

تأثیر تغذیه برگی سولفات آهن به دو شکل معمول و نانو ذرات بر رشد ارقام آفتابگردان تحت تنش شوری

شهرام ترابیان^{۱*} و مرتضی زاهدی^۲

۱ و ۲، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
(تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۲۹ - تاریخ تصویب: ۹۱/۱۰/۲۷)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل معمول و نانو ذرات بر پنج رقم الستار، السیون، هایسان ۳۶، یورفلور و هایسان ۳۳ آفتابگردان به سطوح صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم آزمایشی گلدانی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در اثر شوری ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل، کارایی فتوشیمیایی، غلظت پتاسیم و آهن در اندام هوایی کاهش و غلظت سدیم افزایش یافت. محلول‌پاشی سولفات آهن سبب افزایش ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، کارایی فتوشیمیایی، محتوای کلروفیل و غلظت آهن در اندام هوایی و کاهش غلظت سدیم شد. محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات سبب افزایش ۴، ۹، ۷، ۳۰ و ۱۳ درصدی ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک گیاه و محتوای کلروفیل a و کل نسبت به محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل معمول بود. اثر متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار بود، به طوری که میزان کاهش این صفات در اثر شوری در رقم السیون کمتر از ارقام دیگر بود. در رقم یورفلور میزان جذب آهن در اثر محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آن افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات در مقایسه با شکل معمول آن تأثیر مثبت بیشتری بر رشد آفتابگردان دارد اگرچه کاربرد سولفات آهن به شکل نانو ذرات از نظر تعدیل اثرات شوری نسبت به کاربرد آن به شکل معمول مزیتی نشان نداد.

واژه‌های کلیدی: ارقام آفتابگردان، شوری، محلول‌پاشی، سولفات آهن، نانو ذرات

مقدمه

جهت شستشوی نمک از ناحیه ریشه کافی نیست (Owens, 2001). شوری از طریق کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها، به هم زدن تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه و همچنین از طریق ایجاد سمیت باعث کاهش رشد گیاهان می‌شود (Marschner, 1995). میزان تأثیر شوری به عواملی از جمله غلظت و نوع نمک، مرحله رشد، نوع گونه و

تنش‌های محیطی از جمله شوری از عوامل مهم در کاهش عملکرد گیاهان زراعی به شمار می‌آیند. شوری تجمع بیش از حد املاح در خاک است به نحوی که در اثر آن گیاه در جذب آب با مشکل مواجه می‌شود. شور شدن خاک در مناطق خشک بطور گسترده‌تری به وقوع می‌پیوندد، زیرا در این نواحی میزان نزولات آسمانی

خارج از ناحیه فعال پرتوپلاست مثل واکوئولها، دفع نمک به خارج از بافت‌های گیاهی، عدم انتقال یون‌های سمی از ریشه به اندام هوایی، بالا نگه داشتن نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های مختلف خود و تجمع مواد معدنی و یا از طریق تولید مواد آلی تنظیم کننده اسمزی اثرات مخرب شوری را تعدیل می‌کنند. کربوهیدرات‌های محلول و اسمولیت‌ها از جمله مهمترین ترکیباتی هستند که به عنوان تنظیم کننده‌های اسمزی در گیاهان نقش دارند (Good & Zaplachinski, 1994).

در خاک‌های شور و قلیایی حلالیت عناصر کم نیاز نظیر آهن، منگنز، مس، روی و مولیبدن به دلیل باند شدن پایین بوده و در این خاک‌ها گیاهان اغلب از نظر عناصر فوق دچار کمبود می‌باشند (Cramer et al., 1987). تغذیه برگ از راه‌های موثر در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم مصرف است (Swiader, 2000). مصرف عناصر کم نیاز از طریق کاهش اثرات منفی یون‌های سمی می‌تواند مقاومت گیاهان را در برابر تنش افزایش دهد (El-Fouly et al., 2010). در آزمایش Emadi (2010) افزایش غلظت آهن در محلول غذایی موجب تعدیل اثرات تنش شوری بر آفتابگردان گردید. Jabeen & Ahmad (2011) نیز تاثیر مثبت تغذیه برگی بور و منگنز بر صفات رشدی و فعالیت‌های بیوشیمیایی آفتابگردان را تحت تنش شوری گزارش نمودند. در آزمایش El-Fouly et al. (2010) محلول پاشی عناصر آهن، منگنز و روی موجب بهبود رشد گندم تحت تنش شوری گردید. نتایج مشابهی توسط Zayed et al. (2011) برای برنج گزارش شد.

استفاده از فناوری نانو در کلیه عرصه‌ها از جمله کشاورزی در حال گسترش می‌باشد. فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد اولیه خود را تغییر دهند (Monica & Cremonini, 2009). عرضه کودهای شیمیایی به شکل نانو ذرات اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. نتایج مطالعات موجود بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های مختلف گیاهان به مواد غذایی تهیه شده به شکل نانو می‌باشد (Zhu et al., 2008). برای مثال در مطالعه Zhu et al. (2008) در

ژنوتیپ گیاهی بستگی دارد. کاهش رشد در اثر شوری برای گیاهان متعددی از جمله ذرت (Cha-um & Kirdmane, 2009)، سورگوم (Beck et al., 2004)، جو و گندم (Gill & Dutt, 1987) گزارش شده است.

