نسبت به شاهد (عدم حضور نمک) افزایش نشان داد. در توده‌های بذری به دست آمده از بوته‌های محلول پاشی شده با ترکیب‌های غلظتی EBL+NP-ZnO، روند صعودی میزان پرولین گیاهچه تحت تنش شوری مشهودتر بود. به نحوی که غلظت ۱/٦ میکرومولار ۲٤- اپی‌براسینولید توام با غلظت ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی در سطوح مختلف نمک بالاترین میزان پرولین گیاهچه را به خود اختصاص داد (شکل ۷).

فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه گوجه فرنگی به شدت تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت، به طوریکه با افزایش سطوح تنش فعالیت این آنزیم آنتی اکسیدان به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی-مولار، افزایش به ترتیب حدود ۵۸ و ٦٦ درصدی فعالیت آنزیم نسبت به شرایط عدم حضور نمک در بستر کشت (شاهد) مشاهده گردید. توده‌های بذری متعلق به بوته‌های محلول‌پاشی شده با غلظت‌های مختلف ۲٤-اپی‌براسینولید+نانواکسید روی منجر به تولید گیاهچه‌های برخوردار از فعالیت بالاتر آنزیم پراکسیداز تحت تنش شوری شد. روند صعودی فعالیت آنزیم در سطوح تنش در تمامی ترکیب‌های غلظتی ۲٤-اپی‌براسینولید و نانواکسید روی مشهود بود. در شرایط غیر شور، تفاوت بین غلظت‌های مختلف ۲٤-اپی‌براسینولید+نانواکسید روی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. از طرف دیگر در تنش ۵۰ میلی‌مولار، محلول پاشی غلظت ۱/٦ میکرومولار ۲٤- اپی‌براسینولید توام با غلظت‌های ٦۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی بالاترین فعالیت آنزیم پراکسیداز را موجب گردید. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، تیمار مربوط به غلظت بالای ۲٤-اپی‌براسینولید توام با غلظت بالای نانواکسید روی (B_2N_2) بالاترین میزان فعالیت پراکسیداز گیاهچه را به نمایش گذاشت (شکل ۸).

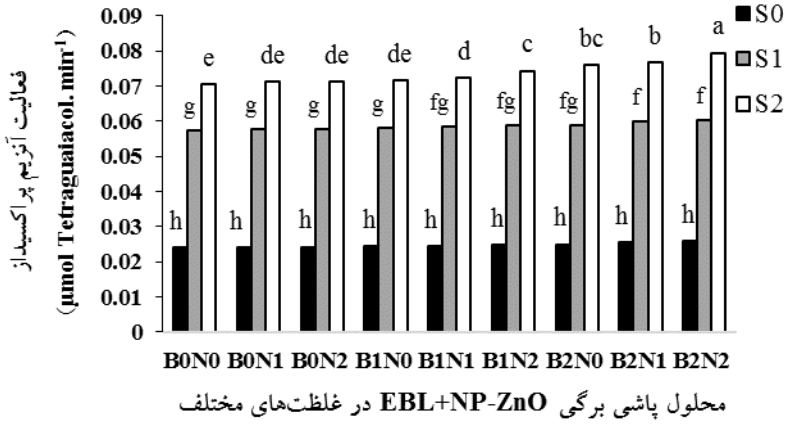
با شورتر شدن محیط، فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. به طوری‌که در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز به دست آمد. محلول-پاشی بوته‌های گوجه فرنگی با غلظت‌های مختلف ۲٤-اپی-براسینولید+نانواکسید روی موجب تولید بذرهایی شد که فعالیت کاتالاز گیاهچه در سطوح مختلف تنش به طور قابل توجهی افزایش یافت. به نحوی که در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار، غلظت بالای ۲٤-اپی‌براسینولید در ترکیب با غلظت بالای نانواکسید روی (B_2N_2) بیش‌ترین فعالیت آنزیمی را از خود نشان داد (شکل ۹).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

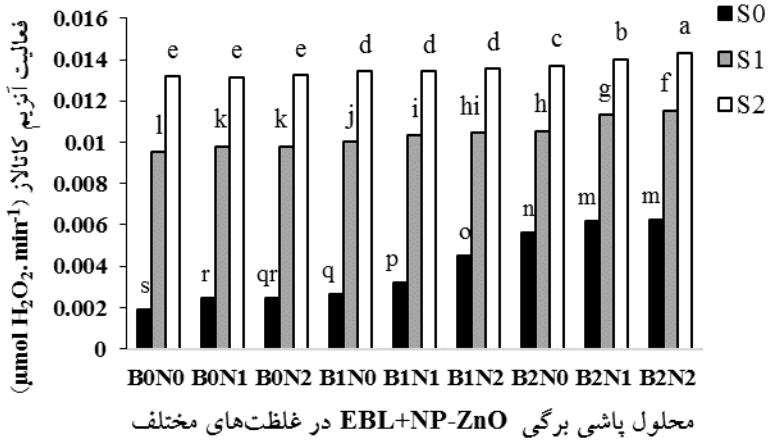
میزان مالون دی‌آلدهید گیاهچه گوجه فرنگی در حضور نمک NaCl در محیط کشت به طور قابل توجهی افزایش



شکل۷- مقدار پرولین گیاهچه‌های گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۰۲).



