

## تأثیر محلول پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی بر رشد و محتوای یونی دو رقم گندم تحت تنش شوری

علیرضا فتحی\* و مرتضی زاهدی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۴)

### چکیده

این آزمایش به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی اکسید آهن و روی به فرم معمول و نانو ذرات بر واکنش ارقام کویر و تجن گندم به سطوح مختلف شوری (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مرکز پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۹۰ انجام شد. در اثر شوری سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی کاهش و غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم افزایش یافت. در اثر محلول پاشی سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، راندمان فتوشیمیایی و غلظت آهن و روی افزایش ولی غلظت سدیم کاهش یافت. محلول پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی سبب افزایش بیشتر غلظت این عناصر در گیاه نسبت به فرم معمول آنها شد. افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در شرایط شور در رقم حساس تجن بیشتر از رقم مقاوم کویر بود. تأثیر مثبت محلول پاشی در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور بارزتر بود. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول پاشی اکسید آهن به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن به طور معنی داری بیشتر بود. واکنش مثبت رقم کویر به کاربرد نانو ذرات اکسید آهن از نظر غلظت آهن در اندام هوایی بیشتر از رقم تجن بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی اکسید آهن و روی به فرم نانو ذرات در مقایسه با فرم معمول آن تأثیر مثبت بیشتری بر رشد گندم دارد، با این حال کاربرد آهن و روی به فرم نانو ذرات نسبت به کاربرد آنها به فرم معمول از نظر تعدیل اثرات شوری مزیتی نداشت.

واژه‌های کلیدی: شوری، گندم، محلول پاشی، نانو ذرات

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: alireza\_fathi87@yahoo.com

## مقدمه

شور شدن زمین‌های کشاورزی به علت روش‌های فشرده خاک ورزی و آبیاری یکی از عوامل مهم در کاهش تولید محصولات زراعی به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک می‌باشد. در این مناطق مشکل شوری به علت کمبود بارندگی، درجه حرارت بالا و میزان تبخیر زیاد تشدید می‌شود (۱۰). در شرایط شور پتانسیل آب محلول خاک از پتانسیل آب گیاه منفی‌تر است، لذا توانایی گیاه برای جذب آب کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، در شرایط شور یون‌های سمی سدیم و کلر در سطوح بالا وارد جریان تعرقی گیاه شده و به سلول‌های برگ‌های در حال تعرق خسارت وارد می‌نمایند و از این طریق نیز موجب کاهش رشد گیاه می‌شوند (۳).

گندم از جمله گیاهان زراعی به نسبتاً مقاوم به شوری است که آستانه کاهش عملکرد آن در اثر شوری حدود ۶ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شده است (۱). در مطالعه قربانی و همکاران (۷) سطوح شوری معادل ۸/۷ و ۱۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ، ساقه و اندام هوایی، تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد دانه گندم گردید. ماس و همکاران (۱۴) نشان دادند، هرگاه شوری آب در خاک از ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر شود تعداد پنجه‌های اولیه و ثانویه در گندم به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. مظفر و گودین (۱۷) با بررسی اثرات نمک‌های مختلف بر رشد دو رقم حساس و متحمل به شوری گندم، دریافتند که نه تنها حساسیت ارقام به نمک‌های مختلف متفاوت است، بلکه مراحل رشدی نیز واکنش‌های مختلفی به نوع نمک نشان می‌دهند.

تغییر محتوا و نسبت یونها در گیاهان تحت تنش شوری در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۵). تنش شوری باعث افزایش غلظت سدیم و کاهش غلظت پتاسیم و در نتیجه کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه می‌شود. بر این اساس، یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به شوری حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم می‌باشد که از طریق توانایی گیاه در جذب فعال پتاسیم و جلوگیری از ورود سدیم به ریشه

حاصل می‌شود. سریواستاوا (۲۳) در مطالعه‌ای بر روی گندم، تربیتکاله و جو گزارش کردند که شوری تجمع سدیم در گیاهچه همه ژنوتیپ‌ها را به بیش از دو برابر افزایش داد، از طرفی جذب سایر عناصر مثل کلسیم و منیزیم کاهش یافت. فلاورز و همکاران (۶) گزارش کردند که مقادیر بالای یون پتاسیم در غلظت‌های بالای نمک برای گیاه یک مزیت است و می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای انتخاب گیاهان از نظر تحمل به شوری به کار رود.