آفتابگردان یک گیاه نسبتاً مقاوم به شوری است که آستانه تحمل آن به شوری حدود ۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد و شوری‌های معادل ۹ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۵ تا ۳۰ و ۵۰ درصدی عملکرد این گیاه می‌شود (Khajepoor, 2004). در آزمایش Liu & Shi (2010) با افزایش شوری از سطح صفر به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر سرعت فتوسنتز خالص، غلظت هدایت روزنه‌ای و محتوای کلروفیل a و b در آفتابگردان کاهش یافت. در مطالعه Omami (2005) با افزایش سطح شوری (صفر، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) ارتفاع گیاه، سطح برگ، تعداد برگ، سرعت فتوسنتز خالص و میزان هدایت روزنه‌ای آفتابگردان کاهش یافت. در آزمایش Santos (2004) با افزایش سطح شوری از صفر تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کارایی فتوشیمیایی و محتوای کلروفیل a و b در آفتابگردان کاهش و نسبت محتوای کلروفیل a به b افزایش یافت.

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. به طوری که در غالب موارد این نسبت در ارقام مقاوم به شوری بالاتر است (Marschner, 1995). Cramer et al. (1987) بیان کردند که سدیم می‌تواند جانشین کلسیم موجود در غشا سلول‌های ریشه شده و از این طریق باعث کاهش جذب پتاسیم توسط گیاه شود. در آزمایش Rady et al. (2011) با افزایش سطوح شوری از ۲ به ۸ دسی‌زیمنس بر متر غلظت سدیم افزایش و غلظت عناصر پتاسیم، فسفر، نیتروژن، منیزیم، آهن، روی و مس و همچنین نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی کاهش یافت.

گیاهان به طرق مختلف از جمله جلوگیری از ورود یون‌های سمی به داخل گیاه، تجمع یون‌های سمی در

گلبایگان واقع در شمال غربی استان اصفهان تهیه شد. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. میزان آهن قابل استخراج خاک از روش DTPA و بر اساس میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شد.

کاشت بذور در داخل گلدان‌های ۴ لیتری و در عمق ۳ سانتی‌متری خاک انجام شد. در مرحله ۲ برگ حقیقی، بوته‌های اضافی حذف و ۲ بوته در هر گلدان نگهداری شد. آبیاری گلدان‌ها به منظور رساندن میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه هر دو روز یکبار به صورت وزنی انجام گرفت. به منظور تأمین نیاز غذایی گیاهان، محلول غذایی نیترات پتاسیم با غلظت ۲ در هزار در مرحله دو برگ حقیقی در حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر به هر گلدان اضافه شد. تیمار شوری ۳۰ روز پس از سبز شدن گیاهان در مرحله ۸ برگی اعمال شد. به منظور جلوگیری از تنش اسمزی، تیمار شوری مورد نظر (۱۰۰ میلی‌مولار) طی دو مرحله (هر مرحله ۵۰ میلی‌مولار) به همراه آب آبیاری با فاصله ۳ روز و در حجم یک لیتر به هر گلدان اضافه شد. همچنین جهت جلوگیری از آبشویی شدن نمک، گلدان‌هایی بدون زه‌کش انتخاب شدند. قابلیت هدایت الکتریکی خاک پس از اعمال تیمار شوری حدود ۱۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. محلول‌پاشی سولفات آهن در دو مرحله (مرحله اول پس از یک هفته و مرحله دوم پس از دو هفته از زمان تکمیل اعمال تنش شوری) انجام شد. هر دو مرحله محلول‌پاشی در هنگام غروب آفتاب انجام شد تا از آفتاب سوختگی برگ‌ها جلوگیری شود. همچنین محلول‌پاشی تا زمانی که کل گیاهان با محلول به خوبی آغشته شود، ادامه داشت.

حالی که گیاه *Cucurbita maxiamma* قادر به جذب، انتقال و تجمع مواد نانو در بافت‌های خود بود، جذب و انتقال این مواد توسط گیاه *Phaseolus limensis* انجام نشد. گزارشات محدودی مبنی بر تأثیر مثبت مواد غذایی نانو بر رشد برخی از گیاهان از جمله بادام زمینی (Prasad et al., 2012)، نخود (Pandey et al., 2010)، اسفناج (Yang et al., 2006) و ریحان (Peyvandi et al., 2011) وجود دارد. با این حال، در رابطه با تأثیر سولفات آهن به شکل نانو ذرات بر رشد و واکنش آفتابگردان به تنش شوری اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. لذا، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی سولفات آهن به دو شکل معمول و نانو ذرات بر خصوصیات رشدی و محتوای یونی پنج رقم آفتابگردان تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت گلدانی در طی ماه‌های اسفند ۱۳۸۹ و فروردین ۱۳۹۰ در گلخانه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان با استفاده از پنج رقم آفتابگردان، سه تیمار کود آهن و دو سطح شوری به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. در این آزمایش ارقام آفتابگردان (الستار، السیون، هایسان ۳۶، یورفلور و هایسان ۳۳) در دو سطح شوری صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و تحت سه تیمار کودی آهن (محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل معمول و به شکل نانو ذرات با خلوص ۹۹ درصد در غلظت ۲ در هزار و تیمار شاهد محلول‌پاشی آب مقطر) مورد بررسی قرار گرفتند. بذور ارقام آفتابگردان از موسسه نهال و بذر کرج تهیه شد. خاک مورد استفاده در آزمایش از منطقه