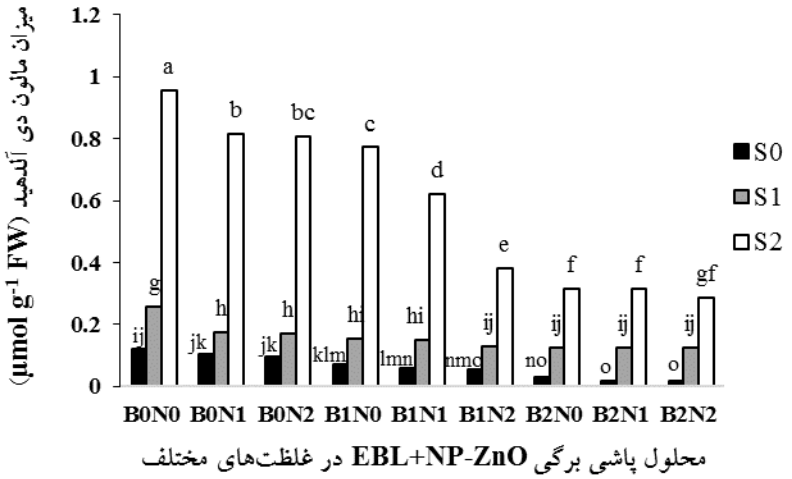
شکل۸- فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌های گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۰۱۹).



[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

شکل۹- فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه‌های گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۰۰۱).



شکل۱۰- میزان مالون دی‌آلدهید گیاهچه‌های گوجه فرنگی متاثر از محلول پاشی EBL+NP-ZnO و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد (LSD= ۰/۰۳۹۲).

یافت. به طوری که در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار حدود ۵۹ درصد و در تنش ۱۰۰ میلی‌مولار حدود ۸۹ درصد نسبت به شاهد (عدم حضور نمک) افزایش در میزان مالون دی‌آلدهید گیاهچه گوجه فرنگی ملاحظه گردید. از سوی دیگر توده‌های بذری به دست آمده از بوته‌های محلول‌پاشی شده با EBL+NP-ZnO، در شرایط تنش شوری گیاهچه‌هایی تولید نمودند که مقدار مالون دی‌آلدهید آن‌ها به شدت کاهش یافت. به طوری که محلول پاشی غلظت ۱/٦ میکرومولار ٢٤- اپی- براسینولید توام با غلظت‌های ٦۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام (به ترتیب B_2N_1 و B_2N_2) و عدم حضور نانواکسید روی (B_2N_0) در هر سه سطح شوری کم‌ترین میزان مالون دی‌آلدهید گیاهچه را به خود اختصاص دادند (شکل ۱۰).

بحث

در مجموع تنش شوری با کاهش قابلیت جوانه‌زنی بذر مانع رشد مطلوب گیاهچه گوجه فرنگی گردید. همسو با نتایج پژوهش حاضر، در مطالعات مختلف یافته‌های مشابهی در مورد گوجه فرنگی گزارش شده است (Kaveh *et al*., 2001; Haghighi *et al*., 2012). یکی از دلایل احتمالی کاهش رشد گیاهچه گوجه فرنگی تحت تنش نمک را می‌توان به تغییرات هورمونی نسبت داد، چراکه شوری با افزایش اسید آبسیزیک و کاهش اتیلن در بذر، مانع از جوانه‌زنی مطلوب می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). در برخی پژوهش‌ها اثرات محرک تنش شوری برتغییرات هورمون‌های درون گیاه مورد بررسی و تایید واقع شده‌اند (Thomas *et al*., 1992; Aldesuquy, 1998; Vaidyanathan *et al*., 1999; Parida and Das, 2005). در این راستا، بسیاری از محققان اعلام نمودند که یک رابطه آنتاگونیستی بین براسینواستروئیدها و اسید آبسیزیک در مرحله جوانه‌زنی بذر وجود دارد (Erik *et al*., 1996; Steber and Mc Court, 2001; Zhang *et al*., 2009). Divi and Krishna (۲۰۱۰) نیز عنوان نمودند که افزایش بیان ژن مسئول بیوسنتز براسینواستروئید (*AtDWF4*) موجب تولید بالای این دسته از هورمون‌ها در بذر شده و این امر به رفع اثرات بازدارنده اسید آبسزیک بر جوانه‌زنی بذر کمک شایانی می‌کند. بطور کلی در محیط‌های شور، افزایش غلظت املاح مضر در محیط ریشه، از طریق کاهش پتانسیل آب گیاه، سبب کاهش طول ریشه‌چه در گیاهچه‌ها می‌گردد، که علت احتمالی کاهش طول ریشه‌چه به مصرف بیش‌تر انرژی در ریشه‌چه برای جذب فعال عناصر غذایی مرتبط است که متعاقب آن انرژی تخصیص یافته برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

