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: ۸۳۴۹-۸-۳۸۱۵۶

(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 بقاء 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، سدیم‌کلرید، سولفات‌روی، گوجه‌فرنگی.

مقدمه:

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 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

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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 محتوای 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 فشاراسمزی 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 غشا، 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 سر فسفولیپیدها برهم‌کنش انجام دهد و با جلوگیری از تغییر شکل پروتئین‌ها باعث تثبیت ساختمان سلولی شود و همچنین می‌تواند اسیدیته سیتوزولی 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 اسیدآمینه تریپتوفان، تنظیم تشکیل نشاسته، سنتزکربوهیدرات، پروتئین، چربی (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010)، کمک در بیوسنتز سیتوکروم، رنگدانه، حفظ تمامیت غشاء پلاسما (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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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 برداشته 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 (Giovanelli 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.

مواد و روش‌ها:

اپتیمم‌سازی 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 بذرهای جوانه زده تا ۱۰ روز انجام و درصد جوانه‌زنی بر اساس معادله زیر محاسبه شد (Isvand and Alizadeh, 2003).

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

در معادله فوق؛ Gp درصد جوانه‌زنی، ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i و N تعداد کل بذرها است.

کاشت بذر و اعمال تنش: پس از جوانه‌زنی بذرهای 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 = ۷/۹ ، هدایت الکتریکی $0/89\ dS\ m^{-1}$، میزان روی $0/52\ mg\ kg^{-1}$، میزان فسفر $9\ mg\ kg^{-1}$، میزان پتاسیم $200\ mg\ kg^{-1}$، با ۰/۰۳ درصد نیتروژن کل و ۰/۳۴ درصد کربن آلی بود. تمامی گیاهان تا ۴ هفته، هر هفته با ۱۵۰ ml محلول هوگلند تغذیه شدند و در شرایط گلخانه‌ای (روز ۲۵°C و شب ۲۰°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 کلریدسدیم NaCl (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) و تیمار دوم سطوح مختلف سولفات‌روی $ZnSO_4, 7H_2O$ (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 سولفات‌روی) و ۶ تیمار که سطوح مختلف شوری (۴۵، ۹۰ و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) را همراه با سطوح مختلف روی (۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی) همزمان دریافت کرده بودند. گلدان‌ها همگی به طور همزمان به مدت ۵ هفته، در هر هفته یک بار در روزهای ۲۸، ۳۵، ۴۲، ۴۹ و ۵۶ با ۱۵۰ میلی‌لیتر از محلول تیمار مربوطه آبیاری شدند. محلول‌های سدیم‌کلرید و سولفات‌روی به محلول هوگلند فاقد روی اضافه شد. هوگلند فاقد کلریدسدیم 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 اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل به روش Arnon (۱۹۴۹)، کارتنوئیدها به روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳)، میزان پرولین برگ به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، پروتئین به روش Bradford (۱۹۷۶) و اندازه‌گیری کربوهیدرات کل به روش فنل‌سولفوریک‌اسید (Dubois *et al*., 1956) انجام شد. جهت آنالیز داده‌ها از نرم افزار SPSS16 و برای مقایسه میانگین‌ها 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 میلی‌مولار) به تنهایی بر تمامی شاخص‌های مورد بررسی (جدول ۱ و ۲) گیاهان گوجه‌فرنگی ۶۳ روزه اثر معنی‌داری (سطح ۰/۰۱) نشان داد. با افزایش شوری درصد جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافت. کمترین میزان جوانه‌زنی در غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار در همه روزها مشاهده شد. در روز دهم در شوری‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳/۳۳٪، ۲۶/۶۶٪، ۵۶/۶۶٪، ۶۰٪ و ۹۳/۳۳٪ کاهش جوانه‌زنی نسبت به شاهد مشاهده شد. با توجه به کاهش ۹۳/۳۳ درصدی جوانه‌زنی در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، سطح شوری فوق در کشت گلدانی حذف گردید. اختلاف معنی‌داری بین درصد جوانه‌زنی در شاهد و شوری ۳۰ میلی‌مولار در هیچ یک از روزها مشاهده نشد (شکل ۱). با توجه به اینکه در غلظت ۳۰ تنها ۳٪ کاهش جوانه‌زنی داشتیم بنابراین برای گیاه تنش محسوب نمی‌شود، به همین علت غلظت ۶۰ ، ۹۰ و ۱۲۰ باقی می‌ماند که جهت اطمینان برای اینکه غلظت پایین را هم داشته باشیم به جای غلظت ۶۰ غلظت ۴۵ انتخاب گردید. بنابراین در مرحله کشت گلدانی غلظت‌های ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار کلرورسدیم انتخاب شدند.