حلالیت عناصر کم نیاز نظیر آهن، منگنز، مس، روی و مولیبدن در خاک‌های شور پایین بوده و گیاهان اغلب از نظر عناصر فوق دچار کمبود می‌باشند. کاکماک و همکاران (۵) گزارش نمودند کمبود روی در گیاهان مناطق خشک و نیمه خشک به ویژه خاک سطحی که معمولاً شور و دارای کمبود آب هستند، اتفاق می‌افتد. تغذیه برگی یکی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم مصرف است (۹). خوشگفتارمنش و همکاران (۱۳) طی بررسی روی-کارایی ۵ رقم گندم در خاک آهکی گزارش نمودند که کوددهی روی، تولید دانه را در تمامی ارقام گندم مورد مطالعه افزایش داد. در مطالعه صدری و ملکوتی (۲۰) با مصرف سولفات روی، سوکستین آهن و سولفات مس علاوه بر افزایش ۲۰ درصدی عملکرد، غلظت آهن، روی و مس نیز در دانه گندم افزایش یافت. در آزمایش همانتارنجان و گری (۹) کاربرد عناصر آهن و روی در زراعت گندم، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح را افزایش داد.

نتایج مطالعات بسیاری حاکی از آن است که مصرف عناصر غذایی کم مصرف می‌تواند مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی همچون خشکی و شوری را افزایش دهد (۱۸). هیو و اشمیت هاتر (۱۱) گزارش نمودند که با مصرف عناصر کم مصرف میزان تحمل گندم به شرایط شور افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه بای بوردی (۴) نیز کاربرد عناصر آهن، منگنز، روی و مس در کاهش اثرات تنش شوری بر گندم

بوته نگهداری شد. آبیاری گلدانها به منظور حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی هر روز یکبار انجام شد. محلول غذایی نیترات پتاسیم در غلظت ۲ در هزار در مرحله ۲ برگی و به میزان ۵۰۰ سی سی به هر گلدان اضافه شد. پودر حاوی نانو ذرات اکسید روی و اکسید آهن با میانگین قطر ذرات ۱۰ تا ۳۰ نانومتر (US-Nano) مورد استفاده قرار گرفت. تیمارهای شوری دو هفته پس از سبز شدن گیاهان (مرحله ۴ برگ حقیقی) اعمال شدند. برای جلوگیری از شوک اسمزی اعمال تیمارهای شوری به تدریج و طی چهار مرحله انجام شد. محلول پاشی اکسید آهن و اکسید روی با غلظت ۲ در هزار در سه مرحله، یک هفته، دو هفته و سه هفته پس از اعمال تنش شوری انجام شد. جهت جلوگیری از سوختگی برگها، محلول پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. گیاهان دو هفته پس از مرحله سوم محلول پاشی برداشت شدند.

در این آزمایش صفات سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، کارایی فتوشیمیایی (Fv/Fm) و غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، روی و آهن در اندام هوایی اندازه گیری شدند. سطح برگ توسط دستگاه اندازه گیری سطح برگ (مدل LI-3000A, USA)، کارایی فتوشیمیایی توسط دستگاه فلورومتر (مدل OS-30p)، غلظت عناصر سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه شعله سنج (مدل 410-Corning) و غلظت آهن و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin-Elmer 3030) اندازه گیری شدند. داده های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگینها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

### نتایج و بحث

تأثیر شوری بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، راندمان فتوشیمیایی، غلظت سدیم، پتاسیم، آهن و روی و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). به طوری که سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، راندمان

به طور معنی داری مؤثر بود.

امروزه فناوری نانو در کلیه عرصه ها از جمله کشاورزی در حال گسترش می باشد. نانو ذرات دارای ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که ویژگی های متفاوتی نسبت به فرم اولیه خود دارند (۱۶). به تازگی مطالعه تأثیر تغذیه عناصر مورد نیاز به فرم نانو ذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی نیز در این رابطه بدست آمده است. برای مثال، پیوندی و همکاران (۱۹) با بررسی تأثیر نانو کلات آهن بر گیاه ریحان دریافتند که نانو کلات آهن در مقایسه با کلات آهن معمول تأثیر مثبت بیشتری بر رشد کمی و کیفی این گیاه دارد. در رابطه با تأثیر اکسید آهن و روی به فرم نانو ذرات بر رشد و واکنش گندم به تنش شوری اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. لذا، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول پاشی اکسید آهن و روی به فرم معمول و نانو ذرات بر خصوصیات رشدی و محتوای یونی دو رقم گندم تحت تنش شوری انجام شد.

### مواد و روش ها

این آزمایش در فضای باز مرکز پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان با استفاده از دو رقم گندم متحمل (کویر) و حساس به شوری (تجن) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار در بهار و تابستان سال ۱۳۹۰ انجام شد. در این آزمایش تأثیر شش تیمار محلول پاشی (اکسید آهن، اکسید روی، نانو اکسید آهن، نانو اکسید روی، مخلوط نانو اکسید آهن و نانو اکسید روی و شاهد بدون محلول پاشی) و سه سطح شوری (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) بر ارقام گندم مورد مطالعه قرار گرفت. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ ثبت شده است.