رشد ریشه‌چه کاهش یافته است (بهبودیان و همکاران، ۱۳۸٤). در پژوهش حاضر طول ساقه‌چه گوجه فرنگی در حضور نمک کاهش بیشتری را نسبت به ریشه‌چه از خود نشان داد، که همسو با این یافته پژوهشگران دیگری کاهش طول ساقه‌چه گوجه‌فرنگی در محیط‌های شور را گزارش نموده‌اند (مختاری و همکاران، ۱۳۸۷؛ طالب‌زاده، ۱۳۸۳). به نظر می‌رسد علت کاهش طول ساقه‌چه، اختلال در انتقال مواد غذایی از لپه به جنین باشد (باقری و همکاران، ۱۳۷۳). طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بذرهای تیمار شده با ۲٤-اپی‌براسینولید تحت تنش شوری بیش‌تر از گیاهچه‌های رشد یافته در محیط شور بدون حضور ۲٤- اپی‌براسینولید می‌باشد که علت احتمالی آن کاهش اثر مهارکنندگی رشد توسط هورمون ۲٤-اپی‌براسینولید تحت شرایط تنش می‌باشد (Agami, 2013). این نتایج با افزایش رشد گیاهچه‌های گوجه فرنگی تیمار شده با ۲٤-اپی‌براسینولید تحت تنش کم آبی مطابقت دارد (Khripach *et al.*, 1998). افزایش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در حضور ۲٤- اپی‌براسینولید ممکن است به توانایی آن در تحریک رشد گیاهچه مرتبط باشد که این امر بواسطه رشد و توسعه سلولی صورت می‌گیرد (Ozdamir *et al.*, 2004). نتایج نشان داد که وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز در شرایط تنش شوری کاهش یافت، اما ۲٤-اپی‌براسینولید سبب افزایش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه گوجه فرنگی شد. همسو با این نتایج، پژوهشگران متعددی گزارش نمودند که ۲٤-اپی‌براسینولید موجب افزایش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه گوجه‌فرنگی و برخی گیاهان مشابه در شرایط تنش شوری گردید (Schilling *et al.*, 1991; Ozdamir *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2012). همچنین در این پژوهش محلول‌پاشی نانو اکسید روی در بوته‌های گوجه‌فرنگی موجب تولید بذرهایی شد که از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه اثرات سوء ناشی از حضور نمک در بستر جوانه‌زنی را کاهش داد. در این راستا نتایج مشابهی در مورد افزایش جوانه‌زنی و قدرت گیاهچه بر اثر تیمار با نانو اکسید روی گزارش شده است (Ajouri, *et al.*, 2004; Prasad *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2004). بطور کلی افزایش غلظت روی در بذرها، آثار فیزیولوژیکی بسیار مهمی بر درصد جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه خواهد داشت (Prasad *et al.*, 2012). به طوری‌که Alpaslan *et al.* (۱۹۹۹) گزارش نمودند که افزایش غلظت روی موجب تعدیل اثر منفی NaCl با کنترل جذب سدیم و کلر و یا محدودیت انتقال این عناصر در گیاه می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط Prasad *et al.* (۲۰۱۲) انجام شد، مشاهده گردید که تیمار بذرهای بادام‌زمینی با نانو ذرات اکسید روی (غلظت ppm ۱۰۰۰) افزایش معنی‌داری در جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص قدرت نسبت به سایر غلظت‌های همان ماده و غلظت‌های مختلف از مواد دیگر در بردارنده این عنصر مانند سولفات روی ایجاد کرد. استدلال دقیق برای این اثرات تاکنون شناخته نشده است، ولی این احتمال وجود دارد که به خاطر تمرکز بالای روی در بذرهای تیمار شده با نانو ذرات روی باشد. بطور کلی رسانش عنصر روی و سایر عناصر ریز مغذی در قالب مکمل و یا کود هم‌چنان با چالش رو به رو است. با استفاده از نانو ذرات و نانو پودرها می‌توان کودهایی با رهایش کنترل شده یا تاخیری تولید کرد. چراکه سطح ویژه بالای نانو ذرات، چگالی بیشتر نواحی واکنش‌پذیر بر روی سطح ذره و یا افزایش واکنش‌پذیری این نواحی بر روی سطح، سبب واکنش‌پذیری بالای نانو ذرات می‌شوند. این ویژگی‌ها موجب جذب راحت‌تر کودها و سمومی می‌شوند که با این ابعاد تولید شده‌اند و نسبت به کودها و سموم رایج تاثیر بیش‌تری خواهند داشت (پاریاد، ۱۳۹۱). لذا در این تحقیق از عنصر روی در ابعاد نانو استفاده گردید، تا جذب و رسانش این عنصر به بافت هدف با اطمینان بیش‌تری صورت گیرد. عنصر روی در ساخته شدن تریپتوفان که جزیی از ساختمان برخی از پروتئین‌ها است و ترکیبی ضروری برای سنتز هورمون رشد (اکسین‌ها مانند ایندول استیک اسید) به شمار می‌آید نقش مهمی ایفا می‌کند. کاهش هورمون رشد در گیاهان مبتلا به کمبود روی فاصله میان گره‌ها را کوتاه می‌کند و حالت کوتولگی غیرطبیعی برگ‌ها در این گیاهان مشاهده می‌شود (Haslett *et al.*, 2001).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