تعداد و سطح برگ، عمق ریشه و ارتفاع گیاه با افزایش شوری، کاهش یافتند. مقدار کاهش سطح برگ در گیاهان گوجه‌فرنگی ۶۳ روزه در سطوح ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار 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 بخش‌هوایی ۲۰/۳۷٪،۲۷/۷۶٪ و ۳۶/۵۱٪ نسبت به گیاهان شاهد اندازه‌گیری گردید (جدول۳).

بررسی‌ها کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی را همراه با افزایش تنش شوری نشان داد. کمترین میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کلروفیل کل در شوری ۱۲۰ میلی‌مولار 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 میلی‌مولار به ترتیب ۱۵/۲۱٪، ۱۷/۶۲٪، و ۱۵/۹۱٪ و در شوری ۴۵ میلی‌مولار به ترتیب ۸/۹۹ ٪، ۱۱/۳۶٪ و ۹/۶۸٪ نسبت به شاهد اندازه‌گیری 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 پرولین و کربوهیدرات افزایش و پروتئین کاهش یافت. میزان پرولین 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 (جدول۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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

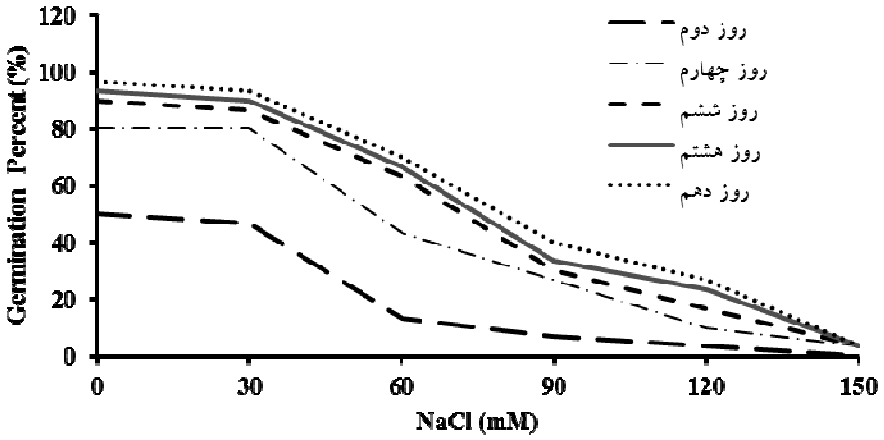
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات درصد جوانه‌زنی روز دهم
تیمار شوری	۵	۴۲۷۶/۶۷**
اثر خطا	۱۲	۱۰۵/۵۶
ضریب تغییرات		۴/۱۳

****: معنی‌دار در سطح ۰/۰۱**

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر شوری (۰، ۴۵، ۹۰ و۱۲۰ میلی‌مولار)، اثر سولفات‌روی (۰، ۵ و۱۰ میکرومولار) و اثر متقابل آنها بر ویژگی‌های رشدی و بیوشیمیایی گیاهان گوجه‌فرنگی ۶۳ روزه.

