نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال دوازدهم، شماره ۴۷، پاییز ۱۳۹۶ / صفحات: ۱۸-۱

اثر محلول‌پاشی آهن، بور و سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) تحت تنش شوری کلرید سدیمی

مهدی عقیقی شاهوردی، حشمت امیدی*، سیدجلال طباطبایی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی و مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲۷ تاریخ پذیرش:۹۶/۹/۱۹

چکیده

تنش شوری از جمله عوامل محدود کننده رشد گیاهان و یکی از موانع مهم در عدم جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌باشد. به همین منظور آزمایش گلدانی در فضای محیطی، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار برای ارزیابی اثر محلول‌پاشی عناصر آهن (سکوسترن ۱۳۸ با غلظت ۵ در هزار)، بور (اسید بوریک با غلظت ۵ در هزار) و سلنیوم (سلنیت سدیم با غلظت ۲ در هزار) تحت شرایط شوری کلرید سدیمی بر خصوصیات رشدی ریشه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه استویا انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح مختلف کلرید سدیم (صفر، ۳، ٦ و۹ دسی‌زیمنس بر متر) و محلول‌پاشی ترکیبات عناصر در هشت سطح (عدم محلول‌پاشی، آهن، بر، سلنیوم، آهن+سلنیوم، آهن+بر، سلنیوم+بر و آهن+ سلنیوم+ بر) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌دار در میانگین وزن خشک ریشه، حجم، طول، سطح، قطر و چگالی ریشه، درصد خشک ریشه به حجم خاک و میزان کلروفیل a، b و کل مشاهده گردید. در بین ترکیب‌های مختلف محلول‌پاشی، استفاده توأم از سه عنصر آهن، بور و سلنیوم بالاترین میانگین صفات وزن تر و خشک ریشه، حجم، طول، سطح و چگالی ریشه را داشت که تفاوت معنادار آماری با بقیه سطوح تیماری نشان داد. محلول‌پاشی توأم هر سه عنصر در مقایسه با عدم محلول‌پاشی باعث افزایش میانگین وزن خشک، حجم، طول و سطح ریشه در مقایسه با تیمار شاهد شد. بیشترین میانگین معنادار آماری صفات کلروفیل b و مجموع کلروفیل کل در محلول‌پاشی عنصر آهن در سطح بدون تنش و ترکیب آهن و سلنیوم در سطح شوری سه دسی‌زیمنس بر متر بود. به‌طورکلی کاهش رشد ریشه و کاهش محتوای کلروفیل برگ (به خصوص کلروفیل a) در اثر تنش شوری رخ داد و مجموع این عوامل، موجب افت رشد گیاه در سطوح بالاتر شوری (٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) گردید. بر اساس پژوهش حاضر به منظور کاهش اثرات منفی تنش شوری به خصوص در سطوح پایین‌تر (۳ و ٦ دسی زیمنس بر متر) محلول‌پاشی با عناصر آهن و سلنیوم که باعث افزایش میزان کلروفیل گیاه و بهبود رشد ریشه می‌گردند، توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: استویا، حجم ریشه، کاروتنوئیدها، کلروفیل، وزن خشک ریشه.

*نویسنده مسئول: omidi@shahed.ac.ir

مقدمه

تنش شوری از جمله عوامل محدود کننده رشد و کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در جهان به شمار می‌رود و این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اصلی‌ترین مشکلات بخش کشاورزی است (Muus, 2002). تنش شوری همراه با اسیدیته بالای خاک، می‌تواند مانع از جذب یون‌های معدنی در خاک به علت اثر منفی یون سدیم و به هم خوردن تعادل یونی گردد. بنابراین، گیاهان باید برای حفظ تعادل یونی داخل سلولی، با سازوکارهایی با سمیت یون سدیم و خشکی فیزیولوژیک مقابله کنند (Kijne, 2006).

روابط بین شوری و عناصر غذایی در گیاهان بسیار پیچیده است و بسته به شرایط آزمایش، محیط آزمایش (خاک یا محلول غذایی)، مدت آزمایش، نوع و ترکیب نمک به کار رفته و اندام گیاه نتایج متفاوت است. در مطالعات گسترده پیرامون شوری و تغذیه گیاهی، این مسئله به اثبات رسیده است که شوری موجب بروز ناهنجاری‌های گوناگون تغذیه‌ای در گیاه می‌شود که علت آن ممکن است مربوط به اثرات منفی شوری بر قابلیت جذب عناصر غذایی بوده و یا مربوط به اثر شوری در ایجاد رقابت بین یون‌ها برای جذب، انتقال و توزیع در بخش‌های مختلف گیاه باشد (Attarzadeh et al., 2015). تحت شرایط تنش شوری، استفاده از عناصر مغذی همراه با آبیاری، سبب کاهش کارایی آن‌ها به دلیل قلیایی بودن بیش از حد خاک‌ها و عدم قابلیت استفاده از آن‌ها به‌دلیل تثبیت در خاک می‌گردد، اما استفاده از این عناصر به صورت محلول‌پاشی گیاه به‌دلیل افزایش کارایی جذب عناصر، روش مناسبی می‌باشد (Zayed et al., 2011). کاربرد برخی از عناصر (نیترات پتاسیم، کلسیم، فسفات و سولفات منگنز) به صورت محلول‌پاشی، سبب کم کردن اثرات منفی شوری می‌گردد (Attarzadeh et al., 2014). فیزیولوژیست‌ها زیادی بر اثرات مثبت عناصر بر کاهش اثرات شوری در گیاه تأکید دارند که از آن جمله، Abd El-Hady (۲۰۰۷) گزارش نمودند که با مصرف عناصر کم مصرف میزان تحمل گندم به شرایط شور افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه Baybordi (۲۰۰٤) نیز کاربرد عناصر آهن، منگنز، روی و مس در کاهش اثرات تنش شوری به طور معنی‌داری مؤثر بود. سلنیوم عنصری مفید برای گیاهان است، هرچند که به طور مستقیم در متابولیسم گیاهان و تکمیل چرخه زندگی آن‌ها دخالت ندارند، ولی در بهبود رشد رویشی و زایشی به ویژه در شرایط تنش‌های محیطی و یا زیستی نقش مهمی ایفا می‌کند (Hajboland, 2012). نقش مفید سلنیوم در بهبود رشد در شرایط تنش‌های سرما در گیاه سیب زمینی (Seppanen et al., 2003)، نور ماورای بنفش در گیاه توت فرنگی (Heijari et al., 2006) و خشکی در گیاه *Acer Saccharium* L. (Pukacka et al., 2011) گزارش شده است. در شرایط کمبود آهن، تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقدار کلروفیل برگ کاهش یافته که این امر منجر به کاهش رشد در اندام هوایی و ریشه می‌گردد (Shariyatmadari et al., 2011). بور (B) اغلب به صورت اسید بوریک (H_3BO_3) یکی از عناصر ضروری مورد نیاز برای رشد و توسعه متعادل در گیاهان می‌باشد (Abdollahi et al., 2012). عنصر بور دارای اثر بر روی بسیاری از کارکردهای گیاه از جمله جابجایی هورمون‌های جذب نمک، فرآیند گلدهی و میوه‌دهی و جوانه‌زنی دانه گرده دارد (Rafeii and Pakkish, 2014).

