القای مقاومت به تنش شوری در بذرهای بدست آمده از بوته‌های گندم محلول‌پاشی شده با نانواکسید روی و آهن

مجید رستمی[۱]، احمد جوادی[۲]* و سید مجید حسینی‌زاده[۲]

[۱] **ایران، ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه زراعت، بخش فیزیولوژی گیاهان زراعی**

[۲] **ایران، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، بخش علوم و تکنولوژی بذر**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثرات محلول‌پاشی گیاه مادری با نانواکسید روی و آهن بر شاخص‌های سبز شدن بذر و رشد گیاهچه گندم در شرایط تنش شوری، آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. دراین پژوهش، علاوه بر شاخص‌های سبز شدن بذر و رشد گیاهچه گندم، برخی از پارامترهای بیوشیمیایی از قبیل محتوای پروتئین محلول، قندهای محلول، پرولین و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهچه اندازه‌گیری شد. تیمارهای آزمایش شامل نه سطح محلول‌پاشی (بدون محلول‌پاشی (شاهد)، نانواکسید آهن ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر ($NP\text{-}FeO_{750}$)، نانواکسید آهن ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ($NP\text{-}FeO_{1500}$)، نانواکسید روی۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر ($NP\text{-}ZnO_{750}$)، نانواکسید روی ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ($NP\text{-}ZnO_{1500}$)، $NP\text{-}FeO_{750} + NP\text{-}ZnO_{750}$، $NP\text{-}FeO_{1500} + NP\text{-}ZnO_{750}$ ،$NP\text{-}FeO_{750} + NP\text{-}ZnO_{1500}$ و $NP\text{-}FeO_{1500} + NP\text{-}ZnO_{1500}$) و سه سطح تنش شوری(۰، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بودند. نتایج نشان داد که، بذرهای گندم در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کم‌ترین درصد و سرعت سبز شدن و شاخص‌های رشدی گیاهچه را نشان داد. در همین سطح از تنش، غلظت قندهای محلول و پرولین آزاد گیاهچه بیش‌ترین و محتوای پروتئین محلول و کلروفیل‌های a و b کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص دادند. از سوی دیگر، محلول‌پاشی نانو اکسید روی و آهن در گیاه مادری گندم اثرات بازدارنده تنش شوری بر همه صفات مورد بررسی به‌جز درصد سبز شدن بذر، شاخص طولی قدرت و پروتئین‌های محلول را به‌طور معنی‌داری تعدیل نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های محیطی، کیفیت بذر، قدرت بذر، نانو ذرات

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۷۰۶۲۴۸۱، پست الکترونیکی: Ahmadjavadi55@gmail.com

مقدمه

گندم گیاهی است تک‌لپه و یکساله از تیره گندمیان و خانواده گرامینه که با اختصاص بیش از یک‌چهارم تولید جهانی غلات به‌عنوان مهم‌ترین غله در جهان مطرح می‌باشد (۷). در ایران، گندم در بیش از ۵ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی کشت می‌شود که مقدار تولید آن حدود ۱۱ میلیون تن است (۲۹). بنابراین باتوجه به رشد جمعیت کشور، جهان و کمبود کنونی غذا در سطح دنیا، بررسی تمامی راهکارهایی که سبب افزایش تولید و استفاده بهینه از گندم تولید شده می‌گردد، از موضوعات مهم و قابل‌توجه می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عواملی که عملکرد گیاهان زراعی ازجمله گندم را در شرایط مزرعه‌ای تعیین می‌کند، کیفیت توده‌های بذری است، بنابراین تولید و استفاده از بذرهای باکیفیت گندم از اهمیت بالایی برخوردار است. چراکه بذر حلقه اصلی تولید در کشاورزی

است و سرمایه‌گذاری‌های دیگر درنتیجه استفاده از بذور نامرغوب از بین می‌روند (۳۰).

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 (۱۹). اثرات نامطلوب تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر و استقرار آتی گیاهچه توسط محققان زیادی مورد تأیید قرارگرفته است (۱۲و ۲۷). به طوری‌که غلظت‌های بالای نمک موجب مهار کامل جوانه‌زنی بذر و سبزشدن گیاهچه می‌شود. دهقان شعار و همکاران (۳) معتقدند که عملکرد و کیفیت بذر تحت تأثیر شرایط رشد و نموی گیاه مادری قرار می‌گیرد. لذا تغذیه مناسب گیاه مادری با عناصر ضروری می‌تواند بر تولید بذرهای باکیفیت تأثیرگذار باشد. آهن و روی ازجمله عناصر ضروری موردنیاز گیاهان می‌باشند که در فعالیت‌های متابولیسمی مختلف گیاه اثرات مثبت قابل‌توجهی دارند (۳۲). باتوجه به آزمایش‌های خاکشناسی در ایران مشخص‌شده است که ۳۷ درصد اراضی گندم آبی ازنظر قابلیت دسترسی آهن، ۴۰ درصد ازنظر کمبود روی قابل‌جذب، مشکل‌دارند (۱۷). در این راستا چاکمک (۲۶) معتقد است محلول‌پاشی عنصر روی موجب افزایش غلظت روی در بذر می‌گردد، لذا افزایش غلظت عنصر روی در بذر می‌تواند موجب افزایش قوه نامیه بذر و استقرار بذر شود. از طرفی این افزایش در غلظت روی می‌تواند اثر منفی نمک کلرید سدیم را از طریق محدود نمودن جذب سدیم و کلر و یا انتقال آن در گیاه، کاهش دهد (۱۴). عنصر ریزمغذی روی نقش اساسی در متابولیسم گیاه و بیوسنتز پروتئین‌ها دارد و برای حفظ پیوستگی ساختار غشای سلول‌های ریشه نیز ضروری است (۳۲). از طرفی آهن ازجمله عناصر کم‌مصرف است که در واکنش گیاهان به شرایط محیطی و مقابله با عوامل تنش-زای محیطی مانند مقابله با سمیت فلزات سنگین، نور شدید و همچنین شوری اهمیت زیادی دارد (۱۰). این عنصر عاملی مؤثر در ترکیب ۱۴۰ آنزیم است که واکنش‌های بیوشیمیایی منحصر به فردی را کاتالیز می‌کند (۳۵). به‌نحوی‌که پژوهشگران معتقدند عنصر آهن در طیف وسیعی از فعالیت‌ها و واکنش‌ها مانند بیوسنتز کلروفیل و رنگدانه‌هایی مانند آنتوسیانین‌ها، انتقال الکترون فتوسنتزی و تنفسی، واکنش‌های اکسید-احیاء و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش دارد و برای رشد طبیعی و تولیدمثل گیاهان زراعی موردنیاز می‌باشد (۳۲و ۱۰). لذا کمبود آهن موجب زیان و آسیب رسیدن به کلروفیل و تخریب ساختار کلروپلاست می‌شود که در نتیجه‌ی آن زردی و رنگ پریدگی اندام‌های فتوسنتزی حاصل می‌گردد (۳۲). فتحی و زاهدی (۷) در مطالعات خود روی گیاه گندم گزارش نمودند که محلول‌پاشی نانواکسید آهن موجب کاهش اثرات سوء ناشی از تنش شوری گردید. گرچه اهمیت عناصر آهن و روی و سایر عناصر ریزمغذی در عملکرد گیاهان در سطوح سلولی و مولکولی به اثبات رسیده است، اما رسانش این عناصر در قالب مکمل و یا کود هم‌چنان با چالش روبه‌رو است. لذا با استفاده از نانو ذرات و نانو پودرها می‌توان کودهایی با رهایش کنترل شده یا تأخیری 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 تأثیر بیش‌تری خواهند داشت (۱). بطور کلی اثرات مثبت کاربرد عناصر غذایی ازجمله آهن و روی برای کاهش شدت خسارت تنش شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است. بااین وجود در بیشتر مطالعات تمرکز اصلی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه مادر بوده و تغییرات ایجاد شده در بذرهای تولید شده کمتر مورد بررسی قرارگرفته است. هدف از اجرای این پژوهش، افزایش کیفیت بذرهای گندم و در نتیجه القای قابلیت تحمل