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کلروفیل‌کل	کارتنوئید	تعداد برگ	سطح برگ
تیمار شوری	۳	۰/۲۷**	۰/۰۵۳**	۰/۵۶**	۰/۵۹**	۷/۸۸**	۳۰۶۶۷/۵۸**
تیمار $ZNSO_4$	۲	۰/۱۲**	۰/۰۰۳ns	۰/۱۶ **	۰/۱۳**	۱/۸۶ ns	۵۱۸۹/۰۸**
اثرمتقابل شوری-روی	۶	۰/۰۲ *	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲ns	۰/۰۲۴*	۰/۷۱ ns	۱۴۰/۱۹ns
اثر خطا	۲۴	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
		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	عمق ریشه	پرولین	پروتئین	کربوهیدرات	
تیمار شوری	۳	۱۱۳/۱۲**	۱۰۷/۶۴**	۲۶۰۶/۰۷**	۱۰۴۳۱/۵۴**	۰/۳۱**	
تیمار $ZNSO_4$	۲	۲۲/۳۵**	۲۹/۷۸**	۲۰۷/۴۲**	۳۲۵۶/۶۱**	۰/۰۵**	
اثرمتقابل شوری-روی	۶	۶/۰۹**	۲/۰۷*	۲۴/۴*	۱۰۸۳/۳۴ *	۰/۰۰۴*	
اثر خطا	۲۴	۱/۴۳	۰/۸۳	۹/۴۶	۳۳۴/۶۳	۰/۰۰۲	
ضریب تغییرات		۲۰	۳۲/۳۱	۳۹	۲۰/۴۸	۳۹/۰۱	

ns غیرمعنی‌دار ***: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵** ****: معنی‌دار در سطح ۰/۰۱**



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر شوری (۰، ۳۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵ ۰ میلی‌مولار) بر درصد جوانه‌زنی بذرهای گوجه‌فرنگی تا ده روز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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

شاخص	غلظت‌های مختلف شوری (میلی‌مولار)			
	۰	۴۵	۹۰	۱۲۰
سطح برگ (cm^2)	۷۵/۱۱ ^{a} ±۶/۳۴	۶۷/۶ ^{a} ±۵/۲۴	۴۷/۸ ^{b} ±۶/۱۲	۴۵/۳ ^{b} ±۶/۵۶
تعداد برگ	۱۲/۱۱^{a}±۰/۳۵	۱۱/۲۲ ^{ab}±۰/۴۵	۱۰/۶۶^{bc}±۰/۲۳	۹/۸۸^{c}±۰/۴۳
ارتفاع گیاه cm	۲۲/۷۶^{a}±۰/۳۹۸	۱۸/۱۲^{b}±۰/۴	۱۶/۴۴ ^{c} ±۰/۳۶	۱۴/۴۵ ^{d} ±۰/۳۷
عمق ریشه cm	۲۰/۷۲^{a}±۰/۲۸	۱۷^{b}±۰/۳۲	۱۴/۴۴^{c}±۰/۲۳	۱۲/۷۷^{d}±۰/۳
کلروفیل *a* (mg/g FW)	۱/۴۷^{a} ±۰/۰۲۹	۱/۳۴ ^{b}±۰/۰۲۸	۱/۲۵^{c} ±۰/۰۱۸	۱/۰۶^{d} ±۰/۰۲۴
کلروفیل *b* (mg/g FW)	۰/۶۰۷ ^{a} ±۰/۰۱۶	۰/۵۳۸ ^{ab} ±۰/۰۲۹	۰/۵ ^{b} ±۰/۰۲۶	۰/۴۲۳^{c} ±۰/۰۲۱
کلروفیل کل (mg/g FW)	۲/۰۸ ^{a} ± ۰/۰۶۶	۱/۸۴ ^{ab} ± ۰/۰۴۶	۱/۷۵^{b}± ۰/۰۴۱	۱/۴۹ ^{c} ± ۰/۰۳۹
کارتنوئید (mg/g FW)	۱/۶۳ ^{a} ±۰/۰۲۲	۱/۴۰ ^{b} ±۰/۰۳۹	۱/۱۸^{c}±۰/۰۳۶	۱/۰۵^{d} ±۰/۰۳۲
پرولین (µmol/g FW)	۱۷/۸۸^{d}±۱/۰۵۶	۳۲/۱۱^{c}±۱/۰۰۰	۴۵/۶۸ ^{b} ±۱/۰۱۶	۵۷/۲۵^{a}±۱/۰۰۳
پروتئین (mg/g FW)	۲۳۵/۴^{a}±۵/۲	۱۹۱/۶ ^{b} ±۵/۲۹	۱۶۹/۵ ^{c} ±۵/۲۷	۱۵۸/۲ ^{c} ±۵/۳۷
کربوهیدرات (mg/g FW)	۰/۲۰۱^{d}±۰/۰۱۶	۰/۳۵۲ ^{c}±۰/۰۱۳	۰/۴۶۴ ^{b} ±۰/۰۱۹	۰/۶۴۲ ^{a} ±۰/۰۰۹

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.