Yang و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که شوری به عملکرد ریشه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و سیستم غشاء خسارت می‌زند که این عوامل منجر به کاهش شدید در مقدار آب، فعالیت سیستم ریشه، محتوای فتوسنتز رنگدانه‌ها، کاهش سرعت فتوسنتز

خالص و افزایش شدید در میزان نشت الکترولیت می‌گردد. تحقیقات انجام شده در مورد اثر شوری بر رشد و عمل ریشه در مقایسه با قسمت‌های هوایی گیاه استویا بسیار کم می‌باشد. گزارش شده است که قسمت‌های هوایی کمتر تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد ولی ممکن است شوری موجب تغییرات مورفولوژیکی و آناتومی در ریشه شده و در نتیجه جذب آب و املاح را دچار اختلال کند (Miri Kondori et al., 2014).

ریشه اولین و تنها اندامی از گیاه است که در تماس مستقیم با محیط شور می‌باشد. لذا، تغییرات آناتومیک و سازگاری‌های این اندام می‌تواند نقش مهمی در تعیین مقاومت به شوری بر عهده داشته باشد. ریشه می‌تواند نقش تنظیم‌کننده در ورود یون‌ها به داخل سیستم آوندی ایفا کند و به عنوان اولین مانع، سد ورود یون‌ها به داخل گیاه باشد (Shelden et al., 2013). گزارش شده که سیستم ریشه‌ای وسیع، با تحمل به شوری گیاه همبستگی مثبت داشته و نوساناتی از نظر تعداد ریشه، طول ریشه و سرعت رشد آن در گونه‌های مختلف گیاهی مشاهده شده است (Jamali et al., 2014).

استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) گیاهی چندساله از خانواده آستراسه (کمپوزیته) است که به خاطر داشتن گلیکوزیدهای استویول دارای خاصیت شیرین کنندگی است. این ترکیب گلیکوزید دارای خاصیت‌های مهمی از جمله عدم جذب در بدن و عدم ایجاد کالری بوده و حدود ۲۰۰ برابر گلوکز شیرین‌تر می‌باشد (Aghighi Shahverdi et al., 2017). هر چند استویا می‌تواند تحت شرایط مختلف آب و هوایی و خاک، به طور موفقیت‌آمیزی رشد کند (Nori Akandi et al., 2016) اما گزارش شده است که افزایش شوری آب آبیاری موجب تغییرات فیزیولوژیک و کاهش رشد رویشی گیاه استویا می‌گردد (Ebtsam et al., 2014). همچنین در آزمایش دیگری نیز افزایش غلظت شوری از صفر تا ۱۲۵ میلی‌مولار، افزایش میزان قند و پرولین و کاهش میزان کلروفیل این گیاه را به دنبال داشت (Nori Akandi et al., 2016).

با توجه به کمبود اطلاعات مربوط به واکنش ریشه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گیاه استویا در حضور تنش شوری و همچنین چگونگی تأثیر آن بر فرآیندهای رشد و نمو ریشه تحت شرایط محلول‌پاشی با عناصر کم مصرف (آهن و بور) و عنصر سلنیوم، انجام این چنین پژوهشی‌هایی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های مختلف رشدی ریشه گیاه دارویی استویا و چگونگی تغییرات آن تحت شرایط شوری کلرید سدیمی و محلول‌پاشی با ترکیباتی از عناصر آهن، بر و سلنیوم انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف سه عنصر آهن، بور و سلنیوم تحت تنش شوری بر شاخص‌های رشدی ریشه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه استویا، آزمایشی (در فضای آزاد به صورت گلدانی) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی زر گیاه در شهرستان فیروزآباد استان فارس در سال ۱۳۹۵ به اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح تنش کلرید سدیمی صفر، ۳، ٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر و محلول‌پاشی با ترکیبات عناصر غذایی در سطح، عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی آهن، محلول‌پاشی بور، محلول‌پاشی سلنیوم، محلول‌پاشی آهن+ بور، محلول‌پاشی آهن + سلنیوم، محلول‌پاشی بور + سلنیوم و محلول‌پاشی آهن + بور+ سلنیوم بودند.

جدول ۱: برخی ویژگی‌های خاک مورد استفاده در آزمایش

شن (٪)	۲۹/۳
رس (٪)	۲۵/٦
سیلت (٪)	٤٤/۳
بافت	لوم
pH	۷/٤٤
قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	۱/۵۳
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول (+) بر کیلوگرم)	۸/۲۳
کربنات کلسیم معادل (٪)	٤۲/۵
ماده آلی (٪)	۰/۸
نیتروژن نیتراتی (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۱/۹۸
فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۸/۸۵
پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۳۲۱
آهن قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۲/۳۷
بور (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۰/۹
منگنز قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۳/۹۸
مس قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۰/۵۱
روی قابل استخراج با DTPA (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)	۰/٤۸

محلول‌پاشی عناصر غذایی در طی دو مرحله (آغاز رشد گیاه و شاخه‌دهی[1] (V_3) و رشد مجدد گیاهچه[2] (V_4)) انجام شد. آهن از منبع سکوسترن ۱۳۸ به میزان ٤ کیلوگرم در هکتار (دارای ۷ درصد آهن خالص) (با غلظت ۵ در هزار)، بور از منبع اسید بوریک به میزان ۱/۲ کیلوگرم در هکتار (دارای ۱۷ درصد بور خالص) (با غلظت ۵ در هزار) و سلنیوم از منبع سلنیت سدیم به میزان ۲۰ گرم در هکتار (دارای ۱٤/۵ درصد سلنیوم خالص) (با غلظت ۲ در هزار) براساس بررسی منابع مختلف مورد استفاده قرار گرفت (Heidari et al., 2008 ؛ Baloch et al., 2008 ؛ Keling et al., 2013 ؛ Feng et al., 2013). به منظور افزایش جذب عناصر غذایی محلول‌پاشی شده از سطح برگ از مویان[3] که با کاهش کشش سطحی آب، سطح تماس محلول با سطح برگ را افزایش داده و جذب را افزایش می‌دهد، نیز استفاده شد.

