

اثرات روی بر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، پروتئین و کربوهیدرات‌های گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری

مهری عسکری^{*}، فریبا امینی و فاطمه جمالی

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، کد پستی: ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۰۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۲/۱۲/۱۷)

چکیده:

روی یکی از عناصر غذایی کم‌مصرف است که سمیت سدیم را در گیاهان کاهش می‌دهد و نقش مهمی در کمک به بقای گیاهان زراعی تحت تنش شوری ایفا می‌کند. این تحقیق در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در پاییز ۱۳۹۱ در دانشگاه اراک انجام شد. در این مطالعه، اثرات ۴ سطح شوری (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و سه سطح سولفات‌روی (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بر گوجه‌فرنگی بررسی شده است. نتایج نشان داد که تنش شوری به تنهایی پارامترهای رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین را کاهش می‌دهد، در حالی که پرولین و کربوهیدرات در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که تیمار روی به تنهایی بر پارامترهای رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان پروتئین و کربوهیدرات اثر مثبت دارد اما پرولین را کاهش داد. تیمار گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری با سولفات‌روی، اثرات منفی شوری را بر این پارامترها به طور معنی‌داری کاهش داد. بیشترین مقدار شاخص‌های رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین در گیاهان بدون تنش شوری همراه با غلظت ۱۰ میکرومولار روی اندازه‌گیری شد و کمترین مقدار این شاخص‌ها در گیاهان تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و بدون روی اندازه‌گیری شد. بنابراین توصیه می‌شود که در صورت کاشت گوجه‌فرنگی در خاک‌های شور با کمبود روی، مقادیر کافی روی به خاک افزوده شود یا از محلول‌پاشی برگ استفاده شود.

کلمات کلیدی: بهبود دهنده، تنش شوری، سدیم کلرید، سولفات‌روی، گوجه‌فرنگی.

مقدمه:

فعالیت‌های انسانی مثل بوته‌کنی، آبیاری با آب شور و مهم‌تر از همه زهکشی نامناسب می‌باشد (Munns and Tester, 2008). در طی تنش شوری همه فرآیندهای اصلی گیاه از قبیل جوانه‌زنی، فتوسنتز، پروتئین‌سازی، تولید انرژی و متابولیسم لیپید تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Weisany et al., 2012). شوری تنفس را افزایش می‌دهد و محصولات فتوسنتزی در دسترس جهت رشد را کاهش می‌دهد. همچنین توزیع نمک در سلول‌های گیاهی موجب کاهش تورگر و نهایتاً کاهش رشد

یک سوم خشکی‌های زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد که نیمی از این نواحی دارای خاک‌های شور هستند. از کل اراضی زیرکشت دنیا حدود ۲۳ درصد مشکل شوری دارند (Parvaiz and Satyawati, 2008). غیر از شوری طبیعی که از تجمع نمک در دوره‌های زمانی خیلی بلند در نواحی خشک و نیمه‌خشک حاصل شده، بخش مهمی از انباشتگی سطوح بالای نمک در زمین‌های کشاورزی به علت

^{*} نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m-askary@araku.ac.ir

شکل پروتئین‌ها باعث تثبیت ساختمان سلولی شود و همچنین می‌تواند اسیدپتئ سیروزولی را تنظیم کرده و نسبت NAD/NADH را در یک سطح ثابت نگه دارد (Lopez-Carrion *et al.*, 2008). تجمع کربوهیدرات‌ها نیز تحت تنش شوری نقش برجسته‌ای را در حفاظت و تطبیق اسمزی، نگهداری کربن و جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد بازی می‌کند. این افزایش می‌تواند به دلیل اثر تنش شوری بر کاهش قدرت انتقال آوندهای آبکش و یا تقلیل در مصرف اندام‌های مصرف‌کننده باشد (Parvaiz and Satyawati, 2008). تنظیم اسمزی می‌تواند به وسیله تبدیل پلی‌ساکاریدها (نشاسته، فروکتان‌ها) به الیگوساکاریدها (ساکارز) و مونوساکارید گلوکز نیز کنترل شود (Hendry and Wallace, 1993). عمل فیزیولوژیک قندها نگهداری لیپیدها و پایداری پروتئین‌ها از طریق ایجاد پیوندهای هیدروژنی با دنباله‌های خطی پروتئین‌ها، تنظیم ژن و تنظیم اسمزی می‌باشد (Ho *et al.*, 2001).

تغذیه مناسب تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کند (Rion and Alloway, 2004). شواهد حاکی از آن است که عنصر روی، سمیت سدیم را کاهش می‌دهد (Bybordi, 2011). روی یکی از ریزمغذی‌های مهم در تغذیه گیاه است که در فرآیندهای متابولیکی مختلف کمک می‌کند به طوری که کمبود آن مانع رشد و توسعه گیاهان می‌شود (Gurmani *et al.*, 2012). شرکت در سنتز هورمون رشد از طریق اسیدآمینو تریپتوفان، تنظیم تشکیل نشاسته، سنتز کربوهیدرات، پروتئین، چربی (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010)، کمک در بیوسنتز سیتوکروم، رنگدانه، حفظ تمامیت غشاء پلازما (Aravind and Prasad, 2004) و شرکت در عملکرد گرده، تقسیم سلولی، لقاح جنسی و تولید زیست توده (Ebrahimian and Bybordi, 2011) از جمله نقش‌های روی در گیاه است. روی جزء اصلی تعدادی از آنزیم‌ها مثل دهیدروژنازها، پروتئیناز و پپتیدازها است، بنابراین واکنش‌های انتقال الکترون از جمله چرخه کربس را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ebrahimian and Bybordi, 2011). همچنین عنصر روی با افزایش جذب پتاسیم، نقش مهمی در تنظیم باز بودن روزنه‌ها و در

می‌شود (Tavallali *et al.*, 2009). شوری باعث تخریب ساختار کلروپلاست و ناپایداری کمپلکس‌های رنگدانه-پروتئین، تجزیه کلروفیل‌ها و تغییر در محتوی و ترکیب کاروتنوئیدها می‌شود (Ben-Asher *et al.*, 2006). کاهش محتوی کلروفیل تحت تنش شوری به دلیل افزایش فعالیت کلروفیلاز یا کاهش نسبی سنتز کلروفیل می‌باشد (Gunes *et al.*, 2007). کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در رابطه با ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین نیز باشد (De La Rosa-Ibarra and Maiti, 1995). کاهش مقدار پروتئین تحت تنش شوری می‌تواند به علت کاهش سنتز پروتئین یا به دلیل افزایش هیدرولیز آن باشد همچنین تنش شوری با کاهش جذب یون‌های نیترات و یا آمونیوم، سبب کاهش ازت و در نهایت کاهش پروتئین‌ها در گیاه می‌شود (Parvaiz and Satyawati, 2008). پاسخ گیاه به تنش شوری در دو مرحله رخ می‌دهد مرحله اول پاسخ سریع به افزایش فشار اسمزی خارجی است و مرحله دوم پاسخ آهسته‌تر به علت سمیت یونی در گیاه است (Munns and Tester, 2008). اولین پاسخ گیاه به تنش شوری، کاهش میزان توسعه سطح برگ و بدنبال تشدید آن، توقف رشد برگ است (Parida and Das, 2005).