کاشت گیاهان در تاریخ اول اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۰ در گلدان های ۱۰ لیتری و در داخل خاک به عمق ۳ سانتی متر انجام شد. ابتدا تعداد ۱۰ بذر در هر گلدان کشت گردید و در مرحله ۲ برگ حقیقی، بوته های اضافی حذف و در هر گلدان ۵

جدول ۱. مشخصات خاک مورد استفاده

بافت خاک	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	نیترژن کل (%)	غلظت فسفر (ppm)	غلظت پتاسیم (ppm)	غلظت آهن (ppm)	غلظت روی (ppm)
لومی	۷/۸	۲/۱	۰/۱۵	۱۵/۶	۱۱۰	۰/۱۸	ناچیز

به هر دو فرم موجب افزایش معنی‌دار غلظت روی در اندام هوایی گردید. با این حال، تأثیر محلول‌پاشی اکسید آهن بر غلظت روی در اندام هوایی و تأثیر محلول‌پاشی اکسید روی بر غلظت آهن در اندام هوایی معنی‌دار نبود. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول‌پاشی اکسید آهن به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن به طور معنی‌داری بیشتر بود. غلظت روی در اندام هوایی نیز در اثر محلول‌پاشی اکسید روی به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن بیشتر بود، ولیکن اختلاف این دو فرم عنصر از نظر آماری معنی‌داری نشد. این نتایج نشان می‌دهد که از نظر تجمع آهن و روی در گیاه در این آزمایش واکنش مثبت گندم به فرم نانو ذرات اکسید آهن بیشتر از واکنش آن به نانو ذرات اکسید روی بوده است.

اختلاف ارقام از نظر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، غلظت پتاسیم و آهن در اندام هوایی و نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، غلظت پتاسیم در اندام هوایی، نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی و غلظت آهن در اندام هوایی رقم کویر به ترتیب ۱۱/۲۸ سانتی‌متر مربع، ۳/۱۲ گرم، ۱۶/۹۸ میلی‌گرم در گرم ماده خشک گیاه، ۰/۳۱ و ۷۳۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم ماده خشک گیاه و در رقم تجن به ترتیب ۹/۰۵، ۳/۳۷، ۱۱/۱۸، ۰/۶۶ و ۴۲۵ بود (جدول ۳).

اثر متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک ریشه و غلظت پتاسیم در اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین کاهش سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و غلظت پتاسیم در شرایط شور برای رقم تجن

فتوشیمیایی و غلظت پتاسیم، آهن و روی در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار به ترتیب ۱۷، ۳۵، ۳۲، ۷، ۳۰، ۴۳ و ۳۶ درصد و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳۰، ۴۸، ۵۳، ۱۵، ۴۶، ۶۴ و ۵۷ درصد نسبت به تیمار غیرشور کاهش یافتند (جدول ۳). غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار به ترتیب ۰/۹۲ و ۲/۵۸ برابر و در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ۲/۰۱ و ۶/۴۱ برابر افزایش یافت. در مطالعه کافی (۱۲) در رابطه با بررسی تنش شوری بر ده رقم گندم نیز سطح برگ مؤثر و وزن خشک اندام هوایی همراه با افزایش سطح شوری کاهش یافت. در مطالعه عزیزپور و همکاران (۲) راندمان فتوشیمیایی در ژنوتیپ‌های گندم بهاره در اثر تنش شوری بطور متوسط حدود ۷ درصد کاهش یافت. افزایش محتوای سدیم در اندام های هوایی و ریشه گندم با افزایش شوری توسط حمدا (۸) و نیز سایر همکاران (۲۱) گزارش شده است. در مطالعه هو و اشمید هاتر (۱۱) و خوشگفتارمنش و همکاران (۱۳) غلظت آهن و روی در اندام هوایی گندم در اثر شوری کاهش یافت.

تأثیر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر کارایی فتوشیمیایی، غلظت آهن و غلظت روی در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و غلظت سدیم در اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور کلی سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و راندمان فتوشیمیایی در تیمارهای محلول‌پاشی شده نسبت به تیمار شاهد محلول‌پاشی نشده به ترتیب ۹، ۱۳ و ۱۸ درصد افزایش و غلظت سدیم در اندام هوایی ۱۹ درصد کاهش یافت (جدول ۳). محلول‌پاشی اکسید آهن به هر دو فرم معمول و نانو ذرات موجب افزایش معنی‌دار غلظت آهن و محلول‌پاشی اکسید روی

جدول ۲. تجزیه واریانس میانگین مربعات سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، راندمان فتوسنتزی، غلظت سدیم، پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی ارقام گندم