به منظور انجام آزمایش گلدان‌هایی به ارتفاع تقریبی ۳۰ و قطر ۲۵ سانتی‌متری با خاک پر و در هر واحد دو عدد گیاهچه کشت شد (جمعاً ۹٦ گلدان). مشخصات خاک مورد استفاده در اجرای این طرح در جدول ۱ ارائه شده است. اعمال تنش شوری با آب آبیاری از ابتدای روز پانزدهم (پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها در خاک) صورت گرفت. زیرا مواجهه گیاهچه‌ها با تنش اسمزی بالا (به ویژه در سطوح شوری بالا) موجب آسیب به گیاهچه و عدم رشد احتمالی آن‌ها می‌شوند (Asadipoor et al., 2014). به منظور جلوگیری از تجمع نمک در خاک در طی آبیاری متوالی، بعد از یک هفته آبیاری با آب شور، تمامی گلدان‌ها با آب معمولی (هدایت الکتریکی نزدیک به یک دسی زیمنس بر متر) به منظور حذف

1. Plant growth and branching
2. Plant regrowth
3. Surfactants

نمک‌های اضافی در خاک شستشو داده خواهد شد. برای تهیه محلول‌های با هدایت‌الکتریکی ۳، ٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر با حل کردن مقدار مشخصی Nacl (با خلوص بالا) در آب با استفاده از معادله زیر تهیه شد البته برای اطمینان محلول‌های تهیه شده با EC-meter نیز اندازه‌گیری هدایت‌الکتریکی آن‌ها کنترل گردید (Khan et al., 2001).

$$Nacl\ (mgL^{-1}) = EC\ (dSm^{-1}) \times 640$$

جدول ۲: محاسبه صفات و شاخص‌های مرتبط با ریشه

پارامتر	نحوه محاسبه	منبع مورد استفاده
طول ریشه	۰/۸۹۰× (وزن ریشه‌ها)= طول ریشه	Ganjali et al., 2003
سطح ریشه	$^{0/5}$(طول ریشه×π×حجم ریشه) ۲= سطح ریشه	Hajabbasi, 2001
قطر ریشه	$^{0/5}$((π×طول ریشه)/ وزن تر ریشه×٤)= قطر ریشه	Akhavan et al., 2012
چگالی سطح ریشه	(π×قطر ریشه×طول ریشه)= چگالی سطح ریشه	Akhavan et al., 2012

*π= عدد ثابت ۳/۱٤

در انتهای دوره رشد رویشی گیاه نمونه‌گیری به منظور اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه با استفاده از روش لیچتن تالر (Lichtenthaler, 1987) صورت گرفت. بر طبق این روش، ۰/۲۵ گرم برگ گیاه مورد نظر در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً هموژنیزه گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۱۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و محلول صاف شده بالایی را داخل کیوت ریخته و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٦٣/٢، ٦٤٦/٨ و ٤٧٠ قرائت شد. با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیلa، کلروفیلb، کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید محاسبه گردید (واحد تمامی صفات زیر میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ[1]).

$$(12.25\times A663.2 - 2.79\times A646.8) = Chl\ a$$
$$(21.50\times A646.8 - 5.1\times A663.2) = Chl\ b$$
$$(7.15\times A663.2 + 18.71\times A646.8) = Chl\ Total$$
$$(1000\times A470 - 1.82\times Chl\ a - 85.02\times Chl\ b)/198 = Carotenoids$$

به‌منظور اندازه‌گیری صفات ریشه، اندام زیرزمینی، تمامی ریشه‌ها به‌طور کامل و با رعایت حداقل آسیب‌دیدگی با استفاده از آب جاری شسته شد. بدین منظور خاک هر گلدان درون تشتک آبی جداگانه‌ای خیسانده شده و با استفاده از محلول هگزا متافسفات سدیم[2] ذرات خاک چسبیده به ریشه‌ها از آن‌ها جدا گردید. بلافاصله، وزن تر ریشه (RFW)[3] با دقت ۰/۰۰۱ گرم با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. حجم ریشه[4] نیز از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب با دقت ۰/۱ میلی‌متر محاسبه و سطح ریشه[5] به روش اتکینسون[6] (Hajabbasi, 2001)، قطر ریشه و چگالی ریشه با استفاده از فرمول‌های جدول ۲ و سایر صفات ریشه‌ای از قبیل وزن تر ریشه به حجم خاک (RMD)[7]، وزن خشک ریشه به حجم خاک (DRMD)[8]، نسبت وزن خشک ریشه به حجم ریشه و طول ریشه به وزن تر ریشه (ظرافت ریشه) (RF)[9] محاسبه گردید (Akhavan et al., 2012). در نهایت داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نر افزار آماری SAS 9.2 تجزیه و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

1. Mg.g-1 FW

2. Sodium hexametaphosphate
3. Root Fresh Weight
4. Root Volume (RV)
5. Root Area (RA)
6. Atkinson
7. Root Mass Density (RMD)
8. Dry Root Mass Density (DRMD)
9. Root Length/ Root Fresh Mass (RF)

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی عناصر (ترکیباتی از بور، آهن و سلنیوم) و تنش شوری کلرید سدیمی بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه گیاه استویا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)							
		وزن خشک ریشه	حجم ریشه	طول ریشه	سطح ریشه	قطر ریشه	چگالی سطح ریشه	درصد وزن خشک ریشه به حجم خاک	ظرافت ریشه
تنش شوری (S)	۳	۱۳۵٦/۷**	۲۷۷۳/۸**	۱۰۷٤/۷**	۲۱٦۳۹/۹**	۱/۱۷**	۸٦۰۷۹/٤**	۰/۰۷**	۰/۸۷**
محلول‌پاشی عناصر (FN)	۷	۱۱۳۲/٤**	۷٦۵۷/۷**	۸۹۷/۰**	۳۳۹۲۸/۸**	۰/۰٤**	۲٦۱۱۸/٦**	۰/۰۵**	۰/۰۱*
S×FN	۲۱	۱٦/۹ ns	۱٦/۵ ns	۱۳/٤ ns	۱۱۵/۸ ns	۰/۰٦**	۹۵۰/۵**	۰/۰۰۰۸ ns	۰/۰٦**
اشتباه آزمایشی	٦٤	۲۷/۸۵	۷۵/۷۸	۲۲/۰٦	۲٤۸/٦۳	۰/۰۱	۲۵٤/۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰٦
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۱/٦۵	۱۱/٦۳	۱۱/٦۵	۸/۱۳	٦/۵۷	۷/۷۵	۱۱/٦۵	۱٤/۹۹
R-Square	-	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۹٦	۰/۸۷	۰/۹۰

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ٤: مقایسه میانگین اثر تنش شوری کلرید سدیمی بر برخی خصوصیات مورفولوژیک ریشه گیاه استویا

سطوح تنش شوری کلرید سدیمی ($dS\ m^{-1}$)	وزن خشک ریشه (g per plant)	حجم ریشه (cm^3)	طول ریشه (m)	سطح ریشه (cm^2)	قطر ریشه (cm)	چگالی سطح ریشه ($m^2.m^{-3}$)	درصد وزن خشک ریشه به حجم خاک	ظرافت ریشه ($m.kg^{-3}$)
صفر	۵۳/۹۸ a	۸۸/۷۵ a	٤۸/۰٤ a	۲۳۰/۷ a	۱/۷۹ a	۲٦۳/۳ a	۰/۳۹ a	۰/٤۲ c
۳	٤۷/۱٦ b	۷٦/۸۷ b	٤۱/۹۸ b	۲۰۰/۵ b	۱/۷۳ a	۲۳۰/۲ b	۰/۳٤ b	۰/٤۲ c
٦	٤٤/۰٦ c	۷۰/۲۰ c	۳۹/۲۱ c	۱۸٤/۸ c	۱/٦۵ b	۲۰۵/٦۹ c	۰/۳۱ c	۰/٤۸ b
۹	۳۵/۸۵ c	٦۳/۵٤ d	۳۱/۹۱ d	۱۵۸/۹ d	۱/۲۸ c	۱۲۳/۰ d	۰/۲۵ d	۰/۸۲ a