سلول با سنتز و تجمع ترکیبات محافظ اسمزی به تنش شوری پاسخ می‌دهد (Banu *et al.*, 2009). پرولین، یکی از رایج‌ترین ترکیبات محافظ اسمزی است که در تنش شوری تجمع می‌یابد (Parvaiz and Satyawati, 2008). پرولین نقش‌هایی از قبیل تنظیم اسمزی، تنظیم واکنش‌های اکسایش و کاهش، تنظیم pH و تورژسانس را به عهده دارد که زمینه سازش و یا تحمل در برابر شوری را فراهم می‌نماید. پرولین همچنین به عنوان منبع کربن و نیتروژن برای ترمیم و رشد پس از تنش، برای تثبیت غشاء، تشکیلات سنتز پروتئین و آنزیم‌های سیتوپلاسمی و به عنوان یک جاروب‌کننده رادیکال آزاد عمل می‌کند (Weisany *et al.*, 2012). پرولین در pH خنثی فاقد بار الکتریکی بوده و در آب قابلیت حلالیت بالایی دارد و می‌تواند با سرفسولپیدها برهم‌کنش انجام دهد و با جلوگیری از تغییر

مواد و روش‌ها:

اپتیم‌سازی شوری و درصد جوانه‌زنی: پس از ضدعفونی بذر گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum* توسط اتانول ۷۰٪ (دو دقیقه) و هیپوکلریت سدیم ۱٪ (پنج دقیقه) و شستشو با آب مقطر (Wang and Oyaizu, 2009)، بذرها به پتری‌دیش‌های (هر پتری‌دیش ۱۰ بذر) محتوی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) منتقل شدند. شمارش بذرهاى جوانه زده تا ۱۰ روز انجام و درصد جوانه‌زنی بر اساس معادله زیر محاسبه شد (Isvand and Alizadeh, 2003).

$$Gp\% = \sum ni/N \times 100$$

در معادله فوق؛ Gp درصد جوانه‌زنی، ni تعداد بذرهاى جوانه‌زده در روز i و N تعداد کل بذرهاست.

کاشت بذر و اعمال تنش: پس از جوانه‌زنی بذرهاى

استریل در پتری‌دیش محتوی محلول هوگلند، گیاهک‌های ۳ روزه به ۳۶ گلدان حاوی پرلیت و خاک زراعی به نسبت ۱:۱ (وزنی/وزنی) انتقال یافتند. بافت خاک درون گلدان‌ها لومی-رسی با $pH = 7/9$ ، هدایت الکتریکی $0/89 \text{ dS m}^{-1}$ ، میزان روی $0/52 \text{ mg kg}^{-1}$ ، میزان فسفر 9 mg kg^{-1} ، میزان پتاسیم 200 mg kg^{-1} ، با $0/03$ درصد نیتروژن کل و $0/34$ درصد کربن آلی بود. تمامی گیاهان تا ۴ هفته، هر هفته با ۱۵۰ ml محلول هوگلند تغذیه شدند و در شرایط گلخانه‌ای (روز 25°C و شب 20°C)، شرایط نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار گرفتند. آزمایش در یک طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایشات فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. تیمار اول سطوح مختلف کلرید سدیم NaCl (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) و تیمار دوم سطوح مختلف سولفات روی $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بود. گیاهان ۲۸ روزه به مدت ۵ هفته با توجه به نوع تیمار، اعمال تنش شدند. ۱۲ تیمار و برای هر تیمار ۳ گلدان در نظر گرفته شد. ۱۲ تیمار شامل تیمار شاهد (۰ شوری و ۰ روی)، ۳ تیمار که تنها شوری را دریافت کرده بودند (شوری ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl)، ۲ تیمار که تنها روی دریافت کرده بودند (۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات روی) و ۶ تیمار که سطوح مختلف شوری (۴۵، ۹۰ و

نتیجه در میزان فتوسنتز دارد. روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌گردد (Cakmak, 2000). پورفوبیلینوژن پیش‌ماده کلروفیل می‌باشد که برای تشکیل این ماده Mg و Zn مورد نیاز است، پس در حضور Zn تشکیل کلروفیل تسهیل می‌گردد (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010). روی سبب افزایش معنی‌دار پارامترهای فتوسنتزی و محتوای کلروفیل تحت شرایط شوری و باعث کاهش اثرات شوری می‌شود (Weisany et al., 2012). همچنین عنصر روی به طور غیرمستقیم با کنترل فشار اسمزی به حفظ آب در شرایط تنش شوری کمک می‌کند (Rout and Das, 2003). در تنش شوری افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، منجر به پلیمریزاسیون پروتئین‌ها می‌شود، عنصر روی با حفظ تمامیت غشا از طریق اتصال به گروه‌های SH- فسفولیپیدها و پروتئین را از اکسیداسیون تیول و تشکیل دی‌سولفید محافظت می‌کند و به این ترتیب باعث افزایش کارایی گیاه در شرایط تنش شوری می‌شود (Tavallali et al., 2010). روی به عنوان کوفاکتور آنزیم RNA پلیمراز نقش اساسی در سنتز پروتئین‌ها دارد، در هر مولکول این آنزیم دو اتم Zn وجود دارد، اگر Zn بر داشته شود، آنزیم غیرفعال می‌شود. اثر اصلی روی در افزایش متابولیسم پروتئین‌ها، اثر آن در ثبات و عملکرد مواد ژنتیکی می‌باشد (Rion and Alloway, 2004).

گوجه‌فرنگی از محصولات مهم زراعی متعلق به خانواده *Solanaceae* (Ejaz et al., 2011) منبع مهمی از کاروتنوئیدها، فنولیک‌ها و اسیدهای آلی می‌باشد (Giovannelli and Paradiso, 2002). مصرف گوجه در کاهش بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان‌های پروستات و روده و حفظ تعادل اسید و قلیای بدن مؤثر است (Rao and Rao, 2007). با توجه به گسترش زمین‌های شور و کمبود عناصر مغذی این زمین‌ها از جمله روی، استفاده از ترکیباتی که بتواند رشد و تولید را در شرایط شور بهبود بخشد، ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری و تعدیل‌کننده روی بر برخی شاخص‌های رشد و ترکیبات بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی انجام شد.

میلی مولار در هیچ یک از روزها مشاهده نشد (شکل ۱). با توجه به اینکه در غلظت ۳۰ تنها ۳٪ کاهش جوانه زنی داشتیم بنابراین برای گیاه تنش محسوب نمی شود، به همین علت غلظت ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ باقی می ماند که جهت اطمینان برای اینکه غلظت پایین را هم داشته باشیم به جای غلظت ۶۰ غلظت ۴۵ انتخاب گردید. بنابراین در مرحله کشت گلدانی غلظت های ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار کلورسیدیم انتخاب شدند.

تعداد و سطح برگ، عمق ریشه و ارتفاع گیاه با افزایش شوری، کاهش یافتند. مقدار کاهش سطح برگ در گیاهان گوجه فرنگی ۶۳ روزه در سطوح ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار شوری به ترتیب ۲۳/۱۱٪، ۴۸/۹۸٪ و ۵۵/۰۹٪ نسبت به شاهد بود. در همین سطوح شوری به ترتیب، کاهش تعداد برگ ۷/۳۴٪، ۱۱/۹۷٪ و ۱۸/۴۱٪، کاهش عمق ریشه ۱۷/۹۵٪، ۳۰/۳٪ و ۳۸/۳۶٪ و کاهش ارتفاع بخش هوایی ۲۰/۳۷٪، ۲۷/۷۶٪ و ۳۶/۵۱٪ نسبت به گیاهان شاهد اندازه گیری گردید (جدول ۳).

بررسی ها کاهش مقدار رنگیزه های فتوسنتزی را همراه با افزایش تنش شوری نشان داد. کمترین میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل در شوری ۱۲۰ میلی مولار به ترتیب با ۲۷/۷۲٪، ۳۰/۳۱٪ و ۲۸/۴۷٪ کاهش نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. کاهش میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل در شوری ۹۰ میلی مولار به ترتیب ۱۵/۲۱٪، ۱۷/۶۲٪ و ۱۵/۹۱٪ و در شوری ۴۵ میلی مولار به ترتیب ۸/۹۹٪، ۱۱/۳۶٪ و ۹/۶۸٪ نسبت به شاهد اندازه گیری شد. با افزایش شوری مقدار کارتنوئید در شوری ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ نسبت به شاهد به ترتیب ۱۴/۱۱٪، ۲۷/۴۲٪ و ۳۵/۷۳٪ کاهش را نشان داد (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری میزان پروتئین و کربوهیدرات افزایش و پروتئین کاهش یافت. میزان پروتئین در شوری ۱۲۰، ۹۰ و ۴۵ به ترتیب ۲۲۰/۱۹٪، ۱۵۵/۴۸٪ و ۷۹/۵۸٪ افزایش و میزان کربوهیدرات در همین سطوح شوری به ترتیب ۲۱۹/۴٪، ۱۳۰/۰۸۴٪ و ۷۵/۱۲٪ افزایش را نسبت به گیاهان شاهد نشان دادند. میزان پروتئین در شوری ۱۲۰، ۹۰ و ۴۵ به ترتیب نسبت به شاهد ۳۲/۷۸٪، ۲۹/۹۷٪ و ۱۸/۵۸٪ کاهش نشان داد (جدول ۳).