گیاهچه‌های حاصل در شرایط تنش شوری بود، که این هدف از طریق محلول‌پاشی برگی نانو اکسید روی و نانو اکسید آهن دنبال گردید.

مواد و روشها

بذر گندم نان رقم میهن (*Triticum aestivum* L.) از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. آزمایش‌های مزرعه‌ای و گلخانه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه و گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل نه سطح محلول‌پاشی عناصر نانو اکسید روی و آهن (بدون محلول‌پاشی (NP-FeO_0 + NP-ZnO_0)، نانواکسید آهن ۷۵۰ پی‌پی‌ام (NP-FeO_{750} + NP-ZnO_0)، نانواکسید آهن ۱۵۰۰پی‌پی‌ام (NP-FeO_{1500} + NP-ZnO_0)، نانواکسید روی۷۵۰پی‌پی‌ام (NP-FeO0 + NP-ZnO750)، نانواکسید روی ۱۵۰۰پی‌پی‌ام (NP-FeO0 + NP-ZnO_{1500})، نانواکسید آهن ۷۵۰پی‌پی‌ام + نانواکسید روی ۷۵۰پی‌پی‌ام (NP-FeO_{750} + NP-ZnO_{750})، نانواکسید آهن ۱۵۰۰پی‌پی‌ام + نانواکسید روی ۷۵۰پی‌پی‌ام(NP-FeO_{1500} + NP-ZnO_{750})، نانواکسید آهن ۷۵۰پی‌پی‌ام + نانواکسید روی ۱۵۰۰پی‌پی‌ام (NP-FeO_{750} + NP-ZnO_{1500}) و نانواکسید آهن ۱۵۰۰پی‌پی‌ام + نانواکسید روی ۱۵۰۰پی‌پی‌ام (NP-FeO_{1500} + NP-ZnO_{1500})) و سه سطح تنش شوری (۰، ۷۵، ۱۵۰ میلی‌مولار) بود. نانو ذرات روی و آهن از شرکت سپهرپارمیس تهیه شد. اندازه ذرات نانواکسید روی به‌طور متوسط ۴۲/۳۹ نانومتر (در محدوده ۲۸/۷۷–۴۸/۵۴ نانومتر) و نانو اکسید آهن به‌طور متوسط ۴۲/۴۳ (در محدوده ۳۷/۸۵–۴۸/۵۴ نانومتر) بود. در آزمون تحمل شوری گیاهچه، از نمک NaCl (نمک غالب در خاک‌های شور) به‌منظور برقراری سطوح تنش استفاده گردید.

این پژوهش به‌صورت دو مرحله‌ی مزرعه‌ای و گلخانه‌ای به اجرا درآمد، بدین‌صورت که ابتدا بعد از تهیه و آماده‌سازی زمین موردنظر بذر گندم کشت گردید. هر کرت آزمایش شامل شش ردیف کشت با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ثابت ۴۵۰ بوته در مترمربع بود. محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن در مرحله قبل از ظهور سنبله با غلظت‌های مشخص انجام شد. دراین مرحله جهت بهبود جذب عناصر توسط گیاه مادری محلول‌پاشی با فاصله ۴۸ ساعت دو بار تکرار شد. برداشت نهایی بذرها در زمان رسیدگی کامل از دو خط وسط هر کرت پس از حذف نیم متر از بالا و پایین کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، صورت گرفت. سپس کیفیت توده بذری فرآوری شده با بررسی قابلیت سبز شدن بذر و رشد گیاهچه، از طریق آزمایش گلخانه‌ای در شرایط تنش شوری مورد مطالعه قرارگرفت. در آزمایش گلخانه‌ای، تعداد ۲۵ عدد بذر فرآوری شده گندم پس از ۱۰ دقیقه ضدعفونی سطحی با محلول یک درصد هیپوکلریت سدیم (بذرها بعد از اتمام ۱۰ دقیقه، چند مرحله با آب مقطر شستشو شدند) در هر گلدان کشت گردید. با شروع ظهور گیاهچه‌ها تعداد گیاهچه‌های سبز شده، هر ۲۴ ساعت یکبار شمارش شد. سرعت سبز شدن براساس معادله Ellis & Roberts (۲۸) اندازه‌گیری شد. ۳۰ روز پس از کاشت بذور در گلدان نمونه‌برداری از گیاهچه‌های گندم جهت بررسی اثرات تیمارهای مورد مطالعه روی گیاهچه‌ها صورت گرفت. در پایان آزمایش طول گیاهچه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. وزن خشک گیاهچه پس از قرارگیری نمونه‌های گیاهی در آون ۸۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت توسط ترازوی دیجیتال با دقت هزارم مورد ارزیابی قرارگرفت. شاخص طولی قدرت با استفاده از رابطه زیر تعیین شد:

طول گیاهچه × درصد ظهور گیاهچه = شاخص طولی قدرت

مقدار پروتئین کل جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته گیاهچه - گندم بااستفاده از معرف برادفورد به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری گردید. مقدار ۰/۱ گرم از نمونه برگی یا بذری

با یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار درون هاون چینی ساییده و پس از انتقال به میکرو تیوب با سرعت ۱۲۰۰۰rpm به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (Eppendorf 5702) گردید. از محلول شفاف رویی ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و به لوله‌های آزمایشی اضافه گردید که قبلاً به هرکدام مقدار ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد ریخته شده بود. پس از گذشت ۵ دقیقه از تثبیت رنگ محلول، قرائت در دمای آزمایشگاه و در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis (مدل ۲۱۰۰ یو وی ساخت یونیکو آمریکا) صورت گرفت. درنهایت، اعداد جذب با استفاده از رابطه به‌دست‌آمده از منحنی استاندارد غلظت‌های مختلف پروتئین خالص (BSA)، به‌صورت میلی‌گرم در گرم وزن‌تر گیاهچه ارائه شد (۲۵).