در هر ستون، حروف مشابه از لحاظ آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی عناصر (ترکیباتی از بور، آهن و سلنیوم) بر برخی خصوصیات مورفولوژیک ریشه گیاه استویا

محلول‌پاشی ترکیبات عناصر بور، آهن و سلنیوم	وزن خشک ریشه (g per plant)	حجم ریشه (cm^3)	طول ریشه (m)	سطح ریشه (cm^2)	قطر ریشه (cm)	چگالی سطح ریشه ($m^2.m^{-3}$)	درصد وزن خشک ریشه به حجم خاک	ظرافت ریشه ($m.kg^{-3}$)
عدم محلول‌پاشی (شاهد)	۳۲/۱۰ f	٤٥/٨٣ g	٢٨/٥٦ f	١٢٧/٥ g	١/٥٤ c	١٣٨/٥ f	٠/٢٣٢ f	٠/٥٤ ab
بور	٤٢/٢١ de	٦٢/٠٨ ef	٣٧/٥٦ de	١٧٠/٥ e	١/٦٢ abc	١٩٥/٣ d	٠/٣٠٥ de	٠/٥٠ b
سلنیوم	٥١/٠٨ b	٩٦/٦٦ b	٤٥/٤٦ b	٢٣٤/٢ b	١/٧٠ a	٢٤٤/٦ b	٠/٣٧٠ b	٠/٥٤ ab
آهن	٤١/١٠ de	٦٥/٠٠ de	٣٦/٥٨ de	١٧٢/٢ e	١/٦٤ ab	١٩١/٧ d	٠/٢٩٧ de	٠/٥٠ b
بور + آهن	٣٧/٨٨ e	٥٧/٥٠ f	٣٣/٧١ e	١٥٥/٨ f	١/٥٠ d	١٥٩/٥ e	٠/٢٧٤ e	٠/٥٧ ab
سلنیوم + آهن	٤٨/١٠ bc	٧٦/٦٦ c	٤٢/٨١ bc	٢٠٢/٢ c	١/٦١ abc	٢١٨/٥ c	٠/٣٤٨ bc	٠/٥٣ ab
سلنیوم + بور	٤٥/٢٨ cd	٦٩/٥٨ cd	٤٠/٣٠ cd	١٨٧/٥ d	١/٦٣ abc	٢٠٩/٢ c	٠/٣٢٨ cd	٠/٥٠ b
بور + سلنیوم + آهن	٦٤/٣٥ a	١٢٥/٤١ a	٥٧/٢٧ a	٢٩٩/٧ a	١/٥٧ bcd	٢٨٦/٩ a	٠/٤٦٦ a	٠/٦٠ a

در هر ستون، حروف مشابه از لحاظ آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

نتایج

وزن خشک ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش شوری، محلول‌پاشی و اثر متقابل این دو (شوری در محلول‌پاشی) بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های تنش شوری نشان داد که با افزایش میزان کلرید سدیم، کاهش معنی‌دار آماری در میانگین این صفت مشاهده گردید، به طوری که بیشترین وزن خشک ریشه (۵۳/۹۸ گرم در بوته) در سطح بدون تنش به دست آمد و کمترین میانگین در بالاترین سطح تنش (۹ دسی‌زیمنس بر متر) بود (جدول ٤). در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کاهش وزن خشک ریشه در قیاس با تیمار شاهد ۳۳/۵۸ درصد بود. در بین محلول‌پاشی با ترکیبات مختلف نیز، بیشترین میانگین این صفت در تلفیق سه عنصر (بور+آهن+سلنیوم) بود و کمترین میانگین در تیمار عدم محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۵). محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر در قیاس با تیمار شاهد، باعث افزایش ۵۰/۱۱ درصدی در میانگین وزن خشک ریشه شد (شکل ۱).

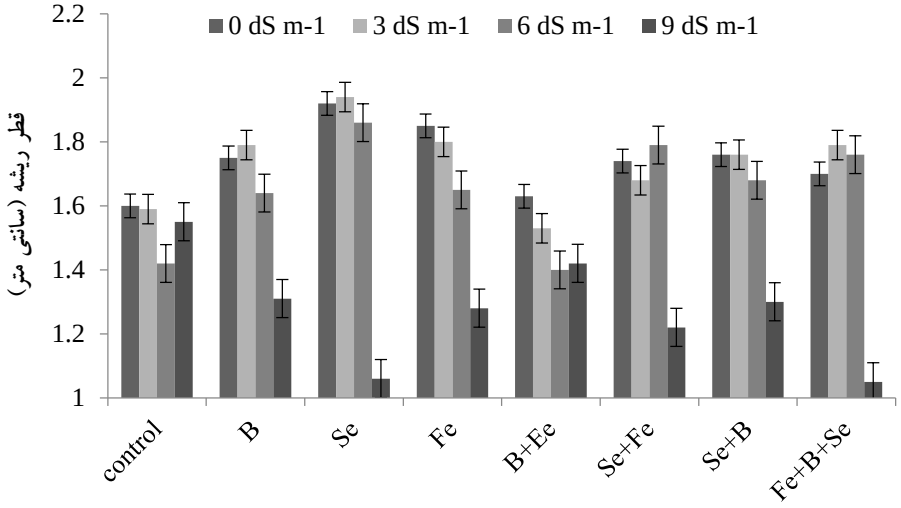
حجم ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری کلرید سدیمی و محلول‌پاشی عناصر بر حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه، باعث کاهش حجم ریشه گردید به طوری که در سطح تنش ۹ دسی‌زیمنس بر متر میزان کاهش این صفت در مقایسه با سطح شاهد حدود ۲۸/٤۰ درصد بود (جدول ٤). بیشترین میانگین این صفت در سطح بدون تنش و کمترین میانگین در سطح تنش ۹ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد (جدول ٤). در مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نیز، بیشترین میانگین این صفت در محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر (آهن+بور+سلنیوم) با میانگین ۱۲۵/٤۱ سانتی‌متر مکعب و کمترین میانگین در تیمار شاهد با میانگین ٤۵/۸۳ سانتی‌متر مکعب بود (جدول ۵).

طول ریشه: تنش شوری و همچنین محلول‌پاشی عناصر، بر طول ریشه اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). در مقایسه میانگین اثر تنش شوری بیشترین مجموع طول ریشه برای هر گیاه در سطح بدون تنش (با میانگین ٤۸/۰٤ متر) بود و با افزایش میزان کلرید سدیم کاهش معنی‌دار در میانگین مشاهده شد و کمترین میانگین در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ٤). در بین ترکیبات مختلف محلول‌پاشی با عناصر نیز، بیشترین میانگین این صفت در محلول‌پاشی با ترکیبی از سه عنصر آهن، سلنیوم و بور به دست آمد و کمترین میانگین در عدم محلول‌پاشی (شاهد) بود (جدول ۵).