۱۲۰ میلی مولار NaCl) را همراه با سطوح مختلف شوری (۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات روی) همزمان دریافت کرده بودند. گلدان ها همگی به طور همزمان به مدت ۵ هفته، در هر هفته یک بار در روزهای ۲۸، ۳۵، ۴۲، ۴۹ و ۵۶ با ۱۵۰ میلی لیتر از محلول تیمار مربوطه آبیاری شدند. محلول های سدیم کلرید و سولفات روی به محلول هوگلند فاقد روی اضافه شد. هوگلند فاقد کلرید سدیم و فاقد روی به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. برداشت نهایی یک هفته بعد از آخرین تنش یعنی در روز ۶۳ انجام شد.

فاکتورهای مورد سنجش: در روز برداشت ارتفاع گیاه، عمق ریشه، تعداد و سطح برگ اندازه گیری شد. اندازه گیری کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل به روش Arnon (۱۹۴۹)، کارتنوئیدها به روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳)، میزان پروتئین برگ به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، پروتئین به روش Bradford (۱۹۷۶) و اندازه گیری کربوهیدرات کل به روش فنل سولفوریک اسید (Dubois et al., 1956) انجام شد. جهت آنالیز داده ها از نرم افزار SPSS16 و برای مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن و برای رسم نمودارها از برنامه Excel استفاده گردید.

نتایج:

تأثیر تیمار شوری: سطوح مختلف شوری (۰ به عنوان شاهد، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار) به تنهایی بر تمامی شاخص های مورد بررسی (جدول ۱ و ۲) گیاهان گوجه فرنگی ۶۳ روزه اثر معنی داری (سطح ۰/۰۱) نشان داد. با افزایش شوری درصد جوانه زنی به طور معنی داری کاهش یافت. کمترین میزان جوانه زنی در غلظت ۱۵۰ میلی مولار در همه روزها مشاهده شد. در روز دهم در شوری های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب ۳/۳۳٪، ۲۶/۶۶٪، ۵۶/۶۶٪، ۶۰٪ و ۹۳/۳۳٪ کاهش جوانه زنی نسبت به شاهد مشاهده شد. با توجه به کاهش ۹۳/۳۳ درصدی جوانه زنی در شوری ۱۵۰ میلی مولار، سطح شوری فوق در کشت گلدانی حذف گردید. اختلاف معنی داری بین درصد جوانه زنی در شاهد و شوری ۳۰

جدول ۱- آنالیز واریانس غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر درصد جوانه‌زنی گوجه‌فرنگی در روز دهم.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات درصد جوانه‌زنی روز دهم
تیمار شوری	۵	۴۲۷۶/۶۷**
اثر خطا	۱۲	۱۰۵/۵۶
ضریب تغییرات		۴/۱۳

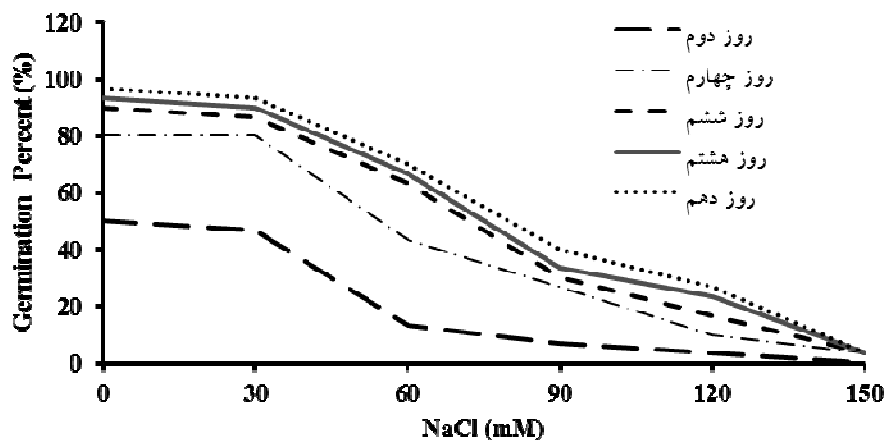
** : معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر شوری (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار)، اثر سولفات روی (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) و اثر متقابل آنها بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهان گوجه‌فرنگی ۶۳ روزه.

منابع تغییر	درجه آزادی					
	کلروفیل <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i>	کلروفیل کل	کارتونوئید	تعداد برگ	سطح برگ
تیمار شوری	۰/۲۷**	۰/۰۵۳**	۰/۵۶**	۰/۵۹**	۷/۸۸**	۳۰۶۶۷/۵۸**
تیمار _۴ ZNSO	۰/۱۲**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۱۶**	۰/۱۳**	۱/۸۶ ^{ns}	۵۱۸۹/۰۸**
اثر متقابل شوری-روی	۰/۰۲*	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۲۴*	۰/۷۱ ^{ns}	۱۴۰/۱۹ ^{ns}
اثر خطا	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۹	۱/۱۴	۶۶۷/۵۳
ضریب تغییرات	۱۵/۱۴	۱۸/۳۶	۱۵/۰۸	۱۹/۶۷	۱۱/۸۳	۲۷/۱۲

منابع تغییر	درجه آزادی				
	ارتفاع گیاه	عمق ریشه	پرولین	پروتئین	کربوهیدرات
تیمار شوری	۱۱۳/۱۲**	۱۰۷/۶۴**	۲۶۰۶/۰۷**	۱۰۴۳۱/۵۴**	۰/۳۱**
تیمار _۴ ZNSO	۲۲/۳۵**	۲۹/۷۸**	۲۰۷/۴۲**	۳۲۵۶/۶۱**	۰/۰۵**
اثر متقابل شوری-روی	۶/۰۹**	۲/۰۷*	۲۴/۴*	۱۰۸۳/۳۴*	۰/۰۰۴*
اثر خطا	۱/۴۳	۰/۸۳	۹/۴۶	۳۳۴/۶۳	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	۲۰	۳۲/۳۱	۳۹	۲۰/۴۸	۳۹/۰۱

^{ns} غیر معنی‌دار * : معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ ** : معنی‌دار در سطح ۰/۰۱



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر شوری (۰، ۳۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) بر درصد جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی تا ده روز

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر شوری (۰ به عنوان شاهد، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار کلرید سدیم) بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهان گوجه‌فرنگی ۶۳ روزه.