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 سولفات‌روی ۳۰/۵۱٪ افزایش نسبت به سطح برگ گیاهان شاهد نشان دادند. ارتفاع بخش هوایی و عمق ریشه در ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی به ترتیب ۹/۳۰ و ۲۰/۸۴ درصد افزایش نسبت به شاهد نشان دادند. میزان کلروفیل *a*، کلروفیل کل و مقدار کارتنوئید با کاربرد سولفات‌روی 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 کارتنوئید به ترتیب ۱۶/۴۶٪، ۱۳/۲۹٪ و ۱۷/۲۶٪ افزایش نسبت به شاهد نشان دادند. با افزایش سولفات‌روی مقدار پروتئین و کربوهیدرات افزایش و مقدار پرولین کاهش یافت. بیشترین مقدار پروتئین و کربوهیدرات در ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی به ترتیب با ۱۹/۰۸٪ و ۳۷/۱۴٪ افزایش و کمترین مقدار پرولین در غلظت ۱۰ میکرومولار با ۱۸/۸۵٪ کاهش نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد (جدول۴).

نتایج اثر متقابل تنش شوری و مکمل روی بر گیاه گوجه‌فرنگی: آنالیز واریانس اثر معنی‌دار اثر متقابل شوری و سولفات‌روی 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 میلی‌مولار بدون دریافت سولفات‌روی و بیشترین عمق ریشه و ارتفاع بخش هوایی در گیاهان بدون شوری با غلظت ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی مشاهده می‌شود. سولفات‌روی مقدار کاهش ارتفاع بخش هوایی و عمق ریشه را در شرایط تنش شوری بهبود بخشیده است، به طوری‌که کاهش ۳۶/۵۱ درصدی ارتفاع بخش هوایی گیاهان ۶۳ روزه تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در حضور سطوح ۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی به ترتیب به ۲۸/۹۸ و ۲۸/۱۵ درصد تغییر یافت. سولفات‌روی مقدار کاهش عمق ریشه در شرایط تنش شوری را نیز بهبود بخشیده است به‌طوری‌که کاهش ۳۸/۳۶ درصدی عمق ریشه گیاهان ۶۳ روزه تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در حضور سطوح ۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی به ترتیب به ۳۲/۵۱ و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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

شاخص	غلظت‌های مختلف سولفات‌روی (میکرومولار)		
	۰	۵	۱۰
سطح برگ(cm^2)	۱۳۶/۲۵ ^{b} ±۷/۴	۱۵۵/۶ $^{a\,b}$ ±۷/۴۵	۱۷۷/۸۳ ^{a} ±۷/۴۸
ارتفاع گیاه (cm)	۱۶/۷۵ ^{b} ±۰/۳۴۰	۱۷/۶۵ ^{b} ±۰/۳۴۵	۱۹/۴۳ ^{a} ±۰/۳۳۴
عمق ریشه (cm)	۱۴/۴۴ ^{b} ±۰/۲۲۳	۱۶/۷۹ ^{a} ±۰/۲۶۰	۱۷/۴۵ ^{a} ±۰/۲۷۱
کلروفیل a (mg/g FW)	۱/۱۷۸^{b}±۰/۰۱۴	۱/۳۱۲ ^{a} ±۰/۰۳۴	۱/۳۷۲^{a} ±۰/۰۲
کلروفیل کل (mg/g FW)	۱/۶۷۷ ^{b} ±۰/۰۵	۱/۸۳۵ ^{a} ±۰/۰۴	۱/۹^{a} ±۰/۰۳۴
کارتنوئید (mg/g FW)	۱/۲۰۵^{b} ±۰/۰۷۵	۱/۳۴۴ ^{a} ±۰/۰۸۲	۱/۴۱۳ ^{a} ±۰/۰۸۰
پرولین (µmol/g FW)	۴۲/۸۴۵^{a}±۰/۸۱۸	۳۷/۰۹۳ ^{b} ±۰/۸۶	۳۴/۷۶۸ ^{b} ±۰/۸۸۸
پروتئین (mg/g FW)	۱۷۲/۵ ^{c} ±۵/۲۸۰	۱۸۸/۲۰۸^{b}±۵/۲۸۱	۲۰۵/۴۲۵^{a}±۵/۲۶
کربوهیدرات (mg/g FW)	۰/۳۵^{c} ±۰/۰۱۴	۰/۰۴۱۵^{b} ±۰/۰۱۶	۰/۴۸^{a}±۰/۰۱۱