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

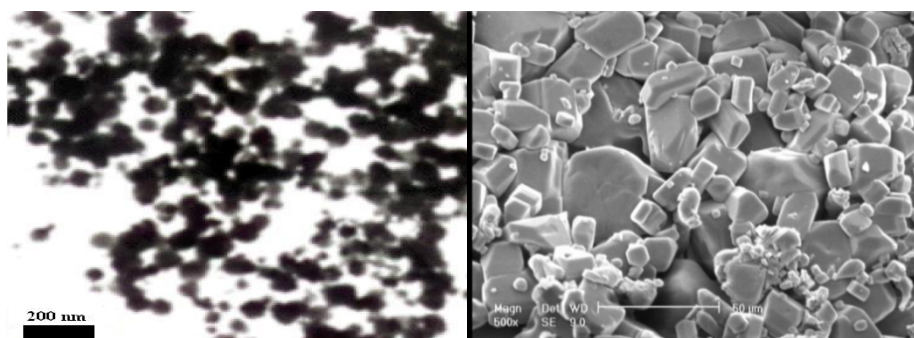
بافت خاک	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی	نیترژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	غلظت آهن
لومی	۷/۸	۲/۲ (dS m ⁻¹)	۰/۱۵ (%)	۳۰ (mg/kg)	۲۱۰ (mg/kg)	۳/۱ (mg/kg)

بررسی مورفولوژی ذرات و توزیع اندازه آگلومره‌های مواد اولیه و پودر حاصله، از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (مدل Philips XL30) استفاده شد.

به منظور تهیه نانو ذرات سولفات آهن، نمونه‌ای از پودر سولفات آهن معمولی به مدت ۱۵ ساعت در دستگاه آلیاژساز مکانیکی آسیاب شد. پس از آن برای

System استفاده شد. سپس اندازه قطر ذرات مطابق رابطه مربوطه محاسبه شد. با توجه به نتایج حاصله، میانگین قطر ذرات سولفات آهن معمولی قبل از آسیاب ۱۰ میکرون و میانگین قطر ذرات سولفات آهن آسیاب شده حاوی نانو ذرات برابر ۹۹ نانومتر بود.

تصاویر گرفته شده توسط دستگاه SEM از نمونه پودر سولفات آهن قبل و بعد از آسیاب در شکل ۱ ارائه شده است. به منظور تعیین خلوص و قطر ذرات سولفات آهن به دو شکل معمول و نانو ذرات از آزمون پراش پرتو ایکس (XRD) و دستگاه Philips X'pert-MPD



شکل ۱- تصاویر سولفات آهن معمول (راست) و سولفات آهن به شکل نانو ذرات (چپ) توسط دستگاه SEM

یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به تیمار غیرشور محتوای عنصر سدیم در اندام هوایی ۱/۳ برابر افزایش و مقادیر مربوط به ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، کارایی فتوشیمیایی، محتوای کلروفیل، غلظت پتاسیم، آهن و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی به ترتیب ۱۰، ۲۱، ۲۱، ۹، ۲۵، ۴۸،۴۴ و ۷۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج مشابهی مبنی بر کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای کلروفیل، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم و همچنین افزایش غلظت سدیم در اثر شوری برای آفتابگردان گزارش شده است (Shahbaz et al., 2011).

تجمع نمک در محلول خاک، پتانسیل اسمزی محلول خاک را کاهش داده و گیاه در جذب آب با مشکل مواجه شده و دچار نوعی خشکی فیزیولوژیک حاصل از تنش اسمزی می‌گردد. از سوی دیگر به دلیل وجود یون‌های سمی در محلول خاک، گیاه با سمیت این گونه یون‌ها مواجه می‌گردد (Munns et al., 1995). این اثرات می‌تواند موجب کاهش آماس سلولی، کاهش فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌ها، بهم خوردن تعادل یونی در اثر انتقال ناکافی یون‌ها یا مکانیسم‌های انتخابی آنها و افزایش استفاده از انرژی متابولیکی در فرآیندهای

برداشت گیاهان دو هفته پس از مرحله دوم محلول‌پاشی انجام گرفت. در این آزمایش صفات ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، کارایی فتوشیمیایی برگ‌ها، محتوای کلروفیل و غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و آهن در اندام هوایی اندازه‌گیری شد. سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LI-3000A, USA)، کارایی فتوشیمیایی توسط دستگاه فلورسنس (مدل OS-30p) و محتوای کلروفیل با استفاده از روش Arnon (1949) اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر (مدل 410-Corning) و غلظت آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin-Elmer 3030) اندازه‌گیری شد. داده‌های 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