غلظت‌های مختلف شوری (میلی مولار)				شاخص
۱۲۰	۹۰	۴۵	۰	
۴۵/۳ ^b ± ۶/۵۶	۴۷/۸ ^b ± ۶/۱۲	۶۷/۶ ^a ± ۵/۲۴	۷۵/۱۱ ^a ± ۶/۳۴	سطح برگ (cm ²)
۹/۸۸ ^c ± ۰/۴۳	۱۰/۶۶ ^{bc} ± ۰/۲۳	۱۱/۲۲ ^{ab} ± ۰/۴۵	۱۲/۱۱ ^a ± ۰/۳۵	تعداد برگ
۱۴/۴۵ ^d ± ۰/۳۷	۱۶/۴۴ ^c ± ۰/۳۶	۱۸/۱۲ ^b ± ۰/۴	۲۲/۷۶ ^a ± ۰/۳۹۸	ارتفاع گیاه cm
۱۲/۸۷ ^d ± ۰/۳	۱۴/۴۴ ^c ± ۰/۲۳	۱۷ ^b ± ۰/۳۲	۲۰/۷۲ ^a ± ۰/۲۸	عمق ریشه cm
۱/۰۶ ^d ± ۰/۰۲۴	۱/۲۵ ^c ± ۰/۰۱۸	۱/۳۴ ^b ± ۰/۰۲۸	۱/۴۷ ^a ± ۰/۰۲۹	کلروفیل a (mg/g FW)
۰/۴۲ ^c ± ۰/۰۲۱	۰/۵ ^b ± ۰/۰۲۶	۰/۵۳ ^{ab} ± ۰/۰۲۹	۰/۶۰۷ ^a ± ۰/۰۱۶	کلروفیل b (mg/g FW)
۱/۴۹ ^c ± ۰/۰۳۹	۱/۷۵ ^b ± ۰/۰۴۱	۱/۸۴ ^{ab} ± ۰/۰۴۶	۲/۰۸ ^a ± ۰/۰۶۶	کلروفیل کل (mg/g FW)
۱/۰۵ ^d ± ۰/۰۳۲	۱/۱۸ ^c ± ۰/۰۳۶	۱/۴۰ ^b ± ۰/۰۳۹	۱/۶۳ ^a ± ۰/۰۲۲	کارتونوئید (mg/g FW)
۵۷/۲۵ ^d ± ۱/۰۰۳	۴۵/۶۸ ^b ± ۱/۰۱۶	۳۲/۱۱ ^c ± ۱/۰۰۰	۱۷/۸۸ ^d ± ۱/۰۵۶	پروترین (μmol/g FW)
۱۵۸/۲ ^c ± ۵/۳۷	۱۶۹/۵ ^c ± ۵/۲۷	۱۹۱/۶ ^b ± ۵/۲۹	۲۳۵/۴ ^a ± ۵/۲	پروتئین (mg/g FW)
۰/۶۴۲ ^a ± ۰/۰۰۹	۰/۴۶۴ ^b ± ۰/۰۱۹	۰/۳۵۲ ^c ± ۰/۰۱۳	۰/۲۰۱ ^d ± ۰/۰۱۶	کربوهیدرات (mg/g FW)

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها مطابق آزمون دانکن (سطح ۰/۰۵) است. داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± SE است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است.

نتایج اثر متقابل تنش شوری و مکمل روی بر گیاه گوجه‌فرنگی: آنالیز واریانس اثر معنی‌دار اثر متقابل شوری و سولفات روی را بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی به استثنای کلروفیل b، کلروفیل کل، سطح و تعداد برگ گیاهان گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد (جدول ۲). کمترین عمق ریشه و ارتفاع بخش هوایی گیاهان ۶۳ روزه در شوری ۱۲۰ میلی مولار بدون دریافت سولفات روی و بیشترین عمق ریشه و ارتفاع بخش هوایی در گیاهان بدون شوری با غلظت ۱۰ میکرومولار سولفات روی مشاهده می‌شود. سولفات روی مقدار کاهش ارتفاع بخش هوایی و عمق ریشه را در شرایط تنش شوری بهبود بخشیده است، به طوری که کاهش ۳۶/۵۱ درصدی ارتفاع بخش هوایی گیاهان ۶۳ روزه تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی مولار در حضور سطوح ۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات روی به ترتیب به ۲۸/۹۸ و ۲۸/۱۵ درصد تغییر یافت. سولفات روی مقدار کاهش عمق ریشه در شرایط تنش شوری را نیز بهبود بخشیده است به طوری که کاهش ۳۸/۳۶ درصدی عمق ریشه گیاهان ۶۳ روزه تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی مولار در حضور سطوح ۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات روی به ترتیب به ۳۲/۵۱ و

تأثیر تیمار روی: سطوح مختلف روی به تنهایی بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی به استثنای تعداد برگ و مقدار کلروفیل b اثر معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) را نشان داد (جدول ۲). سطح برگ گیاهان ۶۳ روزه در غلظت ۱۰ میکرومولار سولفات روی ۳۰/۵۱٪ افزایش نسبت به سطح برگ گیاهان شاهد نشان دادند. ارتفاع بخش هوایی و عمق ریشه در ۱۰ میکرومولار سولفات روی به ترتیب ۹/۳۰ و ۲۰/۸۴ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان دادند. میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و مقدار کارتونوئید با کاربرد سولفات روی افزایش معنی‌داری یافتند. بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در غلظت ۱۰ میکرومولار روی مشاهده شد، به طوری که در غلظت ۱۰ میکرومولار میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و مقدار کارتونوئید به ترتیب ۱۶/۴۶٪، ۱۳/۲۹٪ و ۱۷/۲۶٪ افزایش نسبت به شاهد نشان دادند. با افزایش سولفات روی مقدار پروتئین و کربوهیدرات افزایش و مقدار پروتئین کاهش یافت. بیشترین مقدار پروتئین و کربوهیدرات در ۱۰ میکرومولار سولفات روی به ترتیب با ۱۹/۰۸٪ و ۳۷/۱۴٪ افزایش و کمترین مقدار پروتئین در غلظت ۱۰ میکرومولار با ۱۸/۸۵٪ کاهش نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سولفات روی (۰ (شاهد)، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی ۶۳ روزه.

غلظت‌های مختلف سولفات روی (میکرومولار)			شاخص
۱۰	۵	۰	
۱۷۷/۸۳ ^a ± ۷/۴۸	۱۵۵/۶ ^{a,b} ± ۷/۴۵	۱۳۶/۲۵ ^b ± ۷/۴	سطح برگ (cm ²)
۱۹/۴۳ ^a ± ۰/۳۳۴	۱۷/۶۵ ^b ± ۰/۳۴۵	۱۶/۷۵ ^b ± ۰/۳۴۰	ارتفاع گیاه (cm)
۱۷/۴۵ ^a ± ۰/۲۷۱	۱۶/۷۹ ^a ± ۰/۲۶۰	۱۴/۴۴ ^b ± ۰/۲۲۳	عمق ریشه (cm)
۱/۳۷۳ ^a ± ۰/۰۲	۱/۳۱۲ ^a ± ۰/۰۳۴	۱/۱۷۸ ^b ± ۰/۰۱۴	کلروفیل a (mg/g FW)
۱/۹ ^a ± ۰/۰۳۴	۱/۸۳۵ ^a ± ۰/۰۴	۱/۶۷۷ ^b ± ۰/۰۵	کلروفیل کل (mg/g FW)
۱/۴۱۳ ^a ± ۰/۰۸۰	۱/۳۴۴ ^a ± ۰/۰۸۲	۱/۲۰۵ ^b ± ۰/۰۷۵	کارتونوئید (mg/g FW)
۳۴/۷۶۸ ^b ± ۰/۸۸۸	۳۷/۰۹۳ ^b ± ۰/۸۶	۴۲/۸۴۵ ^a ± ۰/۸۱۸	پروترین (μmol/g FW)
۲۰۵/۴۲۵ ^a ± ۵/۲۶	۱۸۸/۲۰۸ ^b ± ۵/۲۸۱	۱۷۲/۵ ^c ± ۵/۲۸۰	پروتئین (mg/g FW)
۰/۴۸ ^a ± ۰/۰۱۱	۰/۰۴۱۵ ^b ± ۰/۰۱۶	۰/۳۵ ^c ± ۰/۰۱۴	کربوهیدرات (mg/g FW)

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها مطابق آزمون دانکن (سطح ۰/۰۵) است. داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± SE است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) و سولفات روی (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بر شاخص‌های رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهان گوجه‌فرنگی.