میانگین مربعات										
روى	آهن	نسبت سدیم به پتاسیم	پتاسیم	سدیم	راندمان فتوسنتزی	ریشه خشک	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک برگ	درجه آزادى	منابع تغییرات
۲۴۶۱۲**	۱۴۱۸۱۰۷**	۰/۳۲**	۱۳۲*	۶۳۳۸**	۰/۷۱**	۰/۳۳**	۵/۶۲**	۲۲/۰۹**	۳	بلوک
۷۱۱ <sup>NS</sup>	۳۳۳۶۰۰۱ <sup>NS</sup>	۴/۴۰**	۱۲۱۳**	۱/۰۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۲*	۰/۰۰۳ <sup>NS</sup>	۲۲/۲۰*	۱۷۷/۰۵**	۱	رقم
۴۴۸۱۵**	۴۲۲۶۶۰۵**	۷/۰۸**	۹۶۰**	۲۷۱/۸۰**	۰/۱۵**	۲/۳۵**	۶۵/۷۴**	۱۶۹/۴۶**	۲	شورى
۹۰۶۸۰**	۵۸۷۷۹۸۲**	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۹۳ <sup>NS</sup>	۴/۵۶*	۰/۰۵**	۰/۰۱ <sup>NS</sup>	۱/۱۹*	۶/۵۴*	۵	محلول پاشى
۶۵/۸۷ <sup>NS</sup>	۸۱۱۸۲ <sup>NS</sup>	۱/۸۶**	۶۲/۵۲*	۲/۰۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۵*	۱۳/۵۷**	۹۰/۶۱**	۲	رقم×شورى
۵۹/۸۱ <sup>NS</sup>	۴۳۲۷۶۲**	۰/۰۱ <sup>NS</sup>	۰/۴۰ <sup>NS</sup>	۰/۶۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۴ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۹۴*	۱/۲۲ <sup>NS</sup>	۵	رقم×محلول پاشى
۵۱۶۹*	۴۶۵۵۸۳**	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۳/۱۹ <sup>NS</sup>	۱/۸۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۳ <sup>NS</sup>	۱/۱۵**	۴/۰۷ <sup>NS</sup>	۱۰	شورى×محلول پاشى
۱۰۸ <sup>NS</sup>	۱۵۹۵۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۳ <sup>NS</sup>	۲/۱۳ <sup>NS</sup>	۰/۵۶ <sup>NS</sup>	۰/۰۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۲ <sup>NS</sup>	۰/۶۴ <sup>NS</sup>	۰/۹۳ <sup>NS</sup>	۱۰	رقم×شورى×محلول پاشى
۱۰۶۴	۵۳۰۸۴	۰/۰۵	۱۴/۷۲	۱/۷۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۳	۲/۶۹	۱۰۵	خطا

\* و \*\*: به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، <sup>NS</sup> بیانگر معنی دار نبودن

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، غلظت سدیم، پتاسیم، نسبت سدیم به پتاسیم، آهن و روی در اندام هوایی ارقام گندم