مقدار قند محلول جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته گیاهچه گندم براساس روش یم و ویلس (۴۱) تعیین گردید. هفتاد میلی‌گرم ماده خشک گیاهی در هاون ساییده و دو میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد افزوده شد. مخلوط حاصل در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم انکوبه گردید. در ادامه، نمونه‌ها با سرعت ۵۵۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Eppendorf 5702) شدند. این مرحله برای هر نمونه دو بار تکرار و رو شناور (سوپرناتانت) موجود در لوله‌ها تلفیق گردید. محلول حاصل با اتانول ۸۰ درصد به حجم شش میلی‌لیتر رسانده شد. سپس چهار میلی‌لیتر معرف آنترون به آن‌ها اضافه گردید و در حمام آبی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از سرد شدن سریع لوله‌های آزمایش در حمام یخ، قرائت جذب در طول‌موج ۶۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis (مدل UV2100 ساخت یونیکو آمریکا) انجام گردید. درنهایت، اعداد جذب بااستفاده از رابطه به دست آمده از منحنی استاندارد غلظت‌های مختلف گلوکز خالص، به‌صورت میلی‌گرم کربوهیدرات در گرم وزن خشک گیاهچه ارائه شد.

تعیین پرولین جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته گیاهچه گندم با استفاده از معرف نین‌هیدرین و به روش اسپکتروفتومتری صورت گرفت. مقدار ۰/۱ گرم بافت گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد سائیده و همگنای حاصل با سرعت ۱۰۰۰۰rpm در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (Eppendorf 5702) گردید. سپس، در لوله جداگانه دیگری، به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه شد. در ادامه لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته و پس از خارج شدن از بن ماری و اضافه کردن ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هرکدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردیدند. بعد از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis(مدل UV2100 ساخت یونیکو آمریکا) با طول‌موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری بعمل آمد (۲۴).

محتوای انواع کلروفیل برگ به روش آرنون (۲۲) تعیین شد. برای این منظور از نمونه‌های برگی گرفته‌شده از هر واحد آزمایشی، قطعات ۰/۱ گرمی از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته تهیه شد. سپس، نمونه‌های ۰/۱ گرمی با اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی له گردیدند. عصاره حاصل در ۳۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه سانتریفیوژ (Eppendorf 5702) شد و مقداری از رو شناور (Supernatant) (محلول شفاف رویی) به‌دست آمده درون کووت ریخته شد. در ادامه، میزان جذب محلول داخل کووت در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر ثبت گردید. سپس، به‌منظور محاسبه مقادیر کلروفیل‌های a و b از معادلات آرنون به شرح زیر استفاده شد:

$$\text{Chl a} = [(12.7 \times A663) - (2.69 \times A645)]$$

$$\text{Chl b} = [(22.9 \times A645) - (4.68 \times A663)]$$

پس از آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها (براساس آزمون شاپیرو–ویلک) و بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (طبق آزمون لون)، تجزیه‌ی واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار آماری SAS (VER 9.1) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و رسم شکل‌ها توسط برنامه Excel (VER 2013) انجام پذیرفت.

نتایج

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر محلول‌پاشی نانو اکسید روی و آهن (NP-FeO&NP-ZnO) و تنش شوری روی صفات درصد و سرعت سبز شدن، طول و وزن خشک گیاهچه، مقدار پروتئین، کربوهیدرات، پرولین آزاد و انواع کلروفیل برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل بین عوامل آزمایشی (محلول‌پاشی × شوری) بر سرعت سبز شدن، طول و وزن خشک گیاهچه، مقدار قندهای محلول، پرولین آزاد و کلروفیل‌های a و b برگ در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. از طرفی اثر متقابل عوامل آزمایش در مورد درصد سبز شدن، شاخص طولی قدرت و محتوای پروتئین محلول برگ گیاهچه گندم معنی‌دار نبود (جداول ۱ و۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانواکسید آهن و روی بربرخی ویژگی‌های مرتبط با سبز شدن بذر و رشد گیاهچه گندم تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		درصد سبز شدن	سرعت سبز شدن	طول گیاهچه	وزن خشک گیاهچه	شاخص طولی قدرت
بلوک	۳	۲/۰۷۴ ns	۰/۰۰۱۱ *	۵۷/۸۳۶ **	۰/۰۰۰۰۶ ns	۴۳/۹۵۶ **
محلول‌پاشی	۸	۴۱/۰۹۲ **	۰/۰۴۷۹ **	۸۹/۷۴۸ **	۰/۰۰۴۲ **	۱۱۹/۷۹۹ **
شوری	۲	۳۶۱/۱۴۸ **	۰/۴۷۶ **	۳۰۳/۹۲۵ **	۰/۰۲۷۹ **	۵۳۰/۳۱۹ **
محلول‌پاشی × شوری	۱۶	۱/۴۸۱ ns	۰/۰۰۱۳ **	۵/۲۰۵ **	۰/۰۰۰۳۸ **	۳/۷۷۷ ns
خطا	۷۸	۴/۶۶۳	۰/۰۲۶۶	۲/۲۵۷	۰/۰۰۰۰۲	۲/۳۵۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۳۷	۳/۷۲	۳/۹۲	۱/۷۶	۴/۴۰

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

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نانواکسید آهن و روی بربرخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه گندم تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		پروتئین محلول	قند محلول	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b
بلوک	۳	۳/۴۶۶ **	۰/۰۱۰۷ ns	۷۴۵۳۶/۵۴۹ **	۹۵۲۵۴/۵۱۸ **	۲۴۸۴۴/۱۸۴ **
محلول‌پاشی	۸	۲۳/۰۲۱ **	۰/۷۳۴ **	۳۴۷۱۰۹/۰۲۰ **	۵۲۹۳/۵۸۳ **	۱۳۸۰/۶۶۷ **
شوری	۲	۴۴/۵۲۷ **	۴/۸۹۷ **	۹۷۰۹/۷۷۶ **	۵۰۳۴/۵۶۰ **	۱۳۱۳/۱۰۸ **
محلول‌پاشی × شوری	۱۶	۰/۴۳۵ ns	۰/۰۶۶۶ **	۴۹۷/۴۱۹ **	۲۵۱/۶۳۷ **	۶۵/۶۳۱ **
خطا	۷۸	۰/۳۴۶	۰/۰۰۵۰	۷۸/۱۹۱	۹/۸۶۴	۲/۵۷۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۹/۳۹	۱/۶۳	۱/۳۷	۱/۶۷	۱/۶۷

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

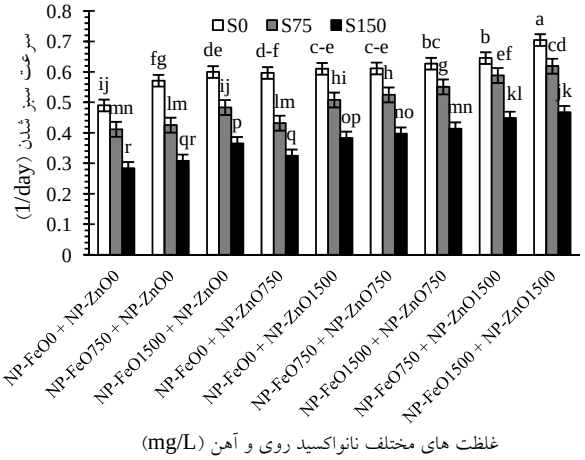
با افزایش شدت تنش شوری، درصد سبز شدن بذر، شاخص طولی قدرت و غلظت پروتئین‌های محلول گیاهچه گندم به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت، به طوری که کم‌ترین قابلیت سبز شدن، شاخص طولی قدرت و غلظت پروتئین در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار نمک NaCl مشاهده گردید. از سوی دیگر، درصد سبز شدن بذرهای حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده با نانواکسید روی و آهن و شاخص طولی قدرت و غلظت پروتئین‌های محلول گیاهچه‌های بدست آمده از این بذرها نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) افزایش چشم‌گیری نشان داد. بالاترین درصد