شوری	سولفات روی	ارتفاع بخش‌های هوایی	عمق ریشه گیاهان	کلروفیل a	کارتونوئید
۰	۰	۲۰/۶ ^b ± ۰/۶۹	۱۹/۵ ^{b,c} ± ۰/۵۲۲	۱/۳۶ ^{c,d} ± ۰/۰۴۸	۱/۴۴ ^{c,d} ± ۰/۰۵۵
۰	۵	۲۱/۰۶ ^b ± ۰/۶۵	۲۰/۵ ^b ± ۰/۵۰	۱/۴۶ ^{a,b} ± ۰/۰۴۳	۱/۶۲۷ ^b ± ۰/۰۵۰
۰	۱۰	۲۶/۶۳ ^a ± ۰/۶۰	۲۲/۱۷ ^a ± ۰/۴۲۲	۱/۶ ^a ± ۰/۰۵۲	۱/۸۴۳ ^a ± ۰/۰۴۵
۰	۰	۱۷/۲۳ ^{c,d} ± ۰/۶۲	۱۵/۳۳ ^f ± ۰/۵۰۲	۱/۳۲ ^{b,c,d} ± ۰/۰۲۸	۱/۳۳ ^{d,e} ± ۰/۰۴۲
۴۵	۵	۱۷/۹۶ ^c ± ۰/۵۹	۱۷/۳۳ ^{d,e} ± ۰/۳۲۲	۱/۳۶ ^{c,d} ± ۰/۰۳۴	۱/۵۱ ^{b,c} ± ۰/۰۳۸
۴۵	۱۰	۱۹/۱۶ ^{b,c} ± ۰/۶۵	۱۸/۳۳ ^{c,d} ± ۰/۴۲۲	۱/۳۶ ^{c,d} ± ۰/۰۲۴	۱/۳۷۳ ^{c,d} ± ۰/۰۷
۹۰	۰	۱۵/۲۳ ^{d,e} ± ۰/۳۹	۱۲/۵ ^h ± ۰/۳۴۲	۱/۳۷ ^{c,d,e} ± ۰/۰۳۸	۱/۰۹۷ ^{j,h} ± ۰/۰۲۳
۹۰	۵	۱۶/۹۶ ^{c,d} ± ۰/۴۴	۱۶/۱۶ ^{e,f} ± ۰/۲۹۲	۱/۲۹ ^{c,d,e} ± ۰/۰۵۱	۱/۱۷۳ ^{e,f,j} ± ۰/۰۳۵
۹۰	۱۰	۱۷/۱۳ ^{c,d} ± ۰/۳۸	۱۴/۶۶ ^{f,j} ± ۰/۳۴۵	۱/۳ ^{c,d} ± ۰/۰۴۰	۱/۲۹۳ ^{e,f} ± ۰/۰۴۵
۱۲۰	۰	۱۳/۹۳ ^c ± ۰/۳۹	۱۰/۵ ⁱ ± ۰/۱۱۲	۰/۸۴ ^f ± ۰/۰۴۲	۰/۹۵ ^h ± ۰/۰۳۸
۱۲۰	۵	۱۴/۶۳ ^c ± ۰/۲۸	۱۳/۱۶ ^{j,h} ± ۰/۲۳۲	۱/۱۴ ^e ± ۰/۰۴۶	۱/۰۶۷ ^{j,h} ± ۰/۰۴۲
۱۲۰	۱۰	۱۴/۸ ^e ± ۰/۶۱	۱۴/۶۶ ^{f,j} ± ۰/۱۲۲	۱/۲۲۳ ^{c,d,e} ± ۰/۰۳۸	۱/۱۴ ^{f,j} ± ۰/۰۵۲

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها مطابق آزمون دانکن (سطح ۰/۰۵) است. داده‌ها میانگین ۳ تکرار ± SE است. مقایسه برای هر ردیف جداگانه انجام شده است.

۲۴/۸۲ درصد تغییر یافت. در سایر سطوح شوری نیز نتایج مشابه بدست آمد (جدول ۵). کاهش ۳۵/۷۳٪ کارتونوئید و ۲۷/۷۲٪ کلروفیل a در برگ گیاهان تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد، در حضور ۱۰ میکرومولار سولفات روی به ترتیب به ۲۰/۸۳٪ و ۱۰/۰۷٪ و در حضور ۵ میکرومولار سولفات روی به ترتیب به ۲۵/۹٪ و ۱۶/۱۷٪ رسید. در غلظت‌های مختلف شوری با افزودن مکمل روی میزان کلروفیل a و کارتونوئید نسبت به شرایط بدون سولفات روی

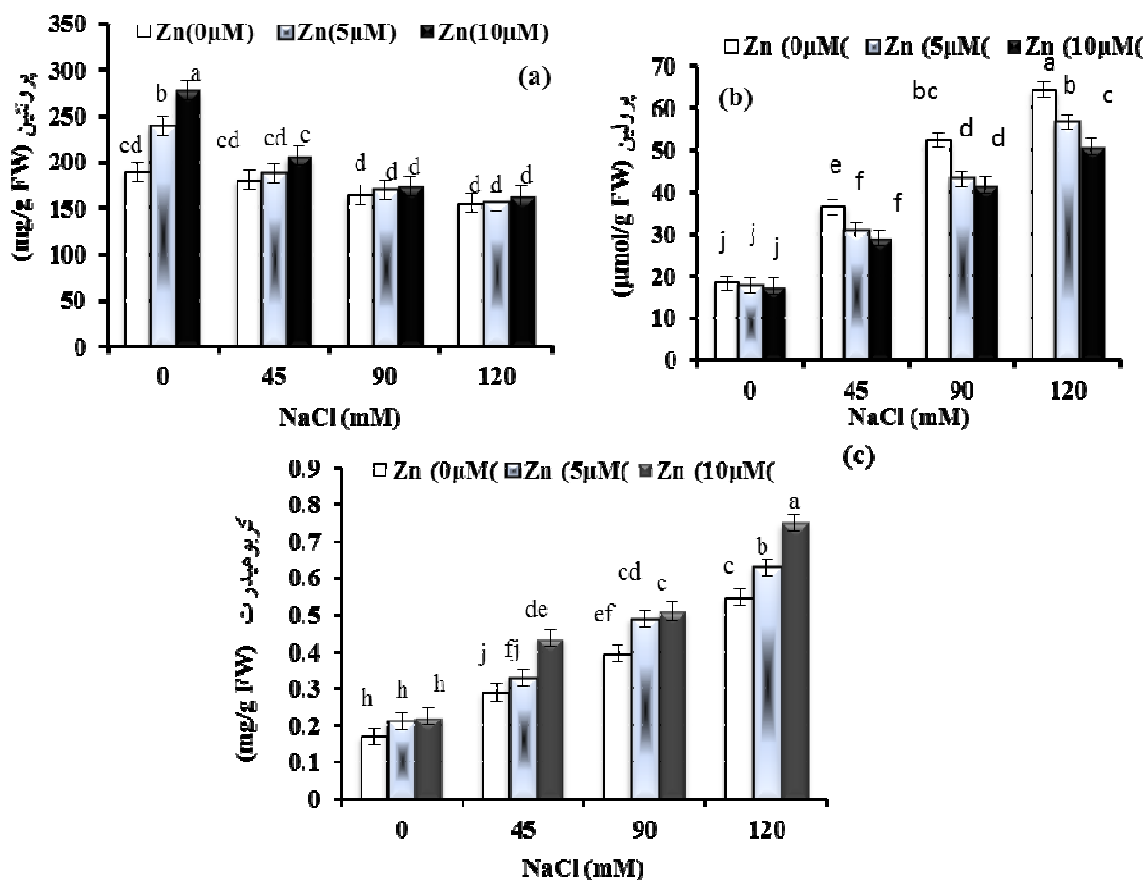
افزایش یافته است، یعنی سولفات روی مقدار کاهش کلروفیل *a* و کارتنوئید را در شرایط تنش شوری بهبود بخشیده است (جدول ۵).