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 اثرمتقابل شوری (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) و سولفات‌روی (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بر شاخص‌های رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهان گوجه‌فرنگی.

شوری	سولفات‌روی	ارتفاع بخش‌هوایی	عمق ریشه گیاهان	کلروفیل a	کارتنوئید
۰	۰	۲۰/۶ ^{b} ±۰/۶۹	۱۹/۵^{bc}±۰/۵۲۲	۱/۳۶^{cd} ±۰/۰۴۸	۱/۴۴ ^{cd} ±۰/۰۵۵
	۵	۲۱/۰۶^{b}±۰/۶۵	۲۰/۵^{b}±۰/۵۰	۱/۴۶^{ab} ±۰/۰۴۳	۱/۶۲۷ ^{b}±۰/۰۵۰
	۱۰	۲۶/۶۳^{a}±۰/۶۰	۲۲/۱۷^{a}±۰/۴۲۲	۱/۶ ^{a} ±۰/۰۵۲	۱/۸۴۳^{a} ±۰/۰۴۵
۴۵	۰	۱۷/۲۳^{cd}±۰/۶۲	۱۵/۳۳^{f}±۰/۵۰۲	۱/۳۲ ^{bcd} ±۰/۰۲۸	۱/۳۳^{de} ±۰/۰۴۲
	۵	۱۷/۹۶^{c}±۰/۵۹	۱۷/۳۳^{de}±۰/۳۲۲	۱/۳۶^{cd} ±۰/۰۳۴	۱/۵۱ ^{bc} ±۰/۰۳۸
	۱۰	۱۹/۱۶ ^{bc} ±۰/۶۵.	۱۸/۳۳ ^{cd}±۰/۴۲۲	۱/۳۶۳^{cd} ±۰/۰۲۴	۱/۳۷۳ ^{cd}±۰/۰۷
۹۰	۰	۱۵/۲۳^{de}±۰/۳۹	۱۲/۵^{h}±۰/۳۴۲	۱/۳۷۳^{de} ±۰/۰۳۸	۱/۰۹۷^{jh}±۰/۰۲۳
	۵	۱۶/۹۶ ^{cd} ±۰/۴۴	۱۶/۱۶^{ef}±۰/۲۹۲	۱/۲۹ ^{cde} ±۰/۰۵۱	۱/۱۷۳ ^{efj} ±۰/۰۳۵
	۱۰	۱۷/۱۳ ^{cd} ±۰/۳۸	۱۴/۶۶^{fj}±۰/۳۴۵	۱/۳ ^{cd} ±۰/۰۴۰	۱/۲۹۳^{ef} ±۰/۰۴۵
۱۲۰	۰	۱۳/۹۳^{e}±۰/۳۹	۱۰/۵^{i}±۰/۱۱۲	۰/۸۴۳^{f} ±۰/۰۴۲	۰/۹۵ ^{h} ±۰/۰۳۸
	۵	۱۴/۶۳^{e}±۰/۲۸	۱۳/۱۶ ^{jh} ±۰/۲۳۲	۱/۱۴^{e} ±۰/۰۴۶	۱/۰۶۷ ^{jh} ±۰/۰۴۲
	۱۰	۱۴/۸^{e}±۰/۶۱	۱۴/۶۶ ^{fj} ±۰/۱۲۲	۱/۲۲۳ ^{cde} ±۰.۰۳۸	۱/۱۴ ^{fj} ±۰/۰۵۲