حضور نمک در بستر کشت موجب افزایش معنی‌دار در محتوای پرولین گیاهچه‌های گوجه فرنگی گردید. در این راستا، مطالعات نشان می‌دهد که گیاهان تا زمانی می‌توانند آب را جذب کنند که پتانسیل آب آن‌ها پایین‌تر از محیط باشد. بدین منظور، محلول‌های اسمزی سازگار که با واکنش‌های آنزیمی تداخل ندارند برای حفظ تعادل پتانسیل آب داخل سلول در سیتوپلاسم تجمع می‌یابند. این نوع مواد مانند پرولین، گلایسین بتائین و پلی اول‌ها موجب ایجاد محیطی سازگار با ماکرومولکول‌های سلول (به ویژه پروتئین‌ها) می‌شوند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). Ali *et al.* (۱۹۹۹) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که پرولین به مانند یک مولکول تنظیمی و علامت دهنده عمل می‌کند،به طوری که در هنگام مواجهه گیاه با تنش شوری، مقاومت به تنش آن را مضاعف می‌سازد. Zhang *et al.* (۲۰۰۰) نتیجه گرفتند که یک ارتباط مثبت بین تجمع پرولین و مقدار آنتی‌اکسیدان بافت وجود دارد، به طوری که در نتیجه تنش‌های مختلف مقدار رادیکال آزاد افزایش می‌یابد و باعث تجمع پرولین در بافت گیاهی می‌شود. با توجه به این مطلب، افزایش غلظت پرولین گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی می‌تواند پاسخی در برابر کاهش فشار اسمزی و افزایش رادیکال‌های آزاد تولید شده در گیاهچه‌های رشد یافته در شرایط تنش شوری باشد. از سوی دیگر محلول‌پاشی ۲٤-اپی براسینولید و نانواکسید روی موجب تشدید روند صعودی محتوای پرولین آزاد گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی در حضور نمک NaCl شد. Agami (۲۰۱۳) گزارش نمود که ۲٤-اپی براسینولید در شرایط شوری موجب افزایش محتوای پرولین آزاد گردید. Talaat and Shawky (۲۰۱۳) عنوان نمودند که ۲٤-اپی براسینولید با تاثیر بر بیان ژن‌های مسئول بیوسنتز پرولین، موجب افزایش محتوای پرولین می‌گردد. از سوی دیگر به دلیل اینکه این هورمون موجب افزایش بیوسنتز اسیدهای نوکلئیک در سلول‌های گیاهی می‌گردد (Bajguz, 2000)، لذا احتمالا افزایش پرولین به واسطه حضور ۲٤-اپی‌براسینولید، ناشی از افزایش سنتز اسیدهای نوکلئیک در سلول‌های گیاهی و تبدیل آن‌ها به اسید آمینه‌های مورد نیازی چون پرولین می‌باشد. عنصر روی نیز به عنوان کوفاکتور، تاثیر مهمی در فعالیت آنزیم‌های برگ به ویژه در شرایط تنش دارد (Bagci *et al.*, 2007). بطور کلی پرولین از دو مسیر عمده ساخته می‌شود: مسیر گلوتامات، که آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند، و مسیر اورنیتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری می‌باشند. عنصر روی در آنزیم‌های کلیدی مسیر گلوتامات که در گیاهان عالی اهمیت بیش‌تری دارد، شرکت می‌کند (Delaney *et al.*, 1993). لذا به نظر می‌رسد که افزایش محتوای پرولین گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی تحت تاثیر نانو اکسید روی، به واسطه فعال شدن آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز پرولین در سیتوپلاسم سلول‌های گیاه می‌باشد. بنابراین به طور کلی می‌توان اظهار داشت که برای جبران حداقل برخی از اثرات مضر تنش شوری، عنصر روی که نقش فزاینده‌ای در فرآیند تنظیم اسمزی (به واسطه افزایش پرولین و سایر ترکیبات اسمولیت) ایفا می‌کند می‌تواند در مقاومت به تنش شوری گیاه گوجه‌فرنگی موثر باشد.

در این تحقیق، با شورتر شدن بستر کشت تجمع رادیکال های آزاد اکسیژن در گیاهچه گوجه فرنگی افزایش یافت که این امر موجب افزایش واکنش‌های پراکسیداتیو و تجمع مواد سمی مانند مالون دی‌آلدهید گردید. از طرفی سیستم‌های آنتی‌اکسیدان نظر آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهچه گوجه - فرنگی در جهت خنثی کردن این اثرات سوء افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان دادند. دلایل محکمی وجود دارد که تنش شوری در گیاهان مختلف می‌تواند سبب تجمع انواع اکسیژن واکنش‌گر مانند آنیون سوپراکسید، رادیکال‌های هیدروکسیل، اکسیژن منفرد و پراکسید هیدروژن گردد (Lee *et al.*, 2001). این رادیکال‌های آزاد ضمن راه‌اندازی واکنش‌های پراکسیداتیو، قابلیت آسیب زدن به غشاء و ماکروملکول‌های ضروری مثل رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها را دارند و منجر به تشکیل محصولات سمی نظیر مالون دی آلدهید می‌شوند. تنش اکسیداتیو زمانی رخ می‌دهد که تعادل بین تولید ROSها و ظرفیت دفاع آنتی‌اکسیدانتی گیاه بر هم بخورد. گیاهان با سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان آنزیمی (مثل کاتالاز و پراکسیداز) و غیر آنزیمی (مثل پرولین) به طور طبیعی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