سبز شدن بذر، شاخص طولی قدرت و غلظت پروتئین‌های محلول گیاهچه به ترکیب تیماری NP-FeO_{1500} + NP-ZnO_{1500} و پایین‌ترین مقدار این صفات به ترکیب تیماری NP-FeO_0 + NP-ZnO_0 تعلق داشت (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده محلول‌پاشی و تنش شوری بر درصد سبز شدن بذر، شاخص طولی قدرت و پروتئین برگ گیاهچه گندم

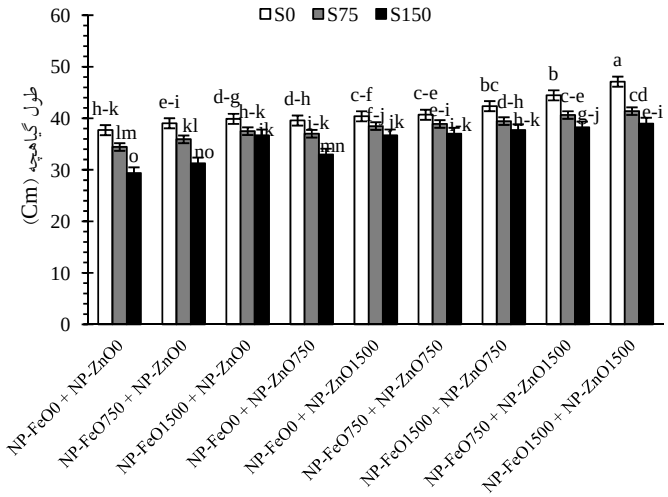
تیمارهای آزمایشی	سطوح تیماری	درصد سبز شدن (٪)	شاخص طولی قدرت	پروتئین محلول ($mg.g^{-1}F.W.$)
محلول‌پاشی برگی NP-FeO&NP-ZnO	NP-FeO_0 + NP-ZnO_0 (شاهد)	۸۷/۳۳ f	۲۹/۶۵g	۳/۹۹f
	NP-FeO_{750} + NP-ZnO_0	۸۹/۵۰ e	۳۱/۷۶f	۵/۴۰e
	NP-FeO_{1500} + NP-ZnO_0	۹۰/۰۰ de	۳۴/۲۶e	۵/۹۴cd
	NP-FeO_0 + NP-ZnO_{750}	۸۹/۸۳ de	۳۲/۸۶f	۵/۵۳de
	NP-FeO_0 + NP-ZnO_{1500}	۹۰/۵۰ de	۳۴/۹۰de	۶/۱۳c
	NP-FeO_{750} + NP-ZnO_{750}	۹۱/۳۳bcd	۳۵/۵۴ cd	۶/۳۱ c
	NP-FeO_{1500} + NP-ZnO_{750}	۹۲/۱۶ bc	۳۶/۷۷c	۶/۹۲b
	NP-FeO_{750} + NP-ZnO_{1500}	۹۲/۶۶ ab	۳۸/۱۵b	۷/۰۰b
	NP-FeO_{1500} + NP-ZnO_{1500}	۹۳/۳۳ a	۳۹/۷۴a	۹/۰۶a
$LSD_{5\%}$		۱/۷۵	۱/۲۴	۰/۴۷
تنش شوری	S_0	۹۳/۹۴ a	۳۸/۷۷ a	۷/۳۱ a
	S_{75}	۹۰/۶۶ b	۳۴/۶۷ b	۶/۳۶ b
	S_{150}	۸۷/۶۱ c	۳۱/۱۰ c	۵/۰۹bc
$LSD_{5\%}$		۱/۰۱	۰/۷۱	۰/۲۷

افزایش غلظت نمک NaCl در خاک گلدان‌ها، موجب تأخیر معنی‌داری در سبز شدن بذرهای گندم شد. غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار نمک کم‌ترین سرعت سبز شدن را در مقایسه با سطوح دیگر تنش به خود اختصاص داد. از طرف دیگر، اثر منفی تنش شوری بر سرعت سبز شدن بذرهای حاصل از بوته‌های محلول‌پاشی شده در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) تا حدودی رفع گردید، به طوری که توده بذری به دست آمده از بوته‌های محلول‌پاشی شده با غلظت‌های بالای نانو اکسید روی و نانو اکسید آهن سریع‌ترین سبز شدن را نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) در هر سه سطح تنش از خود نشان داد (شکل ۱).

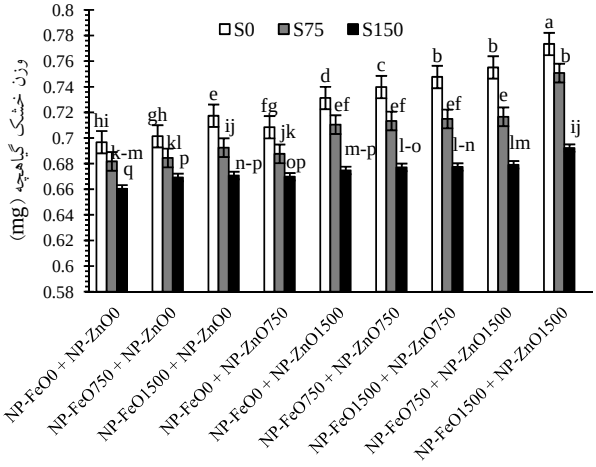


شکل۱- شاخص سرعت سبز شدن بذرهای گندم متأثر از محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

حضور نمک NaCl در بستر کشت گندم موجب تولید گیاهچه‌های کوتاه‌تر و سبک‌تری نسبت به محیط فاقد نمک گردید. با افزایش غلظت نمک، اثر بازدارندگی تنش شوری بر رشد گیاهچه‌های گندم شدت یافت. به طوری‌که غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد کم‌ترین طول و وزن خشک گیاهچه را به خود اختصاص داد. از طرف دیگر، محلول-پاشی با نانواکسید روی و آهن موجب حصول بذرهایی شد که در سطوح مختلف تنش شوری گیاهچه‌های طویل-تر و سنگین‌تری در مقایسه با توده بذری شاهد (آب مقطر) تولید کردند. غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی در ترکیب با غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید آهن طویل‌ترین و سنگین‌ترین گیاهچه را نسبت به تیمار شاهد داشت (شکل‌های ۲ و ۳).