سطح ریشه: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تنش شوری و محلول‌پاشی عناصر بر سطح ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر تنش شوری نشان داد که بیشترین سطح ریشه در شوری شاهد (عدم تنش) با میانگین ۲۳۰/۷ سانتی‌متر مربع بود و کمترین میانگین در بالاترین سطح شوری با میانگین ۱۵۸/۹ سانتی‌متر مربع به دست آمد (جدول ٤). در مقایسه میانگین محلول‌پاشی با عناصر غذایی نیز بیشترین سطح ریشه در محلول‌پاشی با ترکیبی از سه عنصر آهن، بور و سلنیوم با میانگین ۲۹۹/۷ سانتی‌متر مربع بود و کمترین میانگین در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۵).

قطر ریشه: جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش شوری، محلول‌پاشی عناصر و همچنین اثر متقابل این دو عامل (تنش شوری در محلول‌پاشی) بر قطر ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند

(جدول ۳). بیشترین قطر ریشه در سطوح شوری صفر و ۳ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میانگین در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ٤). مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی بر قطر ریشه نشان داد که بیشترین قطر در محلول‌پاشی با عنصر سلنیوم با میانگین ۱/۷۰ سانتی‌متر بود و کمترین میانگین در عدم محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین میانگین در محلول‌پاشی با عنصر سلنیوم در سطوح شوری صفر و ۳ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب با میانگین ۱/۹۲ و ۱/۹٤ سانتی‌متر به دست آمد و کمترین قطر در محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد (شکل ۱).

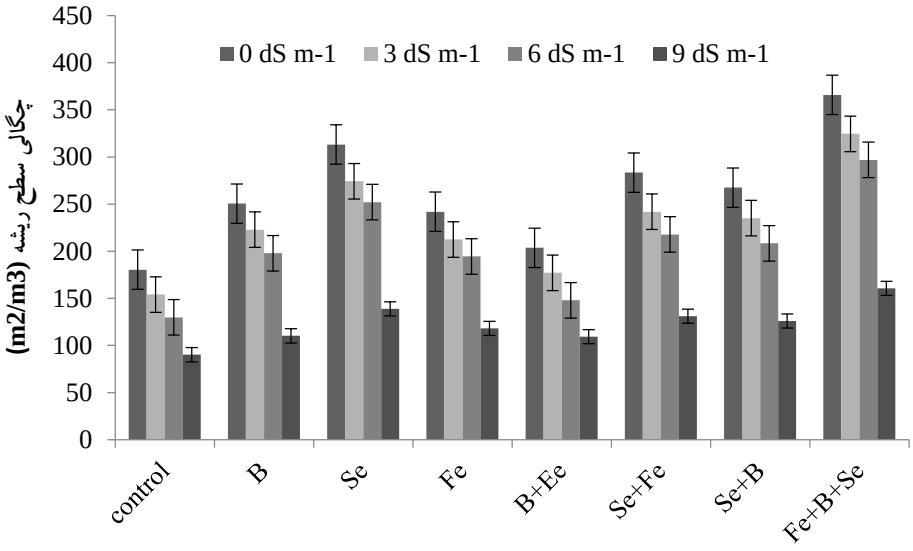


شکل ۱: مقایسه میانگین اثر تنش کلرید سدیمی در محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن (Fe)، بور (B) و سلنیوم (Se) بر قطر ریشه استویا (خطای استاندارد (SE) غیر مشترک، تفاوت معنادار آماری میانگین‌های بدست آمده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد)

چگالی سطح ریشه: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر تنش شوری، محلول‌پاشی عناصر و اثر متقابل این دو بر چگالی سطح ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری کاهش معنی‌دار در میانگین این صفت مشاهده شد و چگالی سطح ریشه در سطح بدون تنش شوری بالاترین و سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر کمترین مقدار بود (جدول ٤). محلول‌پاشی با ترکیبی از سه عنصر آهن، بور و سلنیوم باعث ایجاد بیشترین میانگین این صفت شد و عدم محلول‌پاشی کمترین میانگین را به خود اختصاص داد (جدول ۵). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری در محلول‌پاشی، بیشترین میانگین این صفت در ترکیب تیماری بدون تنش شوری در محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر آهن، بور و سلنیوم با میانگین ۳٦۵/۹ مترمربع بر مترمکعب بود و کمترین میانگین در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم محلول‌پاشی با میانگین ۹۰/۱۵ مترمربع بر مترمکعب بود (شکل ۲).

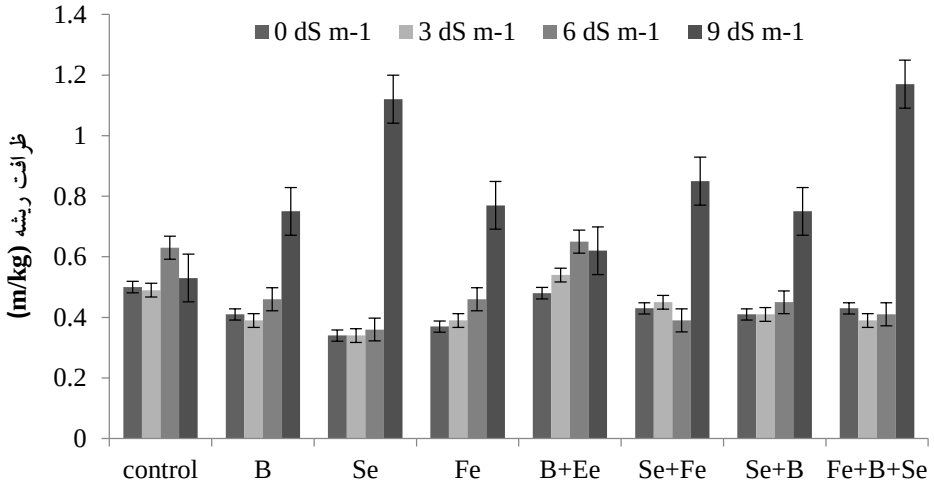
درصد وزن خشک ریشه به حجم خاک: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تنش شوری و محلول‌پاشی بر درصد وزن خشک ریشه به حجم خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). با افزایش میزان کلرید سدیم در محیط

ریشه میانگین این صفت کاهش نشان داد به طوری که کمترین میانگین در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین میانگین در سطح شوری بدون تنش به‌دست آمد (جدول ٤). محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر آهن، بور و سلنیوم باعث ایجاد بالاترین میانگین این صفت در مقایسه با سایر سطوح تیماری شد و عدم محلول‌پاشی نیز کمترین میانگین را نشان داد (جدول ٥).