تأثیر شوری بر ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، کارایی فتوشیمیایی (F_v / F_m)، محتوای کلروفیل برگ و محتوای عناصر سدیم، پتاسیم، آهن و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی در سطح احتمال

محلول پاشی نانو ذرات اکسید روی به مقدار ۲ گرم در ۱۵ لیتر آب سبب افزایش ارتفاع، تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه و غلظت روی در برگ و دانه بادام زمینی در مقایسه با محلول پاشی این کود با غلظت ۳۰ گرم در ۱۵ لیتر شد. در آزمایش Pandey et al. (2010) مصرف نانو ذرات اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود موجب افزایش رشد این گیاه گردید. با توجه به قطر نانو ذرات انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانو ذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را می‌تواند توجیه کند (Monica, 2009; Cremonini &

تفاوت ژنوتیپ‌های آفتابگردان از نظر ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، کارایی فتوشیمیایی، محتوای کلروفیل برگ، نسبت کلروفیل a به b، غلظت عناصر پتاسیم و آهن در اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۱). تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر غلظت سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی از نظر آماری معنی‌دار نبود. بیشترین وزن خشک توسط ارقام هایسان ۳۳ و هایسان ۳۶ کمترین آن توسط رقم یورفلور تولید شد (جدول ۳). در آزمایش Shahbaz et al. (2011) نیز ارقام آفتابگردان از نظر ارتفاع، وزن خشک و غلظت پتاسیم و سدیم در گیاه با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. در حالی که در آزمایش Rady et al. (2011) اختلاف ژنوتیپ‌های یورفلور و هایسان ۳۳۶ از نظر غلظت سدیم در گیاه معنی‌دار نبود.

اثر متقابل شوری و رقم بر سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار بود (جدول ۱). در کلیه ژنوتیپ‌ها سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار شور کاهش یافت ولی میزان این کاهش در ژنوتیپ‌های مختلف مشابه نبود. بیشترین کاهش سطح برگ در تنش شوری مربوط به ارقام هایسان ۳۶ و یورفلور به ترتیب برابر ۳۶ و ۲۵ درصد و کمترین آن متعلق به ارقام هایسان ۳۳ و السیون ۱۲ درصد بود (جدول ۴). بیشترین درصد کاهش وزن خشک اندام هوایی به ارقام هایسان ۳۶ و یورفلور (۳۴ درصد) و کمترین آن به رقم

غیررشدی مرتبط با مکانیسم تحمل گیاه گردند (Munns, 2005). تأثیر محلول پاشی کود سولفات آهن بر کلیه صفات، به استثنای نسبت کلروفیل a به b، غلظت پتاسیم و نسبت غلظت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی، معنی‌دار بود (جدول ۲). بطور کلی، صرف نظر از سطح شوری، در اثر محلول پاشی سولفات آهن مقادیر مربوط به ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، کارایی فتوشیمیایی، محتوای کلروفیل برگ و غلظت آهن در اندام هوایی افزایش و غلظت سدیم کاهش یافت (جدول ۳). تأثیر محلول پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات بر ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیل a و کل بیشتر از تأثیر محلول پاشی این کود به شکل معمول آن بود. با این حال، محلول پاشی سولفات آهن به دو شکل نانو ذرات و معمول آن تأثیرات مشابهی بر کارایی فتوشیمیایی، محتوای کلروفیل b و محتوای سدیم، پتاسیم و آهن در اندام هوایی داشتند.

در آزمایش Jabeen & Ahmad (2011) نیز با محلول پاشی عناصر پتاسیم، آهن و بور ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و غلظت آهن در اندام هوایی آفتابگردان افزایش یافت. در آزمایش Zayed et al. (2011) محلول پاشی عناصر آهن، روی و منگنز سبب افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیل در برنج گردید. همچنین در آزمایش El-Fouly et al. (2010) محلول پاشی آهن و منگنز سبب افزایش غلظت پتاسیم، آهن و منگنز و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی گندم شد. با توجه به نقش ساختاری عناصر ریزمغذی از جمله آهن، منگنز و روی در برخی آنزیم‌ها و همچنین نقش موثر آنها در سنتز پروتئین‌ها، با مصرف این عناصر علاوه بر افزایش عملکرد افزایش مقاومت گیاهان تحت تنش‌های محیطی مورد انتظار است (Cakmack, 2000). در آزمایش Peyvandi et al. (2011) مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و برگ و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد. در آزمایش ایشان مصرف کود آهن سبب افزایش محتوای کلروفیل شد ولی اختلاف معنی‌داری بین شکل نانو و معمول کود از این نظر مشاهده نشد. در آزمایش Prasad et al. (2012)

سولفات آهن بر ارتفاع گیاه، غلظت سدیم و غلظت آهن در اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین درصد کاهش ارتفاع گیاه در اثر شوری در تیمار عدم محلول‌پاشی (۱۶ درصد) و کمترین آن در تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل معمول (۶ درصد) مشاهده شد (جدول ۴)، که بیانگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی بر کاهش اثر شوری بر ارتفاع گیاه است. غلظت سدیم در اندام هوایی در هر دو محیط شور و غیرشور در تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی کمتر و غلظت آهن در اندام هوایی در هر دو محیط در تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی بیشتر بود ولیکن میزان افزایش غلظت آهن در اثر محلول‌پاشی در دو محیط شور و غیرشور یکسان نبود.