عوامل آزمایشی	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	راندمان	mg g <sup>-1</sup> DW			نسبت سدیم به پتاسیم	آهن	روی
					سدیم	پتاسیم	نسبت سدیم به پتاسیم			
	cm <sup>2</sup>	g	g	فتوشیمیایی	mg g <sup>-1</sup> DW	mg g <sup>-1</sup> DW				
تجن	۹/۰۵ <sup>b</sup>	۰/۵۸ <sup>a</sup>	۳/۳۷ <sup>a</sup>	۰/۶۶ <sup>a</sup>	۴/۷۷ <sup>a</sup>	۱۱/۱۸ <sup>b</sup>	۰/۶۶ <sup>a</sup>	۴۲۵ <sup>a</sup>	۷۱/۹۱ <sup>a</sup>	
کویبر	۱۱/۲۸ <sup>a</sup>	۰/۵۹ <sup>a</sup>	۳/۱۲ <sup>b</sup>	۰/۶۷ <sup>a</sup>	۴/۵۹ <sup>a</sup>	۱۶/۹۸ <sup>a</sup>	۰/۳۱ <sup>b</sup>	۷۳ <sup>b</sup>	۷۶/۳۶ <sup>a</sup>	
شوری (میلی مولار)										
۰	۱۲/۱۶ <sup>a</sup>	۰/۸۲ <sup>a</sup>	۴/۵۳ <sup>a</sup>	۰/۷۳ <sup>a</sup>	۲/۳۶ <sup>c</sup>	۱۸/۹۴ <sup>a</sup>	۰/۱۲ <sup>c</sup>	۹۰۳ <sup>a</sup>	۱۰۷ <sup>a</sup>	
۷۵	۹/۹۱ <sup>b</sup>	۰/۵۲ <sup>b</sup>	۲/۹۶ <sup>b</sup>	۰/۶۷ <sup>b</sup>	۴/۵۵ <sup>b</sup>	۱۳/۱۷ <sup>b</sup>	۰/۴۳ <sup>b</sup>	۵۱ <sup>b</sup>	۶۸/۸۳ <sup>b</sup>	
۱۵۰	۸/۴۳ <sup>c</sup>	۰/۳۸ <sup>c</sup>	۲/۷۵ <sup>c</sup>	۰/۶۱ <sup>c</sup>	۷/۱۲ <sup>a</sup>	۱۰/۱۴ <sup>c</sup>	۰/۸۹ <sup>a</sup>	۳۲ <sup>c</sup>	۴۶/۵۸ <sup>c</sup>	
محلول پاشی										
شاهد	۹/۳۷ <sup>b</sup>	۰/۵۴ <sup>b</sup>	۲/۹۲ <sup>b</sup>	۰/۵۸ <sup>c</sup>	۵/۵۴ <sup>a</sup>	۱۳/۸۴ <sup>a</sup>	۰/۵۵ <sup>a</sup>	۱۳۷ <sup>c</sup>	۱۷/۵۰ <sup>c</sup>	
اکسید آهن	۱۰/۰۹ <sup>ab</sup>	۰/۵۹ <sup>ab</sup>	۳/۵ <sup>a</sup>	۰/۶۶ <sup>b</sup>	۴/۴۱ <sup>b</sup>	۱۴/۳۳ <sup>a</sup>	۰/۴۶ <sup>ab</sup>	۹۸۵ <sup>b</sup>	۱۹/۵۰ <sup>c</sup>	
اکسید روی	۹/۹۴ <sup>ab</sup>	۰/۵۹ <sup>ab</sup>	۳/۱۷ <sup>ab</sup>	۰/۶۸ <sup>a</sup>	۴/۳۷ <sup>b</sup>	۱۴/۱۷ <sup>a</sup>	۰/۴۷ <sup>a</sup>	۱۱۹ <sup>c</sup>	۱۲۹ <sup>ab</sup>	
نانو اکسید آهن	۱۰/۱۲ <sup>ab</sup>	۰/۵۹ <sup>ab</sup>	۳/۵ <sup>a</sup>	۰/۷۰ <sup>a</sup>	۴/۵۴ <sup>b</sup>	۱۳/۹۳ <sup>a</sup>	۰/۴۵ <sup>a</sup>	۱۱۶ <sup>c</sup>	۱۸/۳۳ <sup>c</sup>	
نانو اکسید روی	۱۰/۶۱ <sup>a</sup>	۰/۵۹ <sup>ab</sup>	۳/۱۵ <sup>ab</sup>	۰/۶۹ <sup>a</sup>	۴/۶۷ <sup>b</sup>	۱۳/۹۷ <sup>a</sup>	۰/۴۹ <sup>a</sup>	۱۳۸ <sup>c</sup>	۱۴۱ <sup>a</sup>	
مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۱۰/۸۵ <sup>a</sup>	۰/۶۳ <sup>a</sup>	۳/۲۵ <sup>ab</sup>	۰/۷۰ <sup>a</sup>	۴/۵۵ <sup>b</sup>	۱۴/۲۶ <sup>a</sup>	۰/۴۷ <sup>a</sup>	۹۲ <sup>b</sup>	۱۱۸ <sup>b</sup>	

در هر ستون و برای هر صفت تفاوت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، غلظت پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم ارقام گندم

شوری	رقم	سطح برگ (cm <sup>2</sup> )	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	پتاسیم (mg g <sup>-1</sup> DW)	نسبت سدیم به پتاسیم
صفر	تجن	۱۲/۴۶ <sup>a</sup>	۵/۲۴ <sup>a</sup>	۰/۴۴ <sup>a</sup>	۱۷/۱۸ <sup>ab</sup>	۰/۱۳ <sup>c</sup>
	کویر	۱۱/۸۶ <sup>a</sup>	۳/۸۳ <sup>b</sup>	۰/۴۱ <sup>a</sup>	۲۰/۷۰ <sup>a</sup>	۰/۱۲ <sup>c</sup>
۷۵	تجن	۸/۷۲ <sup>b</sup>	۲/۹۶ <sup>c</sup>	۰/۲۹ <sup>b</sup>	۱۰/۲۷ <sup>cd</sup>	۰/۵۶ <sup>b</sup>
	کویر	۱۱/۱۰ <sup>a</sup>	۲/۹۶ <sup>c</sup>	۰/۲۹ <sup>b</sup>	۱۶/۰۷ <sup>b</sup>	۰/۳۱ <sup>bc</sup>
۱۵۰	تجن	۵/۹۸ <sup>c</sup>	۱/۹۱ <sup>d</sup>	۰/۱۷ <sup>c</sup>	۶/۰۹ <sup>d</sup>	۱/۲۸ <sup>a</sup>
	کویر	۱۰/۸۷ <sup>a</sup>	۲/۵۸ <sup>cd</sup>	۰/۲۲ <sup>c</sup>	۱۴/۱۸ <sup>bc</sup>	۰/۴۹ <sup>b</sup>