شکل ۲: مقایسه میانگین اثر تنش شوری کلرید سدیمی در محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن (Fe)، بور (B) و سلنیوم (Se) بر چگالی سطح ریشه استویا
(خطای استاندارد (SE) غیر مشترک، تفاوت معنادار آماری میانگین‌های بدست آمده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد)

ظرافت ریشه: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تنش شوری، محلول‌پاشی و اثر متقابل شوری در محلول‌پاشی بر ظرافت ریشه معنی‌دار بودند (جدول ۳). با افزایش میزان کلرید سدیم در محیط ریشه ظرافت ریشه نیز افزایش نشان داد به طوری که کمترین میانگین این صفت در سطوح شوری صفر و ۳ دسی‌زیمنس بر متر بود و بیشترین میانگین در سطح شوری ۹ دسی زیمنس بر متر به دست آمد (جدول ٤). در مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نیز، بالاترین میانگین در محلول‌پاشی با ترکیبی از سه عنصر آهن، بور و سلنیوم حاصل شد (جدول ٥). در مقایسه میانگین اثر متقابل، بیشترین ظرافت ریشه در شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر در محلول‌پاشی با سلنیوم و ترکیب سه عنصر (آهن، بور و سلنیوم) به‌دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر تنش شوری کلرید سدیمی در محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن (Fe)، بور (B) و سلنیوم (Se) بر ظرافت ریشه استویا
(خطای استاندارد (SE) غیر مشترک، تفاوت معنادار آماری میانگین‌های بدست آمده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد)

محتوای کلروفیل a، b و کل: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تنش شوری بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت کلروفیل b به a و مجموع کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ٦). همچنین اثر محلول‌پاشی با عناصر غذایی نیز بر صفات ذکر شده اثر معنی‌داری نشان داد. اثر متقابل دو عامل شوری در محلول‌پاشی به غیر از میزان کلروفیل a بر بقیه صفات (کلروفیل b، کل و نسبت کلروفیل b به a) معنی‌دار بود (جدول ٦). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شوری باعث کاهش میزان کلروفیل a شد، به طوری شوری صفر و ۳ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین (به‌ترتیب ۲۱/۰۲ و ۲۰/۹٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و سطوح شوری ٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر کمترین میانگین (به‌ترتیب ۱۹/۵۱ و ۱۸/٦۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) این صفت را داشتند (داده‌ها ارائه نشده است). در مقایسه میانگین اثر متقابل شوری در محلول‌پاشی بیشترین محتوای کلروفیل b در محلول‌پاشی با آهن در سطح بدون تنش شوری (۲۲/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و محلول‌پاشی با ترکیب آهن و سلنیوم در سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر (۲۲/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بدست آمد (شکل ٤). کمترین میزان کلروفیل b در عدم محلول‌پاشی و سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر (۱٤/٤٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (شکل ٤).

مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بالاترین نسبت کلروفیل b به a در ترکیب تیماری محلول‌پاشی با عنصر آهن و سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۱/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود و کمترین میانگین این صفت در محلول‌پاشی با ترکیب بور و سلنیوم در سطح بدون تنش شوری با میانگین ۰/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بدست آمد (شکل ۵).

نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل کل برگ در محلول‌پاشی با آهن در سطح بدون تنش شوری با میانگین ٤٤/٤۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و همچنین محلول‌پاشی با ترکیب آهن و سلنیوم در سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر با

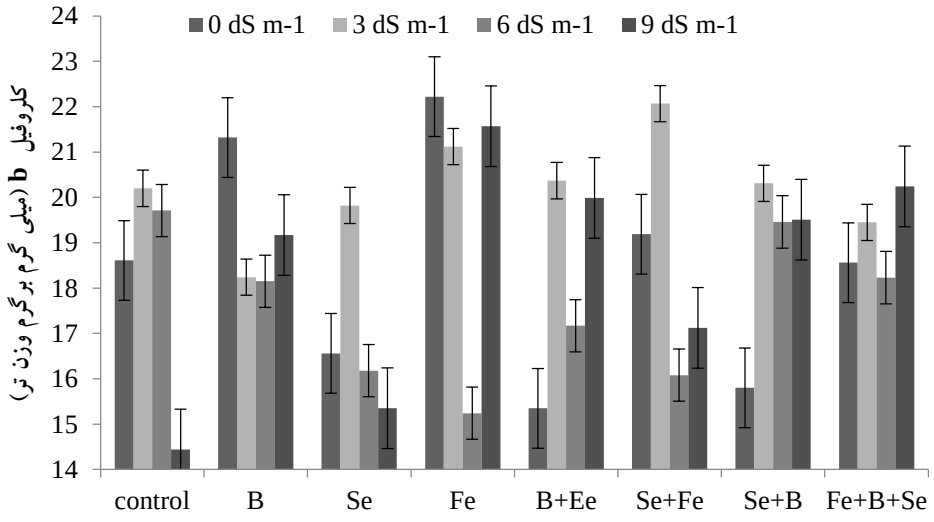
میانگین ۴۴/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بدست آمد. کمترین میانگین این صفت نیز در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر و عدم محلول‌پاشی با میانگین ۳۰/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (شکل ٦).

جدول ٦: تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی عناصر (ترکیباتی از بور، آهن و سلنیوم) و تنش شوری کلرید سدیمی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی استویا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)				
		کلروفیل a	کلروفیل b	نسبت کلروفیل b به a	مجموع کلروفیل	کاروتنوئید
تنش شوری (S)	۳	۳۲/۸**	۳۰/۰۳**	۰/۰٦**	۹۷/۲۱**	٦/۰۸**
محلول‌پاشی عناصر (FN)	۷	۸/٦٦**	۹/٦۷*	۰/۰۲*	۲٦/۰۰*	۱/۳۹**
S×FN	۲۱	۳/۲۳ns	۱۳/۲۳**	۰/۰۲**	۲۲/٤٦*	۱/٤۸**
اشتباه آزمایشی	٦٤	۲/٤۵	٤/۳۲	۰/۰۰٦	۱۰/۵۵	۰/۳۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۸/۸۲	۱۱/۱۵	۸/۹۵	۸/۳۹	۱٤/٤۰
R-Square	-	۰/۵۹	۰/٦۱	۰/٦٦	۰/۵۸	۰/۷۰

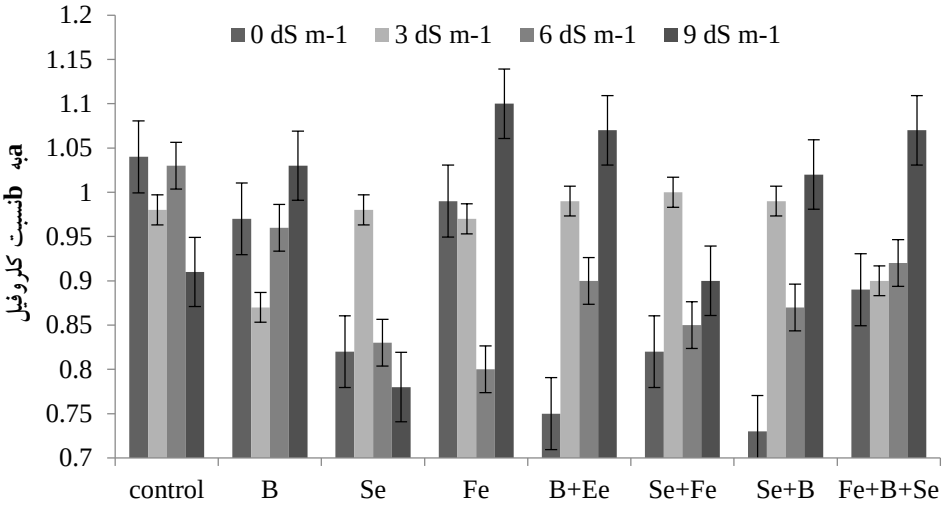
ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

محتوای کاروتنوئیدها: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری، محلول‌پاشی و اثر متقابل این دو بر محتوای کاروتنوئیدها برگ استویا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ٦). در مقایسه میانگین اثر متقابل شوری در محلول‌پاشی بیشترین کاروتنوئیدهای برگ در محلول‌پاشی با ترکیب بور و سلنیوم در سطح بدون تنش شوری با میانگین ۳/٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و کمترین میانگین در محلول‌پاشی با عنصر آهن در سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد (شکل ۷).