السیون (۷ درصد) تعلق داشت. (جدول ۴). کمترین درصد کاهش در نسبت پتاسیم به سدیم در رقم السیون (۵۰ درصد) مشاهده شد. میزان این کاهش برای ارقام الستار، هایسان ۳۶، یورفلور و هایسان ۳۳ به ترتیب ۷۶، ۷۸، ۷۷ و ۷۴ درصد بود (جدول ۴). در آزمایش Shahbaz et al. (2011) رقم الستار آفتابگردان بیشترین و ارقام هایسان ۳۳ و هایسان ۳۸ کمترین کاهش وزن خشک گیاه را تحت شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نشان دادند. در آزمایش ایشان بالا بودن نسبت پتاسیم به سدیم در ارقام مقاوم یک فاکتور مهم در مقاومت بیشتر آنها به شوری بود. (Rady et al. (2011) نیز عامل مقاومت بهتر رقم هایسان ۳۳۶ در مقایسه با رقم یورفلور را بالا بودن نسبت پتاسیم به سدیم و تجمع بیشتر تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین در شرایط شور گزارش نمودند. اثر متقابل شوری و محلول‌پاشی

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، کارایی فتوسیمیایی، محتوای کلروفیل، غلظت سدیم، پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و آهن در اندام هوایی ارقام آفتابگردان

منابع تغییرات	میانگین مربعات												
	درجه آزادی	ارتفاع	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	کارایی فتوسیمیایی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a به b	سدیم	پتاسیم	نسبت پتاسیم به سدیم	آهن
بلوک	۲	۱/۹۷ ^{ns}	۶/۷۴ ^{ns}	۰/۹۲ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۵۸ ^{ns}	۱/۱۸ ^{ns}	۱۲/۰۱ ^{ns}	۲/۳۴ ^{ns}	۱۵۲۰۸۴ ^{ns}
رقم	۴	۱۲۶۴ ^{**}	۱۹۸ ^{**}	۱/۳۴ [*]	۰/۰۰۸ ^{**}	۰/۱۰ [*]	۰/۰۱ [*]	۰/۱۰ [*]	۴/۲۷ [*]	۱/۰۴ ^{ns}	۷/۲۷ [*]	۰/۶۱ ^{ns}	۸۴۷۲۸۱۷ ^{**}
شوری	۱	۲۳۸۱ ^{**}	۹۱۳ ^{**}	۱۷/۴۸ ^{**}	۰/۱۱ ^{**}	۱/۹۳ ^{**}	۰/۰۸ ^{**}	۲/۸۴ ^{**}	۲/۹۲ ^{ns}	۳۸۵ ^{**}	۸۸۱۸ ^{**}	۱۷۲۰ ^{**}	۱۸۴۷۷۸۷۱ ^{**}
کود آهن	۲	۲۱۸ [*]	۱۹۱ ^{**}	۲/۲۱ [*]	۰/۰۱ ^{**}	۰/۴۲ ^{**}	۰/۰۵ ^{**}	۰/۷۶ ^{**}	۰/۳۰ ^{ns}	۴/۰۶ [*]	۰/۶۴ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۲۰۳۸۷۱۷۶۴ ^{**}
رقم × شوری	۴	۳۶/۱۰ ^{ns}	۶۹/۶۵ [*]	۱/۳۸ [*]	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۷۲ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۳/۴۹ ^{ns}	۱۶/۸۱ ^{**}	۱۵۱۹۸۲ ^{ns}
رقم × کود	۸	۸۶/۵۳ ^{ns}	۱۱/۶۰ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱/۰۵ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۱/۳۰ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۲۰۶۳۶۹۷ ^{**}
شوری × کود	۲	۲۱۹ [*]	۶/۳۶ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۴/۱۶ [*]	۲/۰۴ ^{ns}	۱/۰۹ ^{ns}	۴۰۳۲۸۳۱ ^{**}
رقم × شوری × کود	۸	۳۳/۹۸ ^{ns}	۸/۶۶ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۲/۳۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۲/۸۹ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۳۷۶۰۸ ^{ns}
خطا	۵۸	۷۱/۲۳	۲۶/۴۰	۰/۵۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۴	۱/۸۰	۱/۱۸	۳/۰۵	۴/۱۷	۱۳۶۸۳۸

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

غلظت آهن در اندام هوایی معنی‌دار نبود (جدول ۴). در حالی که در تیمارهای محلول‌پاشی شده تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد مطالعه از این نظر وجود داشت. در اثر محلول‌پاشی سولفات آهن به هر دو شکل معمول و نانو ذرات بیشترین غلظت آهن در رقم السیون و کمترین آن در رقم یورفلور مشاهده شد. در آزمایش Emadi (2010) نیز واکنش ارقام مختلف آفتابگردان به

در آزمایش El-Fouly et al. (2010) محلول‌پاشی آهن و منگنز سبب افزایش غلظت آهن، منگنز و نسبت پتاسیم به سدیم و همچنین کاهش جذب و تجمع سدیم در اندام هوایی گندم تحت تنش شوری شد. اثر متقابل محلول‌پاشی سولفات آهن و رقم بر غلظت آهن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در تیمار عدم محلول‌پاشی تفاوت ارقام مورد مطالعه از نظر

شکل معمول آن به طور معنی داری بیشتر بود. به عبارت دیگر، این نتیجه نشان می دهد در رقم یورفلور میزان جذب آهن در اثر محلول پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آن افزایش یافته است.