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقم و محلول پاشی بر وزن خشک اندام هوایی و غلظت آهن ارقام گندم

رقم	محلول پاشی	وزن خشک اندام هوایی (g)	آهن
			(mg kg <sup>-1</sup> DW)
تجن	عدم محلول پاشی	۲/۶۹ <sup>e</sup>	۱۰۶ <sup>d</sup>
	اکسید آهن معمولی	۳/۷ <sup>e</sup>	۷۵۷ <sup>c</sup>
	اکسید روی معمولی	۳/۲۸ <sup>de</sup>	۹۱/۶۶ <sup>d</sup>
	اکسید آهن نانو	۳/۸۷ <sup>de</sup>	۸۴۰ <sup>c</sup>
	اکسید روی نانو	۳/۳ <sup>cde</sup>	۹۷/۳۳ <sup>d</sup>
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۳/۴۰ <sup>de</sup>	۶۵۷ <sup>c</sup>
کویر	عدم محلول پاشی	۳/۱۶ <sup>a</sup>	۱۶۹ <sup>d</sup>
	اکسید آهن معمولی	۳/۳ <sup>ab</sup>	۱۲۱۴ <sup>b</sup>
	اکسید روی معمولی	۳/۰۶ <sup>ab</sup>	۱۴۶ <sup>d</sup>
	اکسید آهن نانو	۳/۱۳ <sup>a</sup>	۱۴۸۰ <sup>a</sup>
	اکسید روی نانو	۳ <sup>bc</sup>	۱۷۹ <sup>d</sup>
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۳/۰۹ <sup>a</sup>	۱۱۹۵ <sup>b</sup>

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل شوری و محلول‌پاشی بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت آهن و روی ارقام گندم

شوری	محلول‌پاشی	وزن خشک اندام هوایی (g)	آهن (mg kg <sup>-1</sup> DW)	روی (mg kg <sup>-1</sup> DW)
صفر	عدم محلول‌پاشی	۳/۵۷ <sup>d</sup>	۲۴۶ <sup>g</sup>	۲۷/۵ <sup>e</sup>
	اکسید آهن معمول	۵ <sup>ab</sup>	۱۵۱۹ <sup>b</sup>	۲۷/۵ <sup>e</sup>
	اکسید روی معمولی	۴/۳۷ <sup>c</sup>	۱۷۶ <sup>gh</sup>	۱۸۶ <sup>ab</sup>
	اکسید آهن نانو	۵/۲۹ <sup>a</sup>	۱۷۹۴ <sup>a</sup>	۲۴ <sup>e</sup>
	اکسید روی نانو	۴/۴۱ <sup>c</sup>	۲۳۶ <sup>g</sup>	۲۰۶ <sup>a</sup>
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۴/۵۷ <sup>bc</sup>	۱۴۴۴ <sup>gh</sup>	۱۷۱ <sup>b</sup>
۷۵	عدم محلول‌پاشی	۲/۷ <sup>efg</sup>	۱۱۰ <sup>cd</sup>	۱۵ <sup>e</sup>
	اکسید آهن معمول	۲/۸۸ <sup>efg</sup>	۸۹۴ <sup>gh</sup>	۱۸/۵ <sup>c</sup>
	اکسید روی معمولی	۳/۰۱ <sup>ef</sup>	۱۱۳ <sup>c</sup>	۱۱۶ <sup>c</sup>
	اکسید آهن نانو	۳/۰۱ <sup>ef</sup>	۱۰۴۴ <sup>gh</sup>	۲۰/۵ <sup>e</sup>
	اکسید روی نانو	۳/۰۶ <sup>e</sup>	۱۲۱ <sup>de</sup>	۱۳۰ <sup>c</sup>
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۳/۱۰ <sup>e</sup>	۷۸۱ <sup>h</sup>	۱۱۲ <sup>c</sup>
۱۵۰	عدم محلول‌پاشی	۲/۵ <sup>ghi</sup>	۵۶/۵ <sup>f</sup>	۱۰ <sup>e</sup>
	اکسید آهن معمول	۲/۶۱ <sup>fgh</sup>	۵۴۴ <sup>h</sup>	۱۲/۵ <sup>e</sup>
	اکسید روی معمولی	۲/۱۱ <sup>ij</sup>	۶۸/۵ <sup>ef</sup>	۸۵/۲۵ <sup>d</sup>
	اکسید آهن نانو	۲/۲۰ <sup>hij</sup>	۶۴۴ <sup>h</sup>	۱۰/۵ <sup>e</sup>
	اکسید روی نانو	۱/۹۸ <sup>j</sup>	۵۷/۵ <sup>f</sup>	۸۹/۲۵ <sup>d</sup>
	مخلوط نانو اکسید آهن و روی	۲/۰۷ <sup>ij</sup>	۵۵۴ <sup>gh</sup>	۷۲ <sup>d</sup>

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

کمتری در اثر شوری کاهش یافت.