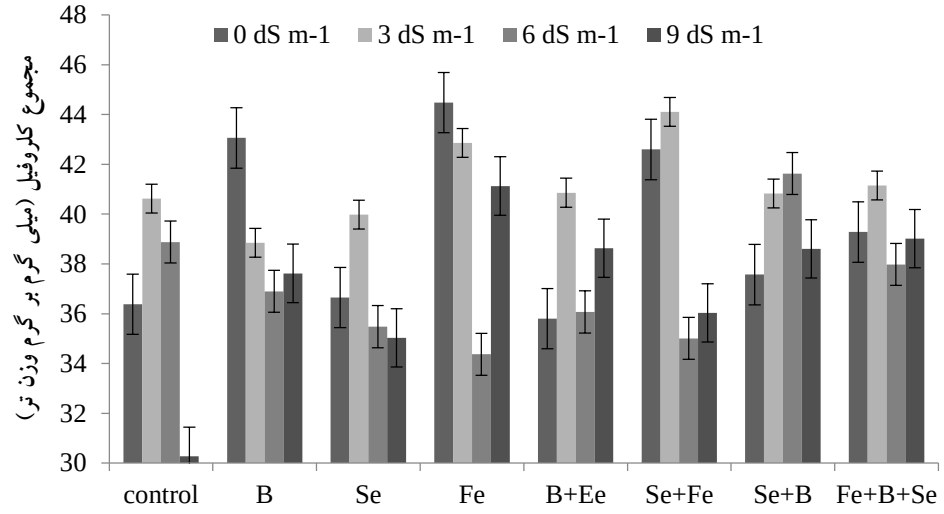
شکل ٤: مقایسه میانگین اثر تنش شوری کلرید سدیمی در محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن (Fe)، بور (B) و سلنیوم (Se) بر محتوای کلروفیل b

(خطای استاندارد (SE) غیر مشترک، تفاوت معنادار آماری میانگین‌های بدست آمده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد)



شکل ۵: مقایسه میانگین اثر تنش شوری کلرید سدیمی در محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن (Fe)، بور (B) و سلنیوم (Se) بر نسبت کلروفیل b به a

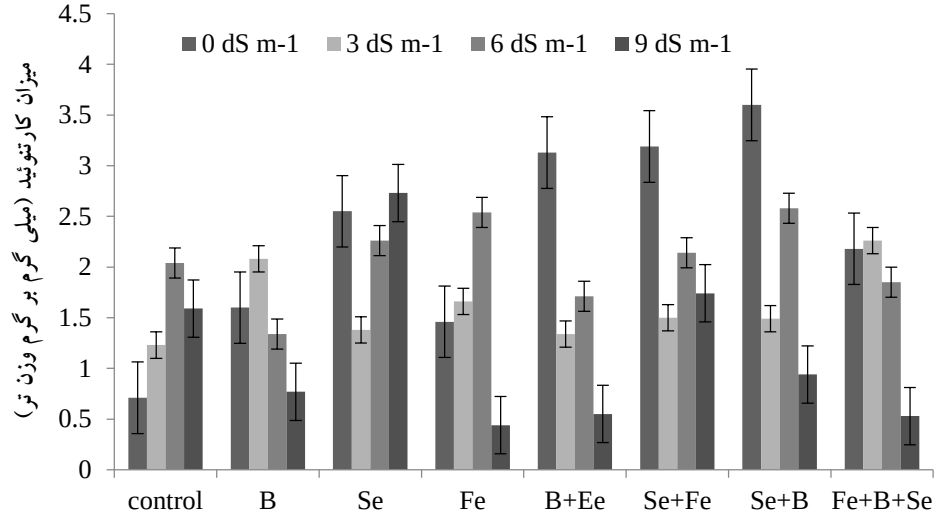
(خطای استاندارد (SE) غیر مشترک، تفاوت معنادار آماری میانگین‌های بدست آمده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد)



شکل ٦: مقایسه میانگین اثر تنش شوری کلرید سدیمی در محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن (Fe)، بور (B) و سلنیوم (Se) بر

محتوای کلروفیل کل

(خطای استاندارد (SE) غیر مشترک، تفاوت معنادار آماری میانگین‌های بدست آمده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد)



شکل ۷: مقایسه میانگین اثر تنش شوری کلرید سدیمی در محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن (Fe)، بور (B) و سلنیوم (Se) بر محتوای کاروتنوئید (خطای استاندارد (SE) غیر مشترک، تفاوت معنادار آماری میانگین‌های بدست آمده براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن را نشان می‌دهد)

بحث

در پژوهش حاضر تنش شوری ناشی از کلرید سدیم باعث کاهش معنی‌دار در میانگین اثر صفات مورد مطالعه شد به طوری که سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با سطح بدون تنش باعث کاهش ۷۱/۰۳، ۳۳/۵۸، ۲۸/٤۰، ۳۳/۵۷، ۳۱/۱۱، ۲۸/٤۹، ۵۳/۲۸، ٦۷/٤٦ و ۳۵/۸۹ درصدی به‌ترتیب در میانگین صفات وزن تر، وزن خشک، حجم، طول، سطح، قطر، چگالی سطح ریشه و درصد وزن تر و خشک ریشه به حجم خاک شد (جدول ٤). اثرات زیان‌بار شوری در گیاهان را می‌توان در تمام سطوح اعم از کاهش رشد و باروری تا مرگ گیاه مشاهده نمود. تنش شوری رشد و نمو گیاهان را از طریق تنش اسمزی، سمیت یون‌ها و نامتعادل‌سازی تغذیه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد. زیادی یون‌های سدیم و کلر در محیط کشت خارجی سبب سمیت این یون‌ها و کاهش دسترسی گیاه به مواد معدنی مورد نیاز شده و جذب و انتقال این عناصر را توسط گیاه دچار اختلال می‌کند (Parida and Das, 2005). به علاوه، پتانسیل اسمزی شدیداً منفی در خاک شور سبب کاهش جذب و کمبود در گیاه می‌شود (Munns, 1993).