تغییر غلظت آهن متفاوت بود، به طوری که در غلظت ۱۰۰ میلی مولار آهن، رقم بلیزر نسبت به ارقام یورفلور و هایسان ۲۵ مقدار بیشتری آهن جذب کرد. نکته قابل توجه اینکه در رقم یورفلور غلظت آهن در تیمار محلول پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات نسبت به

جدول ۳- مقایسه میانگین های ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و کارایی فتوشیمیایی، محتوای کلروفیل، غلظت سدیم، پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و آهن در اندام هوایی ارقام آفتابگردان

عامل آزمایشی	ارتفاع (cm)	سطح برگ (cm ²)	وزن خشک اندام هوایی (g)	کارایی فتوشیمیایی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل b به a	سدیم (mg g ⁻¹ DW)	پتاسیم (mg g ⁻¹ DW)	نسبت پتاسیم به سدیم	آهن (mg kg ⁻¹ DW)
شوری (میلی مولار)												
صفر	۹۴/۹۵ ^a	۳۰/۰۵ ^a	۴/۰۶ ^a	۰/۷۵۵ ^a	۱/۰۴ ^a	۰/۳۲ ^a	۱/۳۷ ^a	۳/۴۲ ^a	۳/۲۳ ^b	۴۱/۱۷ ^a	۱۲/۱۳ ^a	۳۶۹۶ ^a
۱۰۰	۸۴/۶۶ ^b	۲۳/۶۸ ^b	۳/۱۸ ^b	۰/۶۸۲ ^b	۰/۷۵ ^b	۰/۲۶ ^b	۱/۰۲ ^b	۳/۰۶ ^a	۷/۳۷ ^a	۲۱/۳۸ ^b	۳/۳۹ ^b	۲۷۹۰ ^b
کود آهن												
صفر	۸۷/۸۴ ^b	۲۴/۳۱ ^b	۳/۳۵ ^b	۰/۶۹۱ ^b	۰/۷۸ ^c	۰/۲۵ ^b	۱/۰۴ ^c	۳/۳۵ ^a	۵/۸۵ ^a	۲۹/۸۴ ^a	۷/۷۰ ^a	۲۳۴ ^b
سولفات آهن	۸۸/۶۹ ^{ab}	۲۶/۹۳ ^{ab}	۳/۶۱ ^{ab}	۰/۷۲۸ ^a	۰/۹۰ ^b	۰/۳۰ ^a	۱/۲۰ ^b	۳/۱۹ ^a	۴/۹۹ ^b	۳۰/۲۵ ^a	۷/۸۱ ^a	۴۷۰۸ ^a
نانو سولفات آهن	۹۲/۸۸ ^a	۲۹/۳۶ ^a	۳/۸۹ ^a	۰/۷۳۵ ^a	۱/۲۳ ^a	۰/۳۳ ^a	۱/۳۶ ^a	۳/۱۶ ^a	۵/۰۷ ^b	۳۱/۴۳ ^a	۷/۷۸ ^a	۴۷۸۹ ^a
رقم												
الستار	۷۶/۷۵ ^d	۲۶/۵۸ ^{bc}	۳/۳۹ ^{ab}	۰/۷۰۰ ^{bc}	۰/۸۰ ^c	۰/۳۱ ^a	۱/۱۱ ^b	۲/۷۸ ^b	۵/۴۰ ^a	۳۱/۲۷ ^{ab}	۷/۸۵ ^a	۳۵۹۱ ^b
السیون	۹۰/۸۹ ^{bc}	۳۱/۵۷ ^a	۳/۷۵ ^{ab}	۰/۷۲۹ ^{ab}	۰/۹۰ ^{abc}	۰/۲۸ ^{ab}	۱/۱۸ ^b	۳/۶۳ ^{ab}	۴/۸۸ ^a	۳۳/۹۴ ^a	۷/۸۲ ^a	۳۸۹۱ ^a
هایسان ۳۶	۹۴/۰۶ ^{ab}	۲۸/۵۳ ^{ab}	۳/۸۳ ^a	۰/۷۴۴ ^a	۰/۹۹ ^a	۰/۳۳ ^a	۱/۳۳ ^a	۳/۱۱ ^{ab}	۵/۴۵ ^a	۲۸/۶۱ ^b	۷/۵۱ ^a	۲۴۵۳ ^c
یورفلور	۸۸/۱۱ ^c	۲۴/۴۳ ^c	۳/۲۷ ^b	۰/۶۹۱ ^b	۰/۸۵ ^{bc}	۰/۳۱ ^a	۱/۱۶ ^b	۲/۸۰ ^b	۵/۴۶ ^a	۲۸/۶۴ ^b	۷/۶۱ ^a	۲۵۵۱ ^c
هایسان ۳۳	۹۹/۲۱ ^a	۲۳/۲۲ ^c	۳/۸۶ ^a	۰/۷۲۷ ^{ab}	۰/۹۵ ^{ab}	۰/۲۶ ^b	۱/۲۱ ^{ab}	۳/۸۵ ^a	۵/۳۱ ^a	۳۳/۸۳ ^a	۷/۹۹ ^a	۳۷۳۳ ^{ab}