اثر متقابل محلول‌پاشی و رقم بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد و بر غلظت آهن در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد و معنی‌دار بود (جدول ۲). به طور کلی وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای محلول‌پاشی شده نسبت به تیمار محلول‌پاشی نشده افزایش یافت (جدول ۵). میزان این افزایش در رقم تجن ۲۹ درصد ولیکن این مقدار برای رقم کویر ناچیز بود. در هیچ‌یک از دو رقم تفاوت بین دو رقم محلول‌پاشی از این نظر معنی‌دار نبود. از نظر غلظت آهن در اندام هوایی تأثیر مثبت محلول‌پاشی نانو ذرات اکسید آهن

به ترتیب ۴۲، ۵۴، ۴۸ و ۵۲ و برای رقم کویر به ترتیب ۸، ۲۷، ۳۸ و ۲۵ درصد بود. نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی در شرایط شور در رقم تجن ۶ برابر و در رقم کویر ۲/۳ برابر افزایش یافت (جدول ۴). این نتایج بیانگر حساسیت بیشتر رقم تجن به شوری می‌باشد. در آزمایش تری وی دی و همکاران (۲۴) تنش شوری سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی گندم گردید و واکنش ارقام مختلف از این نظر متفاوت بود. در مطالعه شیرازی و همکاران (۲۲) حفظ پتاسیم در برگ‌های گندم تحت تأثیر شوری موجب القای تحمل به شوری شد. در این مطالعه نیز غلظت پتاسیم در رقم مقاوم‌تر (کویر) به نسبت



### نتیجه گیری

در این مطالعه تنش شوری از طریق تأثیر منفی بر سطح برگ، غلظت پتاسیم، غلظت آهن و روی در گیاه موجب کاهش تجمع ماده خشک در گندم گردید. میزان کاهش وزن خشک گیاه در اثر شوری در رقم کویر کمتر از رقم تجن بود. افزایش نسبت سدیم به پتاسیم در شرایط شور در رقم حساس تجن بیشتر از رقم مقاوم کویر بود. تأثیر مثبت محلول پاشی اکسید آهن و روی بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و کاهش غلظت سدیم تحت تنش شوری بارزتر بود. غلظت آهن در اندام هوایی در تیمار محلول پاشی اکسید آهن به فرم نانو ذرات نسبت به فرم معمول آن به طور معنی داری بیشتر بود. از نظر تجمع آهن و روی در گیاه واکنش مثبت گندم به فرم نانو ذرات اکسید آهن بیشتر از واکنش آن به نانو ذرات اکسید روی بود. واکنش مثبت رقم کویر به کاربرد نانو ذرات اکسید آهن از نظر غلظت آهن در اندام هوایی بیشتر از رقم تجن بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی اکسید آهن و روی به فرم نانو ذرات تأثیر مثبت بیشتری بر رشد گندم دارد، با این حال کاربرد فرم نانو از نظر تعدیل اثرات شوری مزیتی نداشت. در نهایت به سبب فعالیت بیش از اندازه ذرات در مقیاس نانو و وجود دغدغه های زیست محیطی در استفاده ی از این ذرات بایستی پس از بررسی ابعاد زیست محیطی موضوع در آزمایشاتی دیگر، جهت استفاده در کشاورزی به سبب افزایش عملکرد لحاظ شوند.

نسبت به فرم معمول آن در رقم کویر بارزتر بود. در حالی که در رقم تجن تفاوت بین فرم نانو ذرات و فرم معمول اکسید آهن از این نظر معنی دار نشد. به عبارت دیگر، واکنش مثبت رقم کویر به کاربرد نانو ذرات اکسید آهن بیشتر از رقم تجن بود. اثر متقابل شوری و محلول پاشی بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت آهن و روی در اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). محلول پاشی عناصر آهن و روی به دو فرم نانو ذرات و معمول در محیط غیرشور سبب افزایش معنی دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار عدم محلول پاشی شد، ولی با افزایش سطح شوری میزان تأثیر مثبت محلول پاشی کاهش یافت. در شرایط غیرشور غلظت آهن در اندام هوایی در اثر محلول پاشی اکسید آهن به فرم معمول و نانو ذرات به ترتیب ۶/۲ و ۷/۵ برابر ولی در سطح شوری ۷۵ میلی مولار ۸/۱ و ۹/۵ برابر و در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار ۹/۷ و ۱۱/۵ برابر نسبت به تیمار عدم محلول پاشی افزایش یافت. این مقادیر افزایشی برای غلظت روی در اندام هوایی در تیمار شاهد غیرشور به ترتیب ۷ و ۷/۵ برابر، در سطح شوری ۷۵ میلی مولار ۸/۱ و ۹/۵ برابر و در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار ۸/۵ و ۸/۹ برابر بود (جدول ۶). محلول پاشی نانو ذرات اکسید آهن و روی در مقایسه با فرم معمول آن تأثیر بیشتری بر غلظت این عناصر در گیاه داشت. از طرف دیگر، با افزایش سطح شوری تأثیر مثبت محلول پاشی بر غلظت آهن و روی افزایش یافت.