حروف مشابه نشان دهنده 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٪ کارتنوئید و ۲۷/۷۲٪ کلروفیل a در برگ گیاهان تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد، در حضور ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی به ترتیب به ۲۰/۸۳٪ و ۱۰/۰۷٪ و در حضور ۵ میکرومولار سولفات‌روی به ترتیب به ۲۵/۹٪ و ۱۶/۱۷٪ رسید. در غلظت‌های مختلف شوری با افزودن مکمل روی میزان کلروفیل a و کارتنوئید نسبت به شرایط بدون سولفات‌روی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

افزایش یافته است، یعنی سولفات‌روی 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 سولفات‌روی مشاهده می‌شود. بیشترین میزان پرولین در گیاهان با غلظت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار و بدون دریافت سولفات‌روی مشاهده می‌شود. در تنش شوری با افزایش سولفات‌روی از مقدار پرولین کاسته می‌شود، به طوری‌که افزایش ۲۲۰/۱۹ درصدی پرولین برگ گیاهان گوجه ۶۳ روزه تحت تنش شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در حضور سطوح ۵ و ۱۰ میکرومولار سولفات‌روی به ترتیب به ۲۰۷/۹۳ و ۱۷۶/۳۲ درصد تغییر یافت. در غلظت‌های مختلف شوری با افزایش غلظت سولفات‌روی میزان پروتئین نسبت به شرایط بدون سولفات‌روی 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 سولفات‌روی 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 کربوهیدارت در گیاهان شاهد مشاهده می‌شود. بیشترین میزان کربوهیدارت در گیاهان تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار همراه با ۱۰ میکرمولار سولفات‌روی 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 سولفات‌روی مقدار کربوهیدرات ۲۱۹/۴٪ افزایش را نسبت به شاهد نشان می‌دهد. در سایر سطوح شوری نیز نتایج مشابه مشاهده گردید (شکل۲).

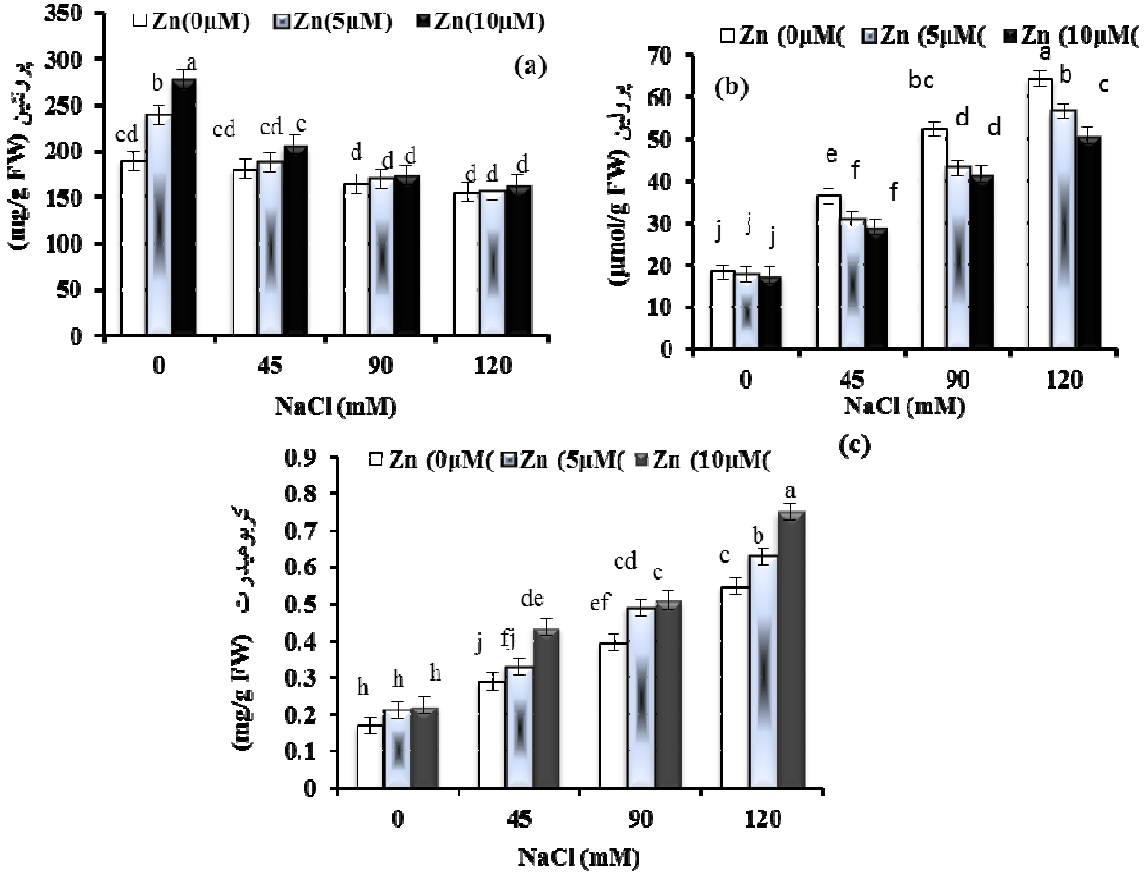
بحث:

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 چغندرقند (Ghoulam *et al.*, 2002) و یونجه (Wang *et al*., 2009) گزارش شده است. کاهش کارآیی زنجیره انتقال الکترون و کمپکس جمع‌کننده نور، کاهش کارآیی کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و یا افزایش فعالیت اکسیژنازی این آنزیم، کاهش ظرفیت بازسازی RUBP، مهار سنتز ATP به دلیل مهار فعالیت کمپلکس ATP سینتاز، غیرفعال شدن فتوسیستم (PSI و PSII) 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 تیلاکوییدی 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]



شکل ۲- اثر متقابل شوری (۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار) و سولفات‌روی (۰، ۵ و ۱۰ میکرومولار) بر میزان پروتئین (a)، پرولین (b) و کربوهیدرات (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.

شوری اطراف ریشه‌ها است. افزایش شوری خاک سبب از دست دادن آب سلول‌های برگی، 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 نهایتا افزایش فتوسنتز و جذب بهتر 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 کولئوپتیل 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

بررسی گیاه پسته (Tavallali *et al*., 2009) نیز بدست آمد. روی می‌تواند بیوسنتز کلروفیل و کاروتنوئیدها و در نهایت کارایی فتوسنتز 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 ایندول‌استیک‌اسید مانع از تخریب کلروفیل می‌شود و در نتیجه میزان کلروفیل افزایش می‌یابد (Cakmak and Marschner, 1988).این فلز در فعال‌سازی پروتئین سنتتازهای مسیر بیوسنتز کلروفیل و برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات‌پراکسیداز و گلوتاتیون‌ردوکتاز نیز موثر 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 پیرولین-۵-کربوکسیلات‌ردوکتاز، آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز 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 فشاراسمزی 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 بیوسنتز پروتئین‌ها نقش دارد (Rion and Alloway, 2004). روی برای سوخت‌وساز طبیعی پروتئین نیز نیاز است و سبب تثبیت ساختمان RNA، DNA و ریبوزم‌ها می‌شود (Said-Al Ahl .and Mahmoud, 2010). در شرایط کمبود روی فعالیت آنزیم RNAپلیمراز و انتقال اسیدهای آمینه کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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، ساکارزستاز و نشاسته‌سنتاز 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 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 سولفات‌روی نیز استفاده نمود.

منابع:

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 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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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 ixidative 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 Biochemistery Quantities 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) Colorimetria 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]

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. Wadswarth 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 ascobin. 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., Ramezanian, 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 Ramezanian, 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 Environent 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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-13]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1393.3.9.2.9]