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۴- جداول اثرات متقابل شوری، محلول پاشی و ارقام آفتابگردان

شوری	کود آهن	ارتفاع (cm)	سدیم (mg g ⁻¹ DW)	آهن (mg kg ⁻¹ DW)
صفر	محلول پاشی آب مقطر	۹۵/۹۹ ^a	۳/۳۸ ^c	۲۶۴ ^c
صفر	سولفات آهن	۹۱/۵۹ ^{ab}	۲/۹۲ ^c	۵۳۶ ^a
صفر	نانو ذرات آهن	۹۷/۲۶ ^a	۳/۰۱ ^c	۵۴۶۶ ^a
۱۰۰	محلول پاشی آب مقطر	۷۹/۶۹ ^c	۸/۲۳ ^a	۲۰۴ ^c
۱۰۰	سولفات آهن	۸۵/۷۹ ^{bc}	۶/۹۵ ^b	۴۰۵۶ ^b
۱۰۰	نانو ذرات آهن	۸۸/۵۰ ^{abc}	۶/۹۲ ^b	۴۱۱۲ ^b
شوری	رقم	وزن خشک اندام هوایی (g)	سطح برگ (cm ²)	نسبت پتاسیم به سدیم
صفر	الستار	۳/۷۱ ^{bc}	۲۸/۹۶ ^{cd}	۱۲/۷۳ ^a
صفر	السیون	۳/۹۰ ^b	۳۳/۶۱ ^{ab}	۱۰/۴۷ ^{ab}
صفر	هایسان ۳۶	۴/۶۳ ^a	۳۴/۹۶ ^a	۱۲/۲۱ ^a
صفر	یورفلور	۲/۹۴ ^b	۲۷/۹۸ ^{cde}	۱۲/۴۳ ^a
صفر	هایسان ۳۳	۴/۱۳ ^{ab}	۲۴/۷۲ ^{def}	۱۲/۸۳ ^a
۱۰۰	الستار	۳/۰۷ ^{cde}	۲۴/۲۰ ^{ef}	۲/۹۹ ^d
۱۰۰	السیون	۳/۶۰ ^{bcd}	۲۹/۵۱ ^{bc}	۵/۱۷ ^c

ادامه جدول ۴- جداول اثرات متقابل شوری، محلول پاشی و ارقام آفتابگردان

رقم	کود آهن	رقم	آهن ($\text{mg kg}^{-1} \text{DW}$)
۱۰۰	هایسان ۳۶	۳/۰۴ ^{de}	۲۲/۱۰ ^f
۱۰۰	یورفلور	۲/۵۹ ^e	۲۰/۸۷ ^f
۱۰۰	هایسان ۳۳	۳/۵۹ ^{bcd}	۲۱/۷۳ ^f
	محلول پاشی آب مقطر	الستار	۲۴۶ ^f
	محلول پاشی آب مقطر	السیون	۲۴۶ ^f
	محلول پاشی آب مقطر	هایسان ۳۶	۲۲۰ ^f
	محلول پاشی آب مقطر	یورفلور	۲۱۳ ^f
	محلول پاشی آب مقطر	هایسان ۳۳	۲۴۳ ^f
	سولفات آهن	الستار	۵۱۵۳ ^c
	سولفات آهن	السیون	۵۷۰۶ ^a
	سولفات آهن	هایسان ۳۶	۳۵۶۶ ^c
	سولفات آهن	یورفلور	۳۵۸۰ ^c
	سولفات آهن	هایسان ۳۳	۵۵۳۳ ^{ab}
	نانو ذرات آهن	الستار	۵۳۷۳ ^{bc}
	نانو ذرات آهن	السیون	۵۷۲۰ ^a
	نانو ذرات آهن	هایسان ۳۶	۳۵۷۳ ^e
	نانو ذرات آهن	یورفلور	۳۸۶۰ ^d
	نانو ذرات آهن	هایسان ۳۳	۵۴۲۰ ^{bc}

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری کلی

محلول پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات بر ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و محتوای کلروفیل نسبت به تأثیر محلول پاشی این کود به شکل معمول آن بارزتر بود. میزان جذب آهن در رقم یورفلور در اثر محلول پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات نسبت به شکل معمول آن بیشتر بود. نتایج این مطالعه نشان داد محلول پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات می‌تواند تأثیر بیشتری در بهبود رشد آفتابگردان نسبت به شکل معمول آن داشته باشد.