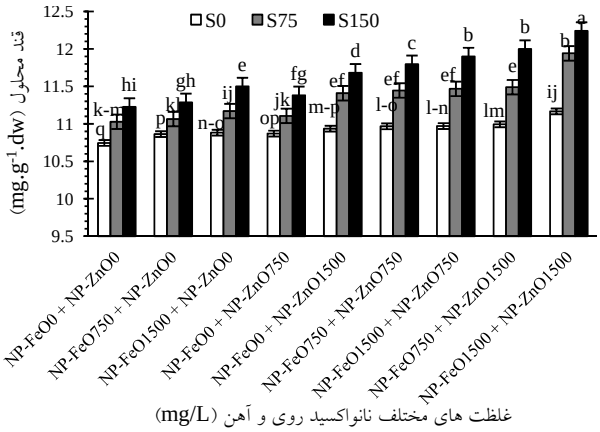
شکل۲- طول گیاهچه گندم متأثر از محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد



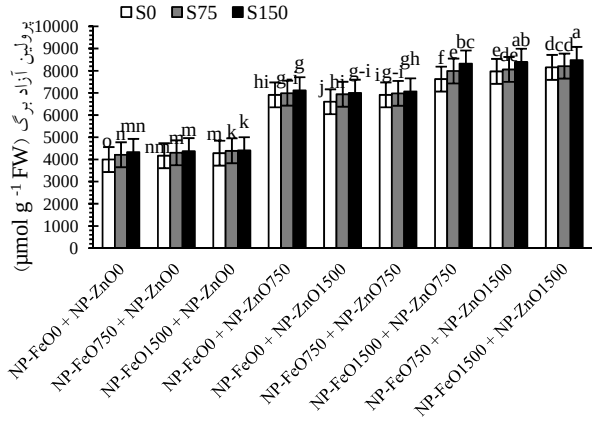
شکل۳- وزن خشک گیاهچه گندم متأثر از محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

میزان قند محلول برگ گندم در حضور نمک NaCl به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. به طوری که در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار حدود ۳/۵ درصد و در تنش ۱۵۰ میلی‌مولار حدود ۶ درصد نسبت به شاهد (عدم حضور نمک) افزایش در میزان قند محلول گیاهچه گندم ملاحظه گردید. از سوی دیگر توده‌های بذری به دست آمده از بوته‌های محلول-پاشی شده با نانواکسید روی و آهن، در شرایط تنش شوری گیاهچه‌هایی تولید نمودند که مقدار قند محلول آن-ها به‌شدت افزایش یافت. به طوری که محلول‌پاشی غلظت ۱۵۰۰پی‌پی‌ام نانواکسید روی همراه با غلظت ۱۵۰۰پی‌پی‌ام نانواکسید آهن در هر سه سطح شوری بیش‌ترین میزان قند محلول گیاهچه را به خود اختصاص دادند (شکل ۴).

افزایش شدت تنش شوری در بستر کشت بذرهای گندم موجب افزایش پرولین آزاد گیاهچه گردید. به طوری‌که در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار نمک NaCl، محتوای پرولین در حدود ۵ درصد نسبت به شاهد (عدم حضور نمک) افزایش نشان داد. در توده‌های بذری به دست آمده از بوته‌های محلول‌پاشی شده با ترکیب‌های غلظتی نانواکسید روی و آهن، روند صعودی میزان پرولین گیاهچه تحت تنش شوری مشهودتر بود. به نحوی که غلظت ۱۵۰۰پی‌پی‌ام نانواکسید روی همراه با غلظت ۱۵۰۰پی‌پی‌ام نانواکسید آهن در سطوح مختلف نمک بالاترین میزان پرولین گیاهچه را به خود اختصاص داد (شکل ۵).

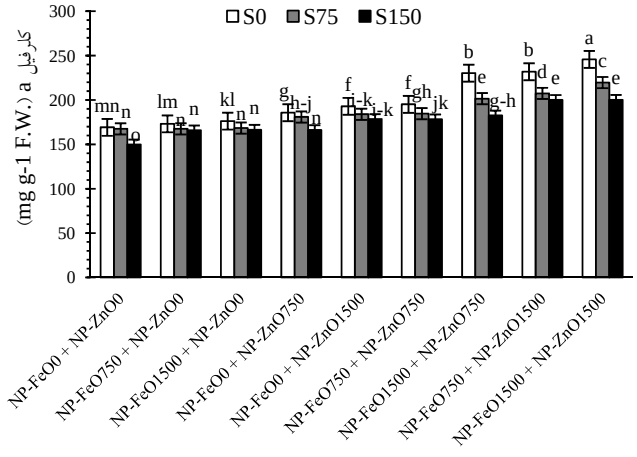


شکل۴- غلظت قند محلول گیاهچه گندم متأثر از محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

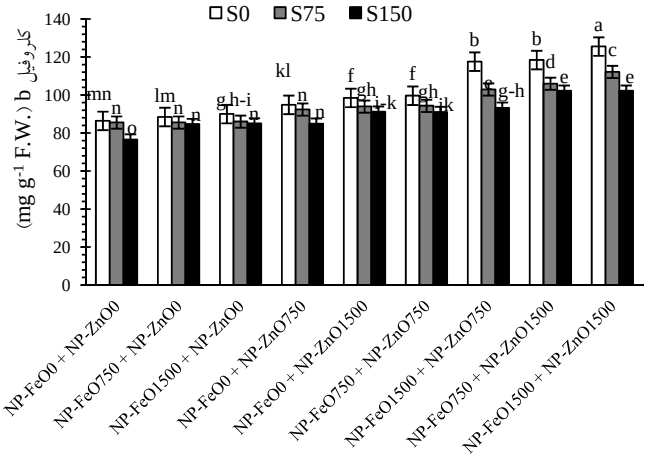


شکل۵- غلظت پرولین آزاد گیاهچه گندم متأثر از محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

محتوای کلروفیل‌های a و b برگ گیاهچه گندم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش شوری قرارگرفت و با افزایش غلظت نمک کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت. به طوری‌که سطح ۱۵۰ میلی‌مولار با کاهش حدود ۱۲ درصدی در محتوای کلروفیل a و b گیاهچه‌گندم 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 ازنظر کلروفیل‌های a و b از خود نشان دادند. چراکه تمامی ترکیب‌های غلظتی نانواکسید روی و آهن در سطوح مختلف تنش شوری کلروفیل‌های a و b بالاتری در مقایسه با شرایط عدم محلول‌پاشی (شاهد) داشتند. بالاترین مقدار کلروفیل‌های a و b برگ گندم در غلظت ۱۵۰۰پی‌پی‌ام نانواکسید روی همراه با غلظت ۱۵۰۰پی‌پی‌ام نانواکسید آهن در سطوح مختلف تنش شوری حاصل گردید (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل۶- محتوای کلروفیل a گیاهچه گندم متأثر از محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد



شکل۷- محتوای کلروفیل b گیاهچه گندم متأثر از محلول‌پاشی نانواکسید روی و آهن و تنش شوری. حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