میزان ROSهای درون سلول را در حد تعادل نگه می‌دارند (Tavallali *et al*., 2010). در این راستا پژوهشگران عنوان داشتند که در گیاهان، تعدادی از آنزیم‌ها سطوح H_2O_2 درون سلولی را تنظیم می‌کنند و بنابراین به نظر می‌رسد پراکسیدازها و کاتالاز از مهم‌ترین این آنزیم‌ها هستند (de Azevedo Neto *et al*., 2006). به طور کلی براسینواستروئیدها مقدار تجمع مالون دی‌آلدهید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء را کاهش می‌دهند. چراکه براسینواستروئیدها بر روی ترکیب اسیدهای چرب و نفوذپذیری غشاء اثر گذاشته و اثر مثبت بر تجمع مواد محلول دارند (Khripach *et al*., 1998). لذا در این پژوهش، کاهش تجمع مالون دی‌آلدهید در اثر تیمار با ۲٤-اپی‌براسینولید و نانواکسید روی در شرایط تنش شوری نشان دهنده کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و حفظ سلامت غشاء تحت تنش شوری می‌باشد. در این راستا گزارشی مبنی بر تاثیر براسینواستروئیدها بر کاهش مالون دی‌آلدهید به دلیل حفظ لیپیدهای غشاء از خسارت القا شده به وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن وجود دارد (Ozdamir *et al*., 2004). کاهش تجمع مالون دی‌آلدهید و رادیکال‌های آزاد اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز و پراکسیداز تحت تاثیر ۲٤- اپی‌براسینولید توسط پژوهشگران متعدد گزارش شده است (Ali *et al*., 2008; Shahbaz *et al*., 2008; Hayat *et al*., 2010; Talaat and Shawky, 2013). باید خاطر نشان کرد که گیاه به منظور حفاظت از غشای سلولی و دیگر اندام‌ها از خسارت اکسیداتیو ناشی از ROSها، یک سیسنم دفاعی آنتی اکسدانتی قوی که شامل آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز می‌باشند را توسعه می‌دهد (Maia *et al*., 2010) که فعالیت هر کدام از این آنزیم-ها از طریق یکسری ژن‌های اختصاصی کنترول می‌شود. در این راستا پژوهشگران متعددی عنوان داشتند که براسینواستروئیدها از طریق تاثیر بر بیان ژن‌های مسئول کنترول فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت باعث افزایش مقاوت گیاهان در برابر خسارت اکسیداتیو ناشی از ROSها در شرایط تنش می‌شوند (Ramonell *et al*., 2001; Goda *et al*., 2002; Cao *et al*., 2005; Choe *et al*., 2006; Bajgu *et al*., 2009). به طور کلی در شرایط تنش شوری عنصر روی با افزایش سطح آنزیم‌های آنتی اکسیدان، آسیب اکسیداتیو ایجاد شده به وسیله تنش شوری را تا حدود زیادی کاهش می‌دهد، بنابراین می‌توان اظهار داشت که آسیب‌های غشایی القا شده به وسیله NaCl و تنش اکسیداتیو به طور کارآمدی به وسیله عنصر ریز مغذی روی کنترل می‌شود (Tavallali *et al*., 2010). چرا که عنصر روی در القای بیان ژن‌های مسئول سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موثر است و در پاره‌ای موارد حتی به عنوان کوفاکتور این دسته از آنزیم‌ها نیز محسوب می‌شود (Grewal and Wiliams, 2000; Bagci*et al*., 2007).

نتیجه‌گیری

بذرهای حاصل از بوته‌های گوجه‌فرنگی محلول‌پاشی شده با ۲٤-اپی براسینولید و نانو اکسید روی قابلیت تحمل به تنش شوری بالایی را از خود نشان دادند. به طوری که در حضور نمک شاخص‌های جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و همچنین فعالیت سیستم‌های آنتی اکسیدانی در این بذرها نسبت به شاهد در سطح بالاتری بود. که این امر موجب افت شدید واکنش‌های پراکسیداتیو و تولید محصولات سمی نظیر مالون دی‌آلدهید در گیاهچه‌های گوجه فرنگی گردید. در کل تمامی سطوح ۲٤-اپی براسینولید و نانو اکسید روی در مقایسه با شاهد (عدم محلول-پاشی) اثرات مثبتی در جهت تحمل به تنش شوری در مرحله جوانه زنی از خود نشان دادند، اما بذرهای حاصل از بوته‌های محلول پاشی شده با ترکیب توام سطح بالای ۲٤-اپی براسینولید و نانواکسید روی (B_2N_2) از تحمل به تنش بالاتری برخوردار بودند. لذا با توجه به نتایج حاصل، می‌توان توصیه نمود که در مزارع تولید بذر گوجه‌فرنگی جهت تولید بذرهای با کیفیت بالا و قابلیت تحمل به تنش شوری گیاهچه‌های حاصل، از محلول‌پاشی برگی ۲٤-اپی براسینولید و نانواکسید روی قبل از گلدهی در غلظت‌های بهینه استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

بدین وسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی و مالی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی و شرکت تولید بذر فلات اعلام می‌دارند.