در این مطالعه تنش شوری از طریق تأثیر منفی بر ارتفاع بوته، سطح برگ، محتوای کلروفیل، غلظت پتاسیم و غلظت آهن در گیاه موجب کاهش تجمع ماده خشک در آفتابگردان گردید. میزان کاهش وزن خشک گیاه در اثر شوری در ارقام مختلف یکسان نبود، به طوری که از بین ارقام مورد مطالعه رقم السیون متحمل‌تر و رقم یورفلور حساس‌تر به شوری بودند. کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در شرایط شور در رقم مقاوم السیون کمتر از ارقام دیگر بود. تأثیر مثبت

REFERENCES

- Akram, M. S., Athar, H. U. R. & Ashraf, M. (2007). Improving Growth and Yield of Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) by Foliar Application of Potassium Hydroxide (KOH) under Salt Stress. *Pakistanian Journal of Botany*, 39, 769-776.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-14.

3. Beck, E., Netondo, G. W. & Onyango, J. C. (2004). Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Science*, 44, 806-811.
4. Cakmak, I. (2000). Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146, 185-205.
5. Cha-um, S. & Kirdmane, C. (2009). Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pakistanian Journal of Botany*, 41, 87-98.
6. Cramer, G. R., Lauchl, J., Lauchl, A. & Epstein, E. (1987). Influx of Na, K and Ca into roots of salt-stressed cotton seedlings: Effects of Supplemental Ca. *Plant Physiology*, 83, 510-516.
7. El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M. & Salama, Z. A. (2011). Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. *African Journal of Plant Science*, 5, 314-322.
8. Emadi, S. S. (2010). *Iron Nutrition Effect in Hydroponic Culture on the Response of Sunflower to Salinity*. M. Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan (In Farsi).
9. Francois, L. E. (2003). Salinity effects on four sunflower hybrids. *Agronomy Journal*, 88, 213-218.
10. Gill, K. S. & Dutt, S. K. (1987). Physiological aspects of salt tolerance in barley and wheat grown in pots in coastal saline conditions. *Indian Journal of Agriculture Science*, 57, 409-415.
11. Good, A. & Zaplachinski, S. (1994). The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus* L. *Physiologia Plantarum*, 90, 9-14.
12. Hussain, M. K. & Khaton, A. (2000). Effect of salinity on some growth parameters of cultivated sunflower under saline conditions. *Journal Agriculture of Biology*, 3, 210-213.
13. Jabeen, N. & Ahmad, R. (2011). Effect of foliar-application boron and manganese on growth and biochemical activities in sunflower under saline conditions. *Pakistanian Journal of Botany*, 43, 1271-1282.
14. Khajepoor, M. R. (2004). *Industrial crops*. Isfahan: IUT university, Jahad Daneshgahi press. (In Farsi).
15. Liu, J. & Shi, D. C. (2010). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress. *Photosynthetica*, 48, 127-134.
16. Monica, R. C. & Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62, 161-165.
17. Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd Academic Press. Ltd. London.
18. Munns, S. R., Schachtman, D. P. & Condon, A. G. (1995). The signification of a two phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22, 561-569.
19. Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: Bringing them together. *New Phytologist*, 167, 645-663.
20. Omami, E. N. (2005). *Reponse of amaranth to salinity*. Ph.D. Thesis Horticulture. Faculty of natural and agriculture science, The University of Pretoria.
21. Owens, S. (2001). Salt of the earth. genetic engineering may help to reclaim agriculture land use to stalinization. *EMBO Reports*, 2, 877-879.
22. Pandey, A. C., Sanjay, S. S. & Yadav, R. S. (2010). Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5, 488-497.
23. **Peyvandi, M., Parande, H. & Mirza, M.** (2011). Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. *New Cell Mol Biotech*, 4, 89-99. (In Farsi).
24. Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreepasad, T. S., Sajanlal, P. R. & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscales Zinc Oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35, 905-927.
25. Rady, M. M., Sadak, M. S., El-Bassiouny, H. M. S. & Abd El-Monem, A. A. (2011). Alleviation of the adverse effects of salinity stress in sunflower cultivars using nicotinamide and α -Tocopherol. *Australian Journal of Basic Applied Science*, 5, 342-355.
26. Santos, C. V. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Science Horticulture*, 103, 93-99.
27. Shahbaz, M., Ashraf, M., Akram, N., Hanif, A., Hameed, S., Joham, S. & Rehman, R. (2011). Salt-induced modulation in growth, photosynthetic capacity, proline content and ion accumulation in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1113-1122.
28. Steduto, P., Albrizio, R., Giorio, P. & Sorrentino, G. (2000). Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 44, 243-255.
29. Swiader, J. M. (2000). *Micronutrient fertilizer recommendation for vegetable crop*, Hortic facts, pp 21-35.

30. Yang, F., Hong, F. S., You, W. J., Liu, C., Gao, F. Q., Wu, C. & Yang, P. (2006). Influences of nano-anatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. *Biological Trace Element Research*, 110, 179-190.
31. Zayed, B. A., Salem, A. K. M. & El Sharkawy, H. M. (2011). Effect of Different Micronutrient Treatments on Rice (*Oriza sativa* L.) Growth and Yield under Saline Soil Conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 7, 179-184.
32. Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q. & Jin, Y. (2008). Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Journal of Environmental Monitoring*, 10, 713-717.