بحث و نتیجه‌گیری

دراین پژوهش با افزایش شدت تنش شوری، شاخص‌های سبز شدن بذر (سرعت و درصد سبز شدن) و رشد گیاهچه‌ی گندم (طول و وزن خشک گیاهچه و شاخص طولی قدرت گیاهچه) کاهش معنی‌داری داشت. مطابق با نتایج این آزمایش محققان متعددی کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گندم را تحت تنش شوری گزارش نموده‌اند (۱۲و ۲۷). در واقع شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و کاهش یون‌های غذایی مورد نیاز نظیر کلسیم و پتاسیم بر جوانه‌زنی بذر و رشد آن‌ها تأثیر می‌گذارد (۲۰). در این راستا شمس‌الدین سعید و همکاران (۵) اعلام نمودند که تأثیر منفی کاهش پتانسیل و سمیت یونی ناشی از تنش شوری بر فرایندهای بیوشیمیایی مراحل کاتابولیک (هیدرولیز آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذر) و آنابولیک (ساخت بافت‌های جدید با استفاده از مواد هیدرولیز شده در مرحله اول) گیاه موجب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه می‌گردد. از طرفی در آزمایش حاضر، محلول‌پاشی عناصر روی و آهن در گیاه مادری موجب تولید بذرهایی شد که دارای مقاومت نسبی در برابر تنش شوری در مراحل اولیه حیات بودند. بطوری‌که استفاده از غلظت‌های ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نانواکسید روی و آهن به‌صورت همزمان باعث تولید بذرهایی گردید که در شرایط تنش شوری شاخص‌های سبز شدن و رشد گیاهچه بالاتری را نسبت به شاهد از خود نشان دادند. در این راستا با بررسی مطالعات پژوهشگران دیگر، مشاهده شد که استفاده از عناصر روی و آهن موجب بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (۲، ۱۶، ۳۶و ۳۷). بطور کلی افزایش غلظت روی در بذرها، آثار فیزیولوژیکی بسیار مهمی بر درصد جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه خواهد داشت (۳۷). به طوری‌که آلپاسلان و همکاران (۲۱) گزارش نمودند افزایش غلظت روی موجب تعدیل اثر منفی NaCl در گیاه می‌شود. 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. این اسیدآمینه حاصل واکنش بین ایندول و سرین می‌باشد، که عنصر روی با اثر مستقیم بر آنزیم تریپتوفان سنتتاز (آنزیم ضروری برای انجام واکنش بین ایندول و سرین) موجب افزایش سنتز اسیدآمینه تریپتوفان می‌گردد (۳۹و ۱۵)، و افزایش اسیدآمینه تریپتوفان درنهایت منجر به افزایش سنتز هورمون اکسین می‌شود (۴۰). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش اکسین ناشی از حضور عنصر روی می‌تواند توجیه قابل قبولی برای افزایش رشد گیاه و درنهایت افزایش طول و وزن خشک گیاهچه باشد. از طرفی باتوجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌توان اظهار داشت که، استفاده از عنصر آهن و روی، از طریق افزایش ترکیبات اسمولیت درون‌سلولی (پرولین آزاد و قندهای محلول) و کاهش پتانسیل درون گیاه که موجب بهبود جذب آب در شرایط شور می‌گردد اثرات مثبتی سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه دارد.

نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت نمک NaCl غلظت پروتئین‌های محلول برگ گندم بشدت کاهش پیدا کرد. همسو بااین نتایج، پژوهشگران متعددی کاهش محتوای پروتئین گیاهان مختلف را تحت تأثیر تنش شوری گزارش نمودند (۱۸و ۶). یکی از عواملی که در شرایط تنش‌های محیطی ازجمله تنش شوری موجب آسیب به سلول‌های گیاهی و جلوگیری از رشد گیاهان می‌شود، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد که موجب اکسیداسیون پروتئین‌ها، تغییرات آمینواسیدی و شکسته شدن زنجیره‌های پپتیدی می‌گردد (۱۸). بنابراین کاهش محتوای پروتئین گیاهچه‌های گندم در شرایط شور می‌تواند به دلیل هیدرولیز و یا کاهش سنتز پروتئین‌های محلول باشد. از سوی دیگر استفاده از نانواکسید روی و آهن

موجب افزایش غلظت پروتئین محلول گیاهچه‌های گندم شد. روی به‌عنوان یک عنصر ساختمانی در RNA پلی‌مراز در سنتز پروتئین‌ها نقش دارد و کاهش میزان پروتئین در گیاهان دارای کمبود روی نتیجه افزایش تجزیه RNA می‌باشد (۳۲). رودریگرز (۳۱) اعلام کرد که در شرایط کمبود روی میزان بالایی از RNAase وجود دارد. بنابراین می‌توان از وجود یک ارتباط مستقیم بین کاربرد روی و فعالیت RNAase و میزان پروتئین گیاه خبر داد. عنصر آهن نیز با حضور در ساختمان پروتئین‌های هِم و پروتئین‌های آهن-گوگرد (غیر هِم) بر تولید و متابولیسم پروتئین در گیاه تأثیر بسزایی دارد و در صورت کمبود این عنصر در گیاه متابولیسم پروتئین‌ها دچار اخلال می‌گردد (۱۳).

تشدید شوری خاک موجب افزایش قابل ملاحظه‌ای در غلظت پرولین آزاد و قندهای محلول گیاهچه گندم گردید. بطور کلی شوری خاک هنگامی ایجاد مشکل می‌کند که غلظت نمک‌های محلول خاک در ناحیه ریشه تا حدی بالا باشد که مانع از رشد بهینه گیاه گردد. کاتیون‌هایی که موجب ایجاد شوری می‌شوند شامل سدیم، کلسیم و منیزیم و آنیون‌ها شامل کلراید، سولفات و بی‌کربنات می‌باشند (۱۳). لذا شوری خاک با افزایش غلظت هرکدام از این ترکیبات در محیط اطراف ریشه نسبت به درون گیاه، باعث ایجاد حالت پژمردگی و نهایتاً کاهش شادابی و رشد می‌گردد، چرا که گیاه تا زمانی می‌تواند آب را جذب کند که پتانسیل آب آن پایین‌تر از محیط باشد (۳۴). معمولاً قسمت عمده‌ی تنظیم اسمزی در گیاه می‌تواند از طریق افزایش غلظت انواع مواد محلول رایج ازجمله اسیدهای آلی (مانند پرولین)، قندها و یون‌ها (بخصوص پتاسیم) تداوم یابد (۱۳). لذا به نظر می‌رسد افزایش تولید پرولین آزاد و قندهای محلول در حضور نمک NaCl، از طریق تداوم تنظیم اسمزی در بوته‌های گندم موجب کاهش اثرات سوء تنش شوری گردید. از طرفی استفاده از نانو اکسید روی و آهن موجب افزایش غلظت پرولین آزاد و قندهای محلول در بوته‌های گندم رشد یافته در خاک شور شد. فتحی امیر خیز و همکاران (۹) اعلام نمود که محلول‌پاشی عنصر آهن اسیدآمینه پرولین را در گیاه گلرنگ تحت تنش افزایش داد. همچنین محلول‌پاشی برگی عنصر روی و آهن موجب افزایش قند محلول در گیاهان مختلفی گردید (۴۲و ۳۳). این پژوهشگران اعلام نمودند که اثر مثبت روی بر محتوای قند محلول ناشی از نقش مهم آن در آنزیم‌های کلیدی در متابولیسم قندهای محلول است. بنابراین می‌توان اظهار داشت که برای جبران حداقل برخی از اثرات مضر تنش شوری، عنصر روی و آهن که نقش فزاینده‌ای در فرایند تنظیم اسمزی (به‌واسطه افزایش پرولین و قندهای محلول) ایفا می‌کنند می‌توانند در مقاومت به تنش شوری گیاه گندم مؤثر باشند.