کمترین میزان پرولین در گیاهان بدون تنش شوری با غلظت ۱۰ میکرومولار سولفات روی مشاهده می‌شود. بیشترین میزان پرولین در گیاهان با غلظت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و بدون دریافت سولفات روی مشاهده می‌شود. در تنش شوری با افزایش سولفات روی از مقدار پرولین کاسته می‌شود، به طوری که افزایش ۲۲۰/۱۹ درصدی پرولین برگ گیاهان گوجه ۶۳ روزه تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در حضور سطوح ۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات روی به ترتیب به ۲۰۷/۹۳ و ۱۷۶/۳۲ درصد تغییر یافت. در غلظت‌های مختلف شوری با افزایش غلظت سولفات روی میزان پروتئین نسبت به شرایط بدون سولفات روی افزایش یافته است به طوری که کاهش ۳۲/۷۸ درصدی پروتئین برگ گیاهان ۶۳ روزه تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در حضور سطوح ۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات روی به ترتیب به ۱۷/۵۱ و ۱۳/۸۴ درصد تغییر یافت. بین مقدار پروتئین در سطوح ۴۵ و ۹۰ میلی‌مولار شوری همراه با ۱۰ میکرومولار روی با مقدار پروتئین شاهد (بدون شوری و بدون روی) اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود، یعنی افزودن ۱۰ میکرومولار روی سبب شده مقدار پروتئین برگ گیاهان تحت تنش ۹۰ و ۴۵ میلی‌مولار برابر مقدار پروتئین برگ گیاهان شاهد (بدون شوری و بدون روی) باشد و روی اثر کاهشی شوری را بر مقدار پروتئین حذف نموده است (شکل ۲). کمترین میزان کربوهیدرات در گیاهان شاهد مشاهده می‌شود. بیشترین میزان کربوهیدرات در گیاهان تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار همراه با ۱۰ میکرومولار سولفات روی با افزایش ۳۴۱/۱۷۶٪ نسبت به شاهد محاسبه شد. در تیمار شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در غلظت ۵ میکرومولار سولفات روی مقدار افزایش کربوهیدرات ۲۷۰/۰۵۸٪ و در همین سطح شوری بدون دریافت سولفات روی مقدار کربوهیدرات ۲۱۹/۴٪ افزایش را نسبت به شاهد نشان می‌دهد. در سایر سطوح شوری نیز نتایج مشابه مشاهده گردید (شکل ۲).

بحث:

در این بررسی با افزایش سطوح شوری با کاهش درصد جوانه‌زنی و تاخیر در جوانه‌زنی روبرو شدیم. نتایج مشابه برای ارزن (Al-Taisan, 2010) گزارش شده است. تنش شوری به دلیل کاهش آب مورد نیاز برای آبنوشی و اثر سمیت یون‌های سدیم و کلر موجب القای خواب اجباری و کاهش درصد جوانه‌زنی بذر می‌شود (Ghars *et al.*, 2009). برای جوانه‌زنی، بایستی بذر به اندازه کافی آب جذب نماید، چنانچه جذب آب دچار اختلال گردد و یا به کندی صورت گیرد، مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و سرعت جوانه‌زنی بذر کاهش می‌یابد (Eslami *et al.*, 2009).

در این مطالعه پارامترهای رشد مثل ارتفاع گیاه، عمق ریشه، تعداد و سطح برگ و مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی با افزایش غلظت شوری نسبت به گیاهان شاهد کاهش معنی‌داری نشان دادند. نتایج مشابه برای چغندر قند (Ghoulam *et al.*, 2002) و یونجه (Wang *et al.*, 2009) گزارش شده است. کاهش کارایی زنجیره انتقال الکترون و کمپکس جمع‌کننده نور، کاهش کارایی کربوکسیلازی آنزیم رویسکو و یا افزایش فعالیت اکسیژنازی این آنزیم، کاهش ظرفیت بازسازی RUBP، مهار سنتز ATP به دلیل مهار فعالیت کمپلکس ATP سینتاز، غیرفعال شدن فتوسیستم (PSII و PSI) به دلیل جدا شدن برخی از پروتئین‌ها از آن‌ها در حضور غلظت‌های بالای سدیم و کلر، تغییر در هدایت روزنه‌ای، نرخ تعرق، محتوای نسبی آب و کاهش تورگر، تغییر در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و القای کلروفیلاز، سمیت نمک به دلیل جذب مقادیر زیاد یون‌های سدیم و کلر و رقابت و اختلال در جذب و انتقال یون‌های ضروری و عدم تعادل و کمبود عناصر ضروری، تنش اکسیداتیو و اکسیداسیون ترکیبات مهم زیستی از جمله پروتئین‌ها و یا پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب به غشاهای زیستی از جمله غشاهای تیلاکوئیدی از جمله دلایلی است که در کاهش رشد در شرایط تنش شوری در گزارشات مختلف ذکر شده است (Parida and Das, 2005; Weisany *et al.*, 2012). کاهش رشد برگ بعد از افزایش شوری خاک به علت اثر اسمزی



شکل ۲- اثر متقابل شوری (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار) و سولفات روی (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بر میزان پروتئین (a)، پروتئین (b) و کاربوهیدرات (c) برگ گیاهان گوجه‌فرنگی ۶۳ روزه. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها مطابق آزمون دانکن (سطح ۰/۰۵) است. خطوط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

بهرتر مواد مغذی می‌باشد (Gurmani et al., 2012). همچنین فلز روی به عنوان کوفاکتور بسیاری از آنزیم‌ها در بیوسنتز اسیدآمینه تریپتوفان، به عنوان پیش‌ماده سنتز اکسین نقش دارد. اکسین محرک رشد طولی سلول‌ها در ساقه و کولتوپتیل می‌باشد، بنابراین افزایش روی در حد مناسب سبب افزایش اکسین در گیاه و در نتیجه تحریک رشد گیاه می‌شود (Weisany et al., 2012).

بررسی اثر متقابل شوری و روی بر گیاه گوجه نشان داد که افزایش روی به گیاهان در شرایط شوری محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه را نسبت به شرایطی که گیاه تنها با شوری تیمار شده بود افزایش می‌دهد. این افزایش در محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه در شرایط شوری در تیمار ۱۰ میکرومولار روی نسبت به تیمار ۵ میکرومولار روی بیشتر بود. نتایج مشابه در

شوری اطراف ریشه‌ها است. افزایش شوری خاک سبب از دست دادن آب سلول‌های برگ، کاهش حجم سلولی و کوچک‌شدن برگ‌ها می‌شود (Munns and Tester, 2008). کاهش تعداد برگ به خاطر تجمع یون سدیم و اثر سمیت یونی می‌باشد (Jung, 2004). همچنین تنش شوری در جذب برخی عناصر ضروری بیوسنتز کلروفیل نظیر آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند (Neocleous and Vasilakakis, 2007).

در این بررسی با افزایش روی در شرایط شوری مشاهده شد که اثرات زیان‌آور کاهش رشد در گیاهان تا حدودی بهبود یافت و وزن تر و خشک برگ و سطح برگ افزایش یافت. علت افزایش شاخص‌های رشد در اثر کاربرد روی، در نتیجه تأثیر این عنصر بر مقدار کلروفیل برگ و نهایتاً افزایش فتوسنتز و جذب

بررسی گیاه پسته (Tavallali *et al.*, 2009) نیز بدست آمد. روی می‌تواند بیوستنز کلروفیل و کاروتنوئیدها و در نهایت کارایی فتوستنز گیاه را افزایش دهد که این امر می‌تواند به علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2004). همچنین روی به گروه‌های SH بخش پروتئینی غشا متصل می‌شود و فسفولیپیدها و پروتئین‌ها را از اکسیداسیون تیول و تشکیل دی‌سولفید محافظت می‌کند و باعث سنتز کلروفیل می‌گردد (Cakmak, 2000). روی می‌تواند بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل یا عناصری که قسمتی از مولکول کلروفیل هستند مانند آهن و منیزیم نیز مؤثر باشد (Choudhury *et al.*, 2006). همچنین روی با افزایش ایندول استیک اسید مانع از تخریب کلروفیل می‌شود و در نتیجه میزان کلروفیل افزایش می‌یابد (Cakmak and Marschner, 1988). این فلز در فعال‌سازی پروتئین سنتتازهای مسیر بیوستنز کلروفیل و برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز نیز مؤثر است و با حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن، در افزایش کلروفیل نقش اساسی دارد (Alam *et al.*, 2001).