منابع

باقری، ع.، سرمد نیا، غ.، حاج‌رسولی‌ها، ش. (۱۳۷۳). بررسی عکس‌العمل توده‌های مختلف اسپرس به تنش‌های خشکی و شوری در مرحله جوانه‌زنی. مجله علوم و صنایع کشاورزی ۲: ٤٥-٤١.

بهبودیان، ب.، لاهوتی، م.، نظامی،ا. (۱۳۸٤). بررسی اثرات تنش شوری بر جوانه‌زنی ارقام نخود. مجله علمی کشاورزی ۲۸(۲): ۱۳۷-۱۲۷.

پاریاد، س. (۱۳۹۱). اثر اندازه بذر و تغذیه گیاه مادری بر کیفیت بذور حاصل در کدوی دارویی (*Cucurbita pepo* L.)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته علوم و تکولوژی بذر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

طالب‌زاده، ز. (۱۳۸۳). بررسی اثرات شوری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

کافی، م.، برزوئی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع.، نباتی، ج. (۱۳۸۸). فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. ۵۰۲ ص.

مختاری، ا.، ابریشم‌چی، پ.، گنجعلی، ع. (۱۳۸۷). بررسی تاثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری بر جوانه‌زنی بذور گوجه فرنگی. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه علوم باغبانی ۲۲(۱): ۱۰۰-۸۹.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Agami, R. A. (2013). Alleviating the adverse effects of NaCl stress in maize seedlings by pretreating seeds with salicylic acid and 24-epibrassinolide. South African Journal of Botany 88: 171–177.

Ajouri, A., Asgedom, H. and Becker, M. (2004) Seed priming enhances germination and seedling growthof barley under conditions of P and Zn deficiency. Journal of Plant Nutrition and Soil Science167:630-636.

Aldesuquy, H. S. (1998) Effect of seawater salinity and gibberllic acid on abscisic acid, amino acids and water-use efficiency of wheat plants. Agrochemical 42: 147–157.

Ali, B., Hayat, S., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. (2008) 24-Epibrassinolide protects against the stress generated by saline and nickel in Brassica juncea. Chemosphere 72: 1387–1392

Ali, G., Srivastava, P. S. and Iqbal, M. (1999) proline accumulation, protein pattern and photosynthesis inregenerants grown under NaCl stress. Biologia Plantarum 42: 89-95.

Almansouri, M., Kinet, J. M. and Lutts, S. (2001) Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (Triticum durum Desf.). Plant and Soil 231(2): 243-254.

Alpaslan, M., Inal, A., Gunes, A., Cikili, Y. and Ozcan, H. (1999) Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.Mill. c.v.lale) grown under salinity. Turkish Journal of Botany 23:1-6.

Anonymous. 2014. FAO statistics division. *http://www.faostat.fao.org.*

Anuradha, S. and SeetaRamRao, S. (2001) Effect of brassinosteroids on salinity stress induced inhibition of seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). Plant Growth Regulation 33: 151–153.

Atanassova, B. and Georgiev, H. (2000) Using genic male sterility in improving hybrhd seed production in Tomato (*lycopersicon esculentum* L. mill.). In II Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes. 579: 185-188.

Bagci, S. A., Ekiz, H., Yilmaz, A. and Cakmak, I. (2007) Effects of zinc deficiency and water stress on grain yield of field-grown Wheat cultivars in central Anatolia. Agronomy and Crop Science 193: 198-206.

Bajgu, A. and Hayat, S. (2009) Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. Plant Physiology and Biochemistry 47: 1-8.

Bajguz A. (2000) Blockade of heavy metals accumulation in *Chlorella vulgaris* cells by 24-epibrassinolide. Plant physiology and biochemistry 38: 797–801.

Bates, L. S. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil39: 205–207.

Baybordi, A. (2006) Zinc in soils and crop nutrition. (1sted.). Parivar Press. P. 179.

Cao, S., Xu, Q., Cao, Y., Qian, K., An, K., Zhu, Y., Binzeng, H. and Zhao, H. (2005) Loss-of-function mutations in DET2 gene lead to an enhanced resistance to oxidative stress in Arabidopsis, Physiologia Plantarum 123: 57–66.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

Choe, S. (2006) Brassinosteroid biosynthesis and inactivation, Physiologia Plantarum 126: 539–548.

de Azevedo Neto, A. D., Prisco, J. T., Enéas-Filho, J., de Abreu, C. E. B. and Gomes-Filho, E. (2006) Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. Environmental and Experimental Botany 56: 87-94.

Delaney, A. J., Hu, C. A. A., Kishor, K. P. B. and Verma, D. P. S. (1993) Cloning ornithine-aminotransferase cDNA from *Vigna anconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coli* and regulation of proline biosynthesis, Journal of biological chemistry 268: 18673-18678.

Dhaubhadel, S., Chaudhary, S., DobinsonK, F. and Krishna, P. (1999. Treatment with 24-epibrassinolide, a brassinosteroid, increases the basic thermo tolerance of *Brassica napus* and tomato seedlings. Plant molecular biology 40: 333–342.