دراین تحقیق با افزایش شدت تنش شوری، محتوای کلروفیل‌های a و b به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. پژوهشگران متعددی نیز اعلام کردند که تنش شوری سبب کاهش کلروفیل در برگ گندم شد (۴و ۱۱). در واقع تغییرات کلروفیل به‌عنوان یک واکنش کوتاه‌مدت به تنش در نظر گرفته می‌شود. بطوری که در تنش شوری، به علت افزایش بیش‌ازحد یون سدیم در گیاه، کلروفیل آسیب‌دیده و تخریب می‌گردد (۱۳). علاوه بر این به نظر می‌رسد که کاهش مقدار کلروفیل تحت تنش به‌واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنولی و درنتیجه تجزیه کلروفیل باشد (۲۳). کاربرد نانواکسید روی و آهن موجب بهبود اثرات سوء ناشی از تنش شوری ازنظر محتوای کلروفیل‌های a و b برگ گندم گردید. پورفوبیلینوژن (Porphobilinogen) پیش ماده کلروفیل می‌باشد که برای تشکیل این ماده منیزیم و روی مورد نیاز است، بنابراین در حضور روی تشکیل کلروفیل تسهیل می‌گردد (۳۸). لذا به نظر می‌رسد دلیل افزایش محتوای کلروفیل‌های a و b در برگ گندم تحت تأثیر عنصر روی نیز ناشی از همین اثر باشد. از طرفی کاهش کلروفیل (زردی برگ) آشکارترین نشانه کمبود آهن است. عوامل گوناگونی مسئول این کاهش هستند، که مستقیم‌ترین آن‌ها به نقش آهن در

ساختن کلروفیل مرتبط است. ماشنر (۳۲) عنوان نمود که ماده مشترک لازم برای ساختن کلروفیل و پروتئین هِم، اسید دلتا-آمینولوولینیک (δ-aminolevulinic acid) است که تشکیل آن توسط آهن مهار می‌شود. بنابراین افزایش کلروفیل برگ‌های گندم تحت تأثیر نانواکسید آهن می‌تواند به دلیل نقش این عصر در مسیر ساخت کلروفیل باشد.

در کل می‌توان از این پژوهش نتیجه‌گیری کرد که، بذرهای حاصل از بوته‌های گندم محلول‌پاشی شده با نانو اکسید روی و آهن قابلیت تحمل به تنش شوری بالایی را از خود نشان دادند. به طوری که در حضور نمک شاخص‌های سبز شدن و رشد گیاهچه در این بذرها نسبت به شاهد در سطح بالاتری بود. همچنین در سطوح مختلف شوری محتوای پرولین، قندهای محلول و کلروفیل‌های a و b گیاهچه حاصل از بذرهای بدست آمده از بوته‌های محلول-پاشی شده با نانواکسید روی و آهن نسبت به شاهد در سطح بالاتری بودند. درمجموع تمامی سطوح نانو اکسید روی و آهن در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) اثرات مثبتی در جهت تحمل به تنش شوری در مرحله سبز شدن از خود نشان دادند، اما بذرهای بدست آمده از بوته‌های محلول‌پاشی شده با غلظت‌های بالای نانواکسید روی و آهن به‌صورت همزمان (غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو اکسید روی+ ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام نانو اکسید آهن) از تحمل به تنش بالاتری برخوردار بودند. لذا باتوجه به نتایج حاصل، می-توان توصیه نمود که در مزارع تولید بذر گندم جهت تولید بذرهای باکیفیت بالا و قابلیت تحمل به تنش شوری گیاهچه‌های حاصل، از محلول‌پاشی برگی نانواکسید روی و آهن در غلظت‌های بهینه استفاده گردد.

منابع

۱- بی‌نام، فناوری نانو در کشاورزی، ۱۳۸۸. مجله کشاورزی و صنعت، شماره ۱۱۴، صفحات ۵۴-۶۵.

۲- جلیل‌شش‌بهره، م.، و موحدی دهنوی، م.، ۱۳۹۱. اثر محلول‌پاشی روی و آهن بر بنیه بذر سویا رشد کرده در شرایط تنش خشک، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، شماره ۵(۱)، صفحات ۱۹-۳۶.

۳- دهقان شعار، م.، حمیدی، آ.،و مبصر، ص.، ۱۳۸۴. شیوه‌های ارزیابی بنیه بذر، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذرونهال، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی، ۱۹۳ صفحه.

۴- رحیمی‌تشی، ط.، و نیکنام، و.، ۱۳۹۴. بررسی تأثیر پیش‌تیمار سالیسیلیک اسید بر برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم به تنش شوری. مجله پژوهش‌های گیاهی، شماره ۲۸(۲)، صفحات ۲۹۷-۳۰۶.

۵- شمس‌الدین سعید، م.، فرح‌بخش، ح.، و مقصودی مود، ع. ا.، ۱۳۸۶. اثرات تنش شوری بر جوانه‌زنی، رشد رویشی و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام کلزای پاییزه، مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، شماره ۴۱(۱۱)، صفحات ۱۹۱-۲۰۳.

۶- عطارزاده، م.، رحیمی، ا.، و ترابی، ب.، ۱۳۹۵. واکنش کلروفیل، محتوای نسبی آب و پروتئین برگ گلرنگ به تنش شوری و محلول‌پاشی کلسیم، پتاسیم و منگنز، نشریه علمی-پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، شماره ۳۷(۱)، صفحات ۲۸۲-۲۶۹.

۷- فتحی، ع. ل. و زاهدی، م.، ۱۳۹۳. تأثیر محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی بر رشد و محتوای یونی دو رقم گندم تحت تنش شوری، مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، شماره ۱۲(۴)، صفحات ۲۹۵-۳۰۴.

۸- فتحی، م.، دهستانی، ا.، و امیر فراهانی، ع.، ۱۳۸۷. آینده آب و غذا در جهان تا سال ۲۰۲۵، عبور از بحران (ترجمه)، موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۴۴۹ صفحه.

۹- فتحی‌امیرخیز، ک.، امینی دهقی، م.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، و حشمتی، س.، ۱۳۹۰. اثر کاربرد خاکی و برگی آهن بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ تحت دو رژیم رطوبت، مجله علوم گیاهان زراعی ایران، شماره ۴۲(۳)، صفحات ۵۰۹-۵۱۸.

۱۰- قاسمی، ر.، ناصری، پ.، و نوروزی، ح.، ۱۳۹۵. بررسی فعالیت ایزوزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز تحت شرایط تغذیه با منابع مختلف آهن در گیاه Aloe Vera، فرایند و کارکردهای گیاهی، شماره ۱۷(۵)، صفحات ۲۹-۴۰.