### منابع مورد استفاده

1. Arkava, K., K. Mizuno, T. Takaba and K. Murata. 1994. Immunological studies of betaine aldehyde dehydrogenase in barley. *Photosynthesis Research* 4: 243-246.
2. Azizpour, K., M.R. Shakiba, N.A. KhoshkholgSima, H. Alyari, M. Moghadda, E. Esfandiari and M. Pesarakli. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition* 36: 859-873
3. Bagheri, A., GH. Sarmadniya and SH. Hajrasoliha. 1997. Investigation of different French grass responses to drought and salinity stress in germination stage. *Journal of Agriculture Sciences and Industries* 2:41-56.
4. Baybordi, A. 2004. Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress. *Journal of Water and Soil Science* 17: 140-150.
5. Cakmak, I., A. Yilmaz, H. Ekiz, B. Erenoglu and H. J. Braun 1996. Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in central anatolia. *Plant and Soil* 180: 165-172.
6. Flowers, T. J., P. F. Troke and A. R. Yeo. 1997. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Journal of Plant Physiology* 28: 89-121.

7. Ghorbani, M. and A. Haghghat. 2000. An attitude on exploitation method on untraditional waters in agriculture. The first national conference on approaches to compete with water critic, university of zabol, volume2.pp 265-278.
8. Hamada, A. M. 1996. Effect of NaCl, water stress or both on gass exchange and growth of wheat. *BiologiaPlanta* 38: 405-412.
9. Hemantaranjan, A. and O. K. Gray. 1988. Iron and zinc fertilization with reference to the grain quality of *triticum aestivum*. L. *Journal of Plant Nutrition* 11: 1439-1450.
10. Hoffiman, G. J., E.V. Mass, T. L. Prichard and J. L. Meyer. 1983. Salt tolerance of corn in the Sacramento-San Joaquin Delta of California. *Journal of Irrigation Science* 4: 31-44.
11. Hu, Y. and U. Schmidhalter. 2001. Effects of salinity and macronutrient levels on micronutrients in wheat. *Journal of Plant Nutrition* 24: 273-281.
12. Kafi, M. 1996. Effort's of salinity on aspects of the physiology of wheat (*Triticum aestivum*). PhD. Thesis. University of new castle.
13. Khoshgoftarmanesh, A. H., H. Shariatmadari, N. Karimian, M. Kalbasi and M. R. Khajehpour 2004. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1953-1962.
14. Mass, E. V. 1986. Crop tolerance to saline soil and water. Proe. Us Pak Biosaline Res. Workshop, Karachi, Pakistan pp:205-219.
15. Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 569-668.
16. Monica, R. C. & R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia* 62:161-165.
17. Mozafar, A. and J. R. Goodin. 1986. Salt tolerance of two drought tolerance wheat genotypes during germination and early seedling growth. *Plant and Soil* 96: 303-316.
18. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environment* 25: 239-250.
19. Peyvandi, M., H. Parande and M. Mirza. 2011. The comparison of iron Nano chelates effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *OcimumBasilicum*. *Journal of molecular cellular biotechnology* 4:19-31.
20. Sadri, M and J. Malakoti. 1996. Investigation of iron, zinc and copper application effect on improving wheat quantitative and qualitative traits. *Journal of water and soil. Water and Soil Investigation Institutes Scientific Magazine*12:19-31.
21. Sairam, R. K., K. V. Rao. and G.C. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163: 1037-1046.
22. Shirazi, M. U., M. Y. Ashraf, M. A. Khan and M. H. Nagvi. 2005. Potassium induced salinity tolerance in wheat. *International Journal of Environment Science Technology* 3: 233-236.
23. Srivastava, J. P. 1998. *Advances in Plant Physiology*. A. Hemat, (Eds.), Rahigan Published by Pawan Kumar Scientific Pub.
24. Trivedi, S., G. Galiba, N. Sankhla and L. Erdei. 1991. Responses to osmotic and sodium chloride stress of wheat varieties differing in drought and salt tolerance in callus cultures. *Plant Science* 73(2):227-232.