در این مطالعه مقدار پرولین برگ گوجه با افزایش شوری، افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد نشان داد. مشابه با تجمع پرولین آزاد همراه با افزایش تنش شوری در غلظت‌های ۳۳، ۶۶ و ۹۹ میلی‌مولار در گیاه سویا (*Glycine max L.*) که این افزایش در شوری ۹۹ میلی‌مولار نسبت به گیاهان شاهد ۳۴۰٪ محاسبه گردید (Weisany *et al.*, 2012). سلول با سنتز و تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی به تنش شوری پاسخ می‌دهد. تجمع پرولین قدر مطلق پتانسیل اسمزی سلول را افزایش می‌دهد، سلول را در برابر آسیب‌های اسموتیک از طریق تثبیت پروتئین‌ها و غشای سلولی و تنظیم pH و تورژسانس محافظت می‌کند و به این ترتیب زمینه تحمل تنش شوری را فراهم می‌کند (Safarnejhad *et al.*, 2007). تجمع پرولین در شوری‌های بالا ممکن است به خاطر کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات یا افزایش

فعالیت آنزیم پروتئاز باشد. با توجه به افزایش فعالیت اورنیتین آمینوترانسفراز و پرولین-۵-کربوکسیلات ردوکتاز، آنزیم‌های دخیل در بیوستنز پرولین و همچنین به دلیل مهار پرولین‌اکسیداز و پرولین‌دهیدروژناز و پرولین کربوکسیلاز میزان پرولین در شوری افزایش می‌یابد (Weisany *et al.*, 2012). در این مطالعه افزایش روی به گیاه تحت تنش شوری، میزان پرولین گوجه را نسبت به شرایطی که گیاه تنها با شوری تیمار شده بود کاهش داد. مشابه این نتیجه در گیاهان برنج دیده شده است (Saleh and Maftoun, 2008). کاهش محتوای پرولین ممکن است به اثر رقیق‌سازی مربوط باشد زیرا تیمار روی رشد گیاه را افزایش می‌دهد و وزن تر و خشک بخش هوایی را در شرایط تنش شوری افزایش می‌دهد (Weisany *et al.*, 2012).

در مطالعه‌ی حاضر میزان پروتئین در گیاهان گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری کاهش یافت اما با اعمال روی از میزان این کاهش کاسته شد، ضمن اینکه تیمار روی به تنهایی نیز مقدار پروتئین را افزایش داد. نتایج مشابه در گیاه پسته (Tavallali *et al.*, 2009) و گیاه گوجه‌فرنگی (Gurmani *et al.*, 2012) بدست آمده است. تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد در جهت حفظ و تنظیم فشار اسمزی سلول در شرایط تنش شوری در توت سفید (Surbahi *et al.*, 2008) و جو (Khosravinejad *et al.*, 2009) مشاهده شده است. میزان بالای سدیم مانع جذب عنصر پتاسیم می‌شود. پتاسیم K^+ به عنوان متصل‌کننده tRNA به ریبوزوم‌ها در سنتز پروتئین نقش دارد پس شوری با اختلال در جذب پتاسیم سبب کاهش سنتز پروتئین می‌شود (Blaha *et al.*, 2000). به نظر می‌رسد اختلال در سنتز پروتئین عامل اصلی آسیب به وسیله Na^+ باشد (Tester and Davenport, 2003). همچنین روی به عنوان کوفاکتور آنزیم RNA پلیمراز است این آنزیم در بیوستنز پروتئین‌ها نقش دارد (Rion and Alloway, 2004). روی برای سوخت‌وساز طبیعی پروتئین نیز نیاز است و سبب تثبیت ساختمان RNA، DNA و ریبوزوم‌ها می‌شود (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010). در شرایط کمبود روی فعالیت آنزیم RNA پلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش

که اهمیت نسبی آن‌ها در تنظیم اسمزی بستگی به گونه، بافت و میزان شوری دارد (Munns, 2002). طی تنش به دلیل تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، سنتز قندهای محلول از مسیرهای غیرفتوسنتزی نیز افزایش می‌یابد (Hissao, 1973). در این بررسی با افزایش میزان روی در شرایط شوری مقدار کربوهیدرات‌ها افزایش یافت. چون روی با افزایش جذب پتاسیم که در تشکیل و انتقال کربوهیدرات‌ها ضروری است سبب افزایش مقدار کربوهیدرات‌ها می‌شود. همچنین روی با افزایش جذب پتاسیم و باز شدن روزنه احتمالاً به عنوان یک ترکیب آنزیم کربونیک‌انیدراز و یا به عنوان یک عامل در نگهداری تمامیت غشا و جذب K^+ سبب افزایش فتوسنتز می‌شود و افزایش فتوسنتز سبب افزایش سنتز کربوهیدرات در گیاه می‌شود (Salisbury and Ross, 1992). تیمار روی در گیاهان برنج در شرایط تنش شوری مقدار کربوهیدرات (قندهای محلول) را افزایش داد (Saleh and Maftoun, 2008). در شرایط کمبود روی کاهش فتوسنتز و کاهش سنتز کربوهیدرات به خاطر کاهش فعالیت کربونیک‌انیدراز نیز مشاهده می‌شود (Cakmak and Marschner, 1988).

نتیجه‌گیری کلی:

از آنجا که تیمار گوجه‌فرنگی با مکمل روی در شرایط تنش شوری توانست تا حدودی اثرات زیان‌آور تنش شوری را بهبود بخشد و رشد گیاهان را در این شرایط افزایش دهد، بنابراین پیشنهاد افزودن ترکیبات روی به خاک‌های مناطق شور جهت کاهش اثرات منفی سدیم و کلر می‌شود. می‌توان از اسپری برگی سولفات روی نیز استفاده نمود.

یافته و تجزیه و تخریب RNA شدت می‌یابد در نتیجه سنتز پروتئین به شدت کاهش می‌یابد، بنابراین در صورت در دسترس بودن روی، درصد پروتئین گیاه افزایش می‌یابد. روی نقش مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات و در تنظیم متابولیسم ساکاریدها، اسیدنوکلئیک و متابولیسم چربی دارد. حدود ۲۰۰ آنزیم از جمله روبیسکو، آلدولاز، ساکارز سنتاز و نشاسته سنتاز و عوامل رونویسی به روی به عنوان جز عملکردی نیاز دارند (Ebrahimian and Bybordi, 2011). بررسی تأثیر تیمار روی (۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در شرایط شور (۸۰۰، ۱۶۰۰، ۲۴۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم NaCl در کیلوگرم خاک) در گیاه پسته نشان داد بر هم‌کنش بین شوری خاک و تیمار روی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین در مقایسه با تیمار بدون روی شد. بالاترین محتوای پروتئین در تیمار ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد. محتوای پروتئین در برگ‌ها در شرایط بدون شوری با ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک نسبت به گیاهان شاهد و یا گیاهانی که با ۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک تیمار شده بودند به طور معنی‌داری بالا بود (Tavallali et al., 2009).

مشابه نتایج این مطالعه، افزایش کربوهیدرات‌ها در سلول‌های گیاهی تحت تنش شوری در سویا (Sheteawi, 2007) و جو (Khosravinejad et al., 2009) گزارش شده است. تجمع کربوهیدرات‌ها نقش برجسته‌ای را در حفاظت اسمزی، تطبیق اسمزی، نگهداری کربن و جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد بازی می‌کند (Parida et al., 2002). افزایش شوری محیط، میزان تبادل دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد. تحت شرایط تنش شوری، فتوسنتز نسبت به مصرف آسمیلات‌ها در طول رشد کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و بنابراین قندها (اغلب به جزء نشاسته) و بقیه محصولات متابولیکی انباشته می‌شوند، هر چند

منابع:

- of *Pennisetum divisum* (Gmel.) Henr. American Journal Applied Sciences 7:640-646.
- Aravind, P. and Prasad, M. N. V. (2004) Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a freshwater macrophyte. Plant Science 166: 1321-1327.
- Arnon, D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.
- Alam, S. M., Khan, M. A., Ali, M. and Anseri, R. (2001) Effect of different levels of Zinc and Phosphorous on seedling growth, chlorophyll and peroxidase contents of Rice. Biological Sciences 1: 49-51.
- Al-Taisan, W. A. (2010) Comparative effects of drought and salt stresses on germination and seedling growth