۱۱- قلی‌زاده، ا.، دهقانی، ح.، و دوراک، ج.، ۱۳۹۳. ارتباط بین محتوای کلروفیل برگ و عملکرد دانه تحت شرایط تنش شوری در گندم نان، علوم گیاهان زراعی، شماره ۴۵(۴)، صفحات ۶۳۸-۶۲۵.

۱۲- قلی‌نژاد، ا.، ۱۳۹۳. تأثیر سطوح مختلف شوری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ژنوتیپ های مختلف گندم، مجله پژوهش‌های گیاهی، ۲۷(۲)، صفحات ۲۸۷-۲۷۶.

۱۳- کافی، م.، برزوئی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع.، و نباتی، ج.، ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان، جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ اول، ۵۰۲ صفحه.

۱۴- کرملاچعب، ع.، و قرینه، م. ح.، ۱۳۹۲. تأثیر عنصر روی بر رشد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای در شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، شماره ۱۱(۳)، صفحات۴۵۳-۴۴۶ .

۱۵. ماستری فراهانی، آرزو. ۱۳۷۸. اثر حلال پروپانول بر ثابت اتوپروتولیز و ثابت های پروتونه شدن تریپتوفان. پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی فیزیک. دانشگاه شهید بهشتی. ۱۳۵ص.

۱۶- مددی، م.، خماری، س.، جوادی، ا.، و سفالیان، ا.، ۱۳۹۵. اثر پرایمینگ با نیترات کلسیم و نانو اکسید روی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه سیاه‌دانه تحت تنش شوری، مجله فرایند و کارکرد گیاهی، شماره ۱۵(۵)، صفحات ۱۷۹-۱۶۹.

۱۷- معتمد، ا.، ۱۳۸۴. اثر میزان کودهای روی، منگنز و آهن بر عملکرد کمی و کیفی گندم نان رقم پیشتاز، نهال و بذر، شماره ۱۲(۴)، صفحات ۶۳۴-۶۳۰.

۱۸- ویسانی، و.، سهرابی، ی.، حیدری، غ. ر.، سی و سه‌مرده، ع.، احمدی، ح.، و عباسی، ه.، ۱۳۹۲. تأثیر تنش شوری و کاربرد روی بر محتوای کلروفیل، پروتئین‌های محلول، رشد، عملکرد و مواد معدنی در گیاه سویا، فصلنامه علمی-پژوهشی گیاه و زیست‌بوم، شماره ۳۴، صفحات ۹۶-۷۵.

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

20- Alom, R., Hasan, M. A., Islam, M. R., and Wang, Q. F., 2016. Germination characters and early seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under salt stress conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 19(5), PP: 383-392.

21- 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, PP: 1-6.

22- Arnon, D. I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in Beta vulgaris. *Plant physiology*, 24(1), PP: 1-17.

23- Ashraf, M., and Harris, P. J. C., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance inplants. *Plant Science*, 166, PP: 3-16.

24- Bates, L. S., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies, *Plant Soil*, 39, PP: 205–207.

25- Bradford, M. M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), PP: 248-254.

26- Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic bio fortification? *Plant Soil*, 302, PP: 1-17.

27- Charushahi, V., Bargali, K., and Bargali, S. S., 2015. Influence of seed size and salt stress on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85(9), PP: 1134-7.

28- Ellis, R., and Roberts, E., 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 23, PP: 1-6.

29- FAO, 2015. FAO statistical database.

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

31. Gutierrez Rodriguez, M.N. 2016. Evaluation of secondary and micronutrients in Kansas (Doctoral dissertation, Kansas State University). 235p.

32. Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Third Edition. Academic press. 568p.

33- Mohamed, H. I., Elsherbiny, E. A., and Abdelhamid, M. T., 2016. Physiological and Biochemical Responses of Vicia Faba Plants to Foliar Application of Zinc and Iron. *Gesunde Pflanzen*, 68(4), PP: 201-212.

34- Munns, R., James, R. A., and Läuchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of

wheat and other cereals, *Journal of Experiment Botany*, 57, PP: 1025-1043.

35- Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., and Sakthi Kumar, D., 2010. Nanoparticulate material delivery to plants: Review. *Plant Science*, 179, PP: 154-163.

36- Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H. J., Sayers, Z., and Cakmak, I., 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum*, *128*(1), PP: 144-152.

37- 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, PP: 905-927.

38- Said-Al Ahl, H. A. H., and Mahmoud, A. A., 2010. Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress, *Ozean Journal of Applied Sciences* 3, PP: 97-111.

39- Singh, M., 1981. Effect of zinc, phosphorus and nitrogen on tryptophan concentration in rice grains grown on limed and unlimed soils, *Plant and Soil*, 62(2), PP: 305-308.

40. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. and Murphy, A. 2015. Plant physiology and development. Sinauer Associates, Incorporated. 623p.

41- Yemm, E. W., and Willis, A. J., 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemistry Journal*, 57(3), PP: 508-514.

42- Zhang, J., Wu, L. H., Kong, X. J., Li, Y. S., and Zhao, Y. D., 2006. Effect of foliar application of iron, zinc mixed fertilizers on the content of iron, zinc, soluble sugar and Vitamin C in green pea seeds. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 12, PP: 245-249.

Induction of resistance to salinity stress in the produced seeds of wheat after foliar application of nano-zinc oxide and nano- iron oxide

Rostami M.,[1] Javadi A.[2] and Hosseinizadeh S.M.[2]

[1] Faculty of Agriculture, University of Malayer, Malayer, I.R. of Iran

[2] University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I.R. of Iran

Abstract

In order to study the effect of foliar application of nano-zinc oxide (N-ZnO) and Nano Iron Oxide (N-FeO) on germination traits of produced seeds of wheat (Triticum aestivum L.) under salinity stress a factorial experiment was conducted based on completely randomized design with four replications. Experimental treatments were Foliar application (control, N-ZnO 750 mg/L, N-ZnO 1500 mg/L, N-FeO 750 mg/L, N-FeO 1500 mg/L, N-ZnO 750 mg/L+ N-FeO 750 mg/L, N-ZnO 750 mg/L+ N-FeO 1500 mg/L, N-FeO 750 mg/L+ N-ZnO 1500 mg/L and N-ZnO 1500 mg/L+ N-FeO 1500 mg/L) and three levels of salinity stress (0, 75, 150 mM NaCl). Based on the results the highest level of salinity stress resulted in lowest emergence rate, seedling emergence and seedling growth parameters of wheat. The highest concentration of soluble sugar and proline in wheat seedlings observed in salinity level of 150 mM NaCl, whereas as results of highest salinity stress protein content, chlorophyll a and chlorophyll b decreased. In general, simultaneous application of N-ZnO 1500 ppm+ N-FeO 1500 ppm significantly alleviated the negative effects of salinity stress on all of the studied traits, except seedling emergence, vigor index and protein content.

Key words: Environmental stresses, Seed quality, Seed vigor, Nano particles