Divi, U. K., Krishna, P. (2010) Overexpression of the brassinosteroid biosynthetic gene AtDWF4 in Arabidopsis seeds overcomes abscisic acid-induced inhibition of germination and increases cold tolerance in transgenic seedlings. Journal of Plant Growth Regulation 29(4): 385–393.

Eevera, T. and Vanangamudi, K. (2006) Tomato. P159-185, In: Vanangamudi, K., N. Natarajan., P. Srimathi., K. Natarajan., T. Saravanan., M. Bhaskaran., A. Bharathi., P. Natesan., and K. Malarkodi (eds.), Advances in science and technology, Vol.2. Quality seed production in vegetables. Agrobios, India.

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

Erik, T., David, N. and Orcutt, M. (1996) The Physiology of Plants Under Stress, Abiotic Factors, Wiley, 704pp.

Finch-Savage, W. E., Dent, K. C. and Clark, L. J. (2004) Soak conditions and temperature following sowing influence the response of maize (*Zea mays* L.) seeds to on-farm priming (pre-sowing seed soak). Field crops research 90: 361-374.

George, R. A. T. (2009) Vegetable seed production. 3nd ed. CABI Publishing. 329p.

Goda, H., Shimada, Y., Asami, T., Fujioka, S. and Yoshida, S. (2002) Microarray analysis of brassinosteroid-regulated genes in Arabidopsis, Plant Physiology 130: 1319–1334.

Grewal, H. S and Wiliams, R. (2000) Zinc nutrition effects alfalfa response to water stress and excessive moisture. Plant Nutrition 23: 942-962.

Haghighi, M., Afifipour, Z. and Mozafarian, M. (2012) The Effect of N-Si on Tomato Seed Germination under Salinity Levels. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 6(16): 87-90.

Haslett, B. S. Reid, R. J. and Rengel, Z. (2001) Zinc mobility in wheat: Uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. Annals of Botany 87: 379-386.

Hayat, S., Hasan, S. A., Yusuf, M., Hayat, Q. and Ahmad, A. (2010) Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and anti-oxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. Environmental and Experimental Botany 69: 105–112

Heath, R. L., Packer, L. (1968) "Photo peroxidation in isolated chloroplasts, I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation", Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.

Kaveh, H., Nemati, H., Farsi, M. and Vatandoost Jartoodeh, F. (2011) How Salinity Affect Germination and Emergence of Tomato Lines. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 5(15): 159-163.

Khripach V. A. Zhabinskii V. N. and Groot A. E. (1998) Brassinosteroids: A New Class of Plant Hormones.Acadamic press, United States of America 460 p.

Lee, D. H., Kim, Y. S. and Lee, C. B. (2001) The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Plant Physiology 158: 737-45.

Li L. and Van Staden J. (1998) Effects of plant growth regulators on drought resistance of two maize cultivars. The South African Journal of Botany 64(2): 116–120.

Lin-Dai, Q., Chen, C., Feng, B., Liu, T., Tian, X., Gong,Y., Sun, Y., Wang, J. and Du, S. (2009) Effects of different NaCl concentration on the antioxidant enzymes in oilseed rape (*Brassica napus* L.) seedlings. Journal of Plant Growth Regulation 59: 273-278.

MacAdam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp, R. E. (1992) Peroxidase Activity in the Leaf Elongation Zone of Tall Fescue. Plant Physiology 99:872-878.

Maia, J. M., Costa de Macedo, C. E., Voigt, E. L., Freitas, J. B. S. and Silveira, J. A. G. (2010) Antioxidative enzymatic protection in leaves of two contrasting cowpea cultivars under salinity. Biologia Plantarum 54:159–163.

Marschner, I. I. and Cakmak, I. (1986) Mechanism of phosphorus- induced zinc deficiency in cotton. II.Oh, K.

Ozdamir. F., Bor, M., Demiral, T. and Turkan, I. (2004) Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, prolin content and antioxidative system of rice (*Oriza sativa* L.) under salinity stress. Plant growth Regulation 42: 203-211.

Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on Plants. Ecotoxicology and environmental safety 60: 324-349.

Pessarakli, M. (1999) Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, Inc., New York.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

Prasad T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R. and Pradeep. T. (2012) Effect of Nano scale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition 35: 905-927.

Ramonell, K. M., Kuang, A., Porterfield, D. M., Crispi, M. L., Xiao, Y., Mc Clure, G. and Musgrave, M. E. (2001) Influence of atmospheric oxygen on leaf structure and starch deposition in Arabidopsis thaliana, Plant Cell and Environment 24: 419–428.

Romheld, V. and Marschner, H. (1991) Function of micronutrients in plants. In: Mortvedt, J. J., Shuman, L. M., Welch, R. M. (Eds), Micronutrients in Agriculture. Published by Soil Science Society America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp, 297-328.

Sasse J. M., Smith R. and Hudson I. (1995) Effects of 24-Epibrassinolide on germination of seed of *Eucalyptus camaldulensis* in saline conditions. Proc. Plant growth regulation society of America 22: 136–141.

Sasse, J. M. (1999) Physiological actions of brassinosteroids. In: Sakurai A., Yokota T. and Clouse S.D. (eds), Brassinosteroids: Steroidal Plant Hormones, Springer Verlag, Tokyo, pp. 137–161.