- micro-nutrients in enhancing the quality of tomato. *International Journal Agronomy Veterinary Medicine Science* 5: 401-404.
- Eslami, V., Behdani, M. A. and Ali, S. (2009) Effect of salinity on germination and early seedling growth of canola cultivars. *Environmental Stresses Agricultural Science* 1: 39-46.
- Ghars, M. A., Debez, A. and Abdelly, C. (2009) Interaction between salinity and original habitat during germination of the annual seashore halophyte *Cakile Maritima*. *Communicationas in Soil Science and Plant Analysis* 40: 3170-3180
- Ghoulam, C. and Fares, K. (2001) Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 29:357-364.
- Giovanelli, G. and Paradiso, A. (2002) Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:7277-7281.
- Gunes, A., Inal, A., Guneri Bagci, E. and Pilbeam, D. J. (2007) Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil. *Plant and Soil* 290: 103- 114
- Gurmani, A. R., Din, J. U., Khan, S. U., Andaleep, R., Waseem, K., Khan, A. and Hadyat-Ullah, (2012) Soil Application of zinc improves growth and yield of tomato. *International Journal of Agriculture and Biology*. 14: 91-96.
- Hendry, G. A. F. and Wallace, R. K. (1993) The origin, distribution and evolutionary significance of fructans. In: *Science and Technology of fructans* (eds. Suzuki, M. and Chatterton, N.J.) Pp: 119-139. CRC Press(Taylor and Francis Group) London. England.
- Hissao, T. (1973) Plant responses to water stress. *Annual Review Plant Physiology* 24: 519-570.
- Ho, S., Chao, Y., Tong, W. and Yu, S. (2001) Sugar coordinately and differentially regulates growth and stress-related gene expression via a comp-lex signal transduction network and multiple control mechanisms. *Plant Physiology* 46: 281-285.
- Isvand, H. R., and Alizadeh, M .A. (2003) Evaluation in some seed quality characters (germination and vigor index) of Moldavin balm (*Dracocephalum moldavica* L.) using accelerated against test. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research* 11: 249-255.
- Jung, S. (2004) Effect of chlorophyll reduction in *Arabidopsis thaliana* by methyl jasmonate or norflurazon on antioxidant systems. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 225-231.
- Khosravinejad, F., Heydari, R. and Farboodnia, T. (2009) Effect of salinity on organic solutes contents in barley. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 12: 158-162.
- Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls
- Banu, N. A., Hoque, A., Watanabe-Sugimoto, M., Matsuoka, K., Nakamura, Y., Shimoishi, Y. and Murata, Y. (2009) Proline and glycine betaine induce antioxidant defense gene expression and suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress. *Journal of Plant Physiology*. 30: 166: 146-156.
- Bates, L. S., Waldron, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studied. *Plant and soil* 39: 205-207.
- Ben-Asher, J., Tsuyuki, I., Bravdo, B. A. and Sagih, M. (2006) Irrigation of grapevines with saline water. I. Leaf area index, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis. *Agricultural Water Management* 83: 13-21.
- Blaha, G., Stelzl, U., Spahn, C. M. T., Agrawal, R. K., Frank, J. and Nierhaus, K. H. (2000) Preparation of functional ribosomal complexes and effect of buffer conditions on tRNA positions observed by cryoelectron microscopy. *Methods Enzymol* 317: 292-309.
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for quantitation of microgram of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Bybordi, A. (2011) Zinc, nitrogen and salinity interaction on agronomic traits and some qualitative characteristic of canola. *African Journal of Biotechnology* 10: 16813-16825
- Cakmak, I. (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist* 146: 185-205.
- Cakmak, I. and Marschner, H. (1988) Zinc-dependent changes in ESR signals, NADPH oxidase and plasma membrane permeability in cotton roots. *Physiologia Plantarum* 73: 132-186.
- Choudhury, R. P. Kumar, A. and Gary, A. N. (2006) Analysis of Indian mint (*Mentha spicata*) for essential, trace and toxic elements and its antioxidant behavior, pharmaceutical and biochemical analysis. *PBA*: 5715
- Darjeh, Z., Karimian, N., Maftoun, M., Abtahi, A. and Razmi, K. (1991) Correlation of five Zn extractants with plant responses on highly calcareous soil of Dorood zan Dam area. *Iran Agricultural Research* 10: 29-45.
- De La Rosa-Ibarra, M. and Maiti, R. K. (1995) Biochemical mechanism in glossy sorgum lines for resistance to salinity stress. *Journal of Plant Physiology*. 146: 515-19.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K. Rebers, P.A. and Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry* 28: 350-356.
- Ebrahimian, E. and Bybordi, A. (2011) Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 9: 422-427.
- Ejaz, M., Waqas, R., Butt, M., Rehman, S. U. and Manan, A. (2011) Role of macro-nutrients and

- Saleh, J. and Maftoun, M. (2008) Interactive Effects of NaCl Levels and Zinc Sources and Levels on the Growth and Mineral Composition of Rice. *Agriculture Science Technology* 10: 325-336.
- Salisbury, F. B. and Ross, C. W. (1992) Plant physiology. Fourth edition. Wadsworth publishing salt tolerance of sugarcane. *Journal of Plant Physiology* 163: 723-730.
- Sheteawi, S. A. (2007) Improving growth and yield of salt-stressed soybean by exogenous application of jasmonic acid and ascorbin. *International Journal of Agriculture and Biology* 9: 473-478
- Stewart, G. R. (1991) The comparative ecophysiology of plant nitrogen metabolism. In: *Plant growth: interactions with nutrition and environment.* (eds. Porter, J. R and Lawlor, D. W.). pp: 248, Cambridge University Press.
- Surbahi, G. K., Reddy, A. M., Kumari, G. J. and Sdhakar, C. H. (2008) Modulations in key enzymes of nitrogen metabolism in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) with differential sensitivity to salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 64: 171-179.
- Tavallali, V., Rahemi, M., Maftoun, M., Panahi, B., Karimi, S., Ramezani, A. and Vaezpour, M. (2009) zinc influence and salt stress photosynthesis, water relation, and carbonic anhydrase activity in pistachio. *Scientia horticulturae* 123: 272-279.
- Tavallali, V., Rahemi, M., Eshghi, S., Kholdbarin, B. and Ramezani, A. (2010) Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*. 34: 349-359.
- Tester, M. and Venport, R. D. (2003) Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany* 91: 503-527.
- Wang, W. B., Kim, Y. H., Lee, H. S., Kim, K. Y., Deng, X. P. and Kwak, S. S. (2009) Analysis of antioxidant enzymes activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 570-577.
- Wang, Y. X. and Oyaizu, H. (2009) Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofu-ran-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials* 168: 760-764.
- Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, Gh., Siosemardeh, A. and Ghassemi-Golezani, k. (2012) Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Omics Journal* 5: 60-67.
- a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591 – 592.
- López-Carrion, A. I., Castellano, R., Rosales, M. A., Ruiz, J. M. and Romero, L. (2008) Role Of Nitric Oxide Under Saline Stress: Implications On Proline Metabolism. *Biologia Plantrum* 52: 587-591.
- Marschner, H. (1986) Mineral nutrition in higher plants Academic press, London ,Orlando, San Diego,USA, pp 47-542.
- Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A. M., Soroush-Zade, A. and Jalali, M. (2004) Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. *Biaban* 9: 1. 93-110.
- Munns, R. (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environment* 25: 239-250.
- Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Murat, A. T., Elkarim, A. H. A., Taban, N. and Taban, S. (2009) Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plan. *African Journal Agriculture Research*. 4: 893-897.
- Neocleous, D. and Vasilakakis, M. (2007) Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn Bliss"). *Scientia Horticulturae* 112: 282-289.
- Ninfa, A. J., Ballou, D. P. and Benore, M. (2009) *Fundamental laboratory approaches for biochemistry and biotechnology*, 2nd Ed. John Willey and Sons, INC.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
- Parvaiz, A. And Satyawati, S. (2008) Salt Stress And Phyto-Biochemical Responses Of Plants. *Plant Soil Environments* 54: 89–99.
- Rao, A. V. and Rao, L. G. (2007) Carotenoids and human health, *Pharmacological Research*.55: 207–216.
- Rion, B. and Alloway, J. (2004) Fundamental aspects of Zinc in soils and plants. *International Zinc Association* 1-128.
- Rout, G. and Das, R. P. (2003) Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. *Agronomie* 23: 3–11.
- 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: 97-111.