Schaller, H. (2003) The role of sterols in plant growth and development. Progrss in Lipid Research 42:163-175.

Schilling, G., Schiller, C. and Otto, S. (1991) Influence of brassinosteroid on organ retention and enzyme activities of sugar beet plants. In: Cutler HG, Yokota T and Adam G (Eds.), Brassinosteroids. Chemistry, bioactivity and applications. American Chemical Society,Washington DC, USA. Pp. 208-219.

Shahbaz, M., Ashraf, M. and Athar, H. (2008) Does exogenous application of 24-epibrassinolide ameliorate salt induced growth inhibition in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Growth Regulation 55: 51–64.

Singh, A. L., Basu, M. S. and Singh, N. B. (2004) Mineral Disorders of Groundnut. New Delhi, India: ICAR Publications.

Srivastava, A. and Handa, A. K. (2005) Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. Journal of Plant Growth Regulation 24, 67–82.

Steber, C. M., Mc Court, P. (2001) A role for brassinosteroids in germination in Arabidopsis. Plant Physiology 125(2): 763–769.

Talaat, N. B. and Shawky, B. T. (2013) 24-Epibrassinolide alleviates salt-induced inhibition of productivity by increasing nutrients and compatible solutes accumulation and enhancing antioxidant system in wheat (*Triticum aestivum* L.). acta physiologiae plantarum 35: 729–740.

Tavallali, V., Rahemi, M., Eshghi, S., kholdebarin, B. and Ramezanian, A. (2010) Zinc alleviates salt stressand increases antioxidant enzyme activity in theleaves of pistachio (*Pistacia vera* L. Badami) seedlings. Turkish Journal Agriculture Forestry 34(4): 349-359.

Thomas, J. C., McElwain, E. F., Bohnert, H. J. (1992) Convergent induction of osmotic stress responses. Plant Physiology 100: 416–423.

Vaidyanathan, R., Kuruvilla, S. and Thomas, G. (1999) Characterization and expression pattern of an abscisic acid and osmotic stress responsive gene from rice. Plant Science 140: 21–30.

Welch, R. M. (2001) Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. Plant Nutrition-Food Security and Dordrecht, Netherlands. pp. 284-258.

Wu, X. X., Ding, H. D., Zhu, Z. W., Yang, J., and Zha, D. (2012) Effects of 24-epibrassinolide on photosynthesis of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings under salt stress. African Journal of Biotechnology 11(35): 8665-8671.

Yamada, K., Asami, T. and Yoshizawa, Y. (2012) Synthesis of novel brassinosteroid biosynthesis inhibitors based on the ketoconazole scaffold. Bioorganic and MedicinalChemistry Letters 22(4): 1625-1628.

Yokota, T. and Takahashi, N. (1986) Conjugation of brassinosteroids. In "Conjugate d Plant Hormones. Structure, Metabolism and Function. Proceeding of the International Symposium " (K. Schreiber H. R. Schtitte, and G. Sembdner , Eds.), VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften , Berlin. pp. 288-296.

Zhang, F., Li, X., Wang, C. and Shen, Z. (2000) Effect of cadmium on autoxidation rate of tissue and inducing accumulation of free proline in seedling of *mung bean*. Journal of Plant Nutrition 23(3): 357- 368.

Zhang, S. S., Cai, Z. Y. and Wang, X. L. (2009) The primary signaling outputs of brassinosteroids are regulated by abscisic acid signaling. PNAS USA 106(11): 4543–4548.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]

Investigation of resistance to salinity stress in seeds produced from tomato plants sprayed with 24-epibrassinolide and nano-zinc oxide

Ahmad Javadi[1], Saeid Khomari[1*], Behrouz Esmaeilpour[2], Ali Asghari[1]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili
[2] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili
(Received: 19/10/2016, Accepted: 14/01/2017)

Abstract

In order to evaluate the effect of combined foliar spray of EBL+nZnO before flowering on quality of produced seeds and also the possibility of salt tolerance induction in seedlings, seed and seedling vigour test was conducted with presence of NaCl in growth medium. In this research, in addition to seed germination and seedling growth parameters of tomato, lipid peroxidation and activity of some antioxidative enzymes were also measured. The present experiment was carried out as factorial based on RCB design with three replications in Research Farm and Seed Technology Lab of faculty of Agriculture and Natural Resources in the University of Mohaghegh Ardabili in 2015.The experimental factors included 24-epibrassinolide (0, 0.8 and 1.6 mM), Nano-zinc oxide (0, 600 and 1200 ppm) and salinity stress (0, 50 and 100 mM NaCl). According to obtained results, salinity of 100 mM indicated the least percentage and rate of germination and seedling performance. Also, in the same stress level, significant decrease was observed in malondialdehyde content and considerable increases recorded in free proline amount and activity of catalase and peroxidase. In general, combined application of EBL (1.6mM) + nZnO (1200 ppm) significantly alleviated the deterrent impacts of salinity on all traits considered, except seed germination percent.

Keywords: Brassinosteroid, Salinity stress, Seed Quality, Tomato, Nano-zinc oxide

Saeid.khomari@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.13.8]