خصوصیات ریشه مانند حجم، قطر، سطح، طول، عمق ریشه‌دهی و توسعه سیستم ریشه‌ای به‌عنوان عوامل مورفولوژیکی مؤثر برای تحمل به تنش در نظر گرفته می‌شوند، از این‌رو محققان گزارش کردند که نسبت بالاتر ریشه (اندام جذب کننده) به اندام هوایی (اندام مصرف کننده) توان گیاه را برای تحمل شرایط تنش بهبود می‌بخشد (Puangbut et al., 2009; Ganjeali and Bagheri, 2011). تغییرات مورفوفیزیولوژیک در ریشه گیاهان، در پاسخ به کاهش رطوبت در خاک در اثر تنش شوری و یا خشکی با توجه به شدت و مدت زمان تنش متغیر است و می‌توان در دو بخش آن را شرح داد. در تنش رطوبتی خفیف با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود CO_2 به کلروپلاست سلول‌های مزوفیل برگی فتوسنتز کاهش یافته (در حدود ۲۵ درصد) و در نهایت منجر

به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها شده که این رخداد، کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه را بدنبال دارد. از طرف دیگر با بسته شدن روزنه‌ها فرآیند انتقال آب از ریشه به اندام هوایی در آوند چوبی از طریق تعرق مختل شده و منجر به کاهش محتوای آب نسبی و عناصر مغذی در اندام‌های فتوسنتز کننده خواهد شد (Hosseinzadeh et al., 2016). در تنش شدیدتر، علاوه بر اثرات فوق و کاهش نسبی رشد ریشه، بدنبال ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS) تخریب سیستم فتوسنتزی (نظری پروتئین D1 در فتوسیستم نوری II، آنزیم فردوکسین اکسیدوردوکتاز، پروتئین‌های دخیل در کمپلکس تجزیه کننده آب و سیتوکروم) و کاهش شدید تولید مولد فتوسنتزی مشاهده می‌شود، از طرف دیگر با کاهش شدید جذب آب از خاک توسط ریشه‌ها، روند انتقال شیره خام و پرورده به ترتیب در آوند چوب و آبکش دچار اختلال شده و در نهایت تأثیر شدید بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی ریشه خواهد داشت (Hussain et al., 2000; Armand et al., 2016; Ahmadpour et al., 2016).

در طی شروع و توسعه تنش شوری در داخل گیاه، همه فرآیندهای اصلی مانند فتوسنتز، ساخت پروتئین، متابولیسم لیپید و تولید انرژی و برخی از ساختارهای سلولی مانند غشاهای زیستی آسیب می‌بینند (Rahmani and Maali-Amiri, 2014). در پژوهش حاضر نیز شوری باعث کاهش محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل و همچنین محتوای کاروتنوئید گردید ولی در مورد نسبت کلروفیل b به a، افزایش شوری باعث افزایش این میانگین به خصوص در شرایط محلول‌پاشی با عناصر غذایی شد.

آهن یکی از عناصر ضروری در تغذیه گیاهی که در فرآیندهای مختلفی همچون فتوسنتز، تنفس و اسیمیلاسیون نیتروژن آهن دخالت دارد (Stein et al., 2009). آهن در ساختمان سیتوکروم به عنوان ناقل الکترون در سیستم‌های فتوسنتزی برای تنفس و عملیات اکسیداسیون و احیاء و ساخت کلروفیل دخالت دارد. بور یک عنصر ضروری برای رشد و توسعه گیاهان می‌باشد و در فرآیندهای اصلی تقسیم و طویل شدن سلول یا سوخت و ساز نقش دارد (Hu and Brown, 1993).

در شرایط مصرف توأم عناصر غذایی کم مصرف، عملکرد و رشد گیاه بیش از مصرف انفرادی این عناصر افزایش می‌یابد (Khalili Mahale and Roshdi, 2008) که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. در پژوهش حاضر نیز در شرایط محلول‌پاشی با ترکیب سه عنصر آهن، بور و سلنیوم اکثر صفات مربوط به ریشه افزایش معنی‌دار در مقایسه با سایر تیمارهای مورد آزمایش داشت (جدول ۵). موریا و همکاران (Maurya et al., 1977) گزارش نمودند که اثر متقابل نیتروژن و بور بر وزن برگ‌ها و ریشه‌ها معنی‌دار است و بیشترین وزن ریشه مربوط به مصرف توأم این دو عنصر بود (Farzaneh et al., 2010).

کاهش اثر تنش‌های مختلف محیطی تحت تأثیر تیمار سلنیوم در بررسی‌های مختلف نشان داده شده است. تحریک رشد ناشی از کاربرد سلنیوم تحت تنش‌های محیطی به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان نسبت داده شده است (Hartikainen et al., 2000). داده‌های بررسی حاجی بلند و همکاران (Hajiboland et al., 2014) نشان داد که سلنیوم با تأثیر بر مورفولوژی ریشه‌ها یعنی تشکیل ریشه‌های ظریف‌تر نیز عمل می‌کند. تغییر در مورفولوژی ریشه به صورت افزایش نسبت ریشه‌های ظریف و گسترش انشعابات می‌تواند در گیاهان رشد یافته در خاک، اثر مهمی در تعادل آبی داشته و موجب افزایش جذب از

خاک خشک گردد. سلنیوم از طریق افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب افزایش تشکیل قندهای محلول گردیده که احتمالاً علاوه بر تحریک رشد عمومی و حمایت از رشد طولی ریشه‌ها، به عنوان اسموتیکوم در حفظ تعادل آبی مؤثر بوده است (Zhu et al., 2009).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر تنش شوری و محلول‌پاشی با ترکیبات عناصر آهن، بور و سلنیوم بر ویژگی‌های رشدی و موروفولوژیکی ریشه و همچنین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه استویا معنی‌دار بود. تنش شوری ناشی از کلرید سدیم اثرات منفی بر رشد و ویژگی‌های مورفولوژیکی ریشه و همچنین محتوای کلروفیل a، b و کل برگ گیاه استویا داشته و در اکثر صفات مورد مطالعه باعث کاهش معنی‌دار در میانگین این صفات گردید، به طوری که شوری صفر دسی‌زیمنس بر متر بیشترین میانگین صفات و شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر کمترین میانگین صفات را داشتند. محلول‌پاشی عناصر غذایی در مقایسه با عدم محلول‌پاشی باعث افزایش رشد ریشه و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. در بین ترکیبات مختلف نیز، مصرف توأم سه عنصر آهن، بور و سلنیوم در اکثر صفات ریشه و محلول‌پاشی عنصر آهن و ترکیب آهن با سلنیوم در مورد رنگیزه‌های فتوسنتزی مطلوب‌ترین نتیجه را داشتند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، توصیه می‌گردد برای افزایش رشد رویشی ریشه گیاه استویا در شرایط کشت شوری متوسط (۳ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر) محلول‌پاشی با ترکیب عناصر آهن و سلنیوم به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تنش صورت گیرد.

References

Abd El-Hady, B.A. (2007). Effect of zinc application on growth and nutrient uptake of barley plant irrigated with saline water. Journal of Applied Sciences Research. 3: 431-436.

Abdollahi, M., Eshghi, S., Tafazzoli, E. and Moosavi, N. (2012). Effects of paclobutrazol, boric acid and zinc sulfate on vegetative and reproductive growth of straweberry cv. Selva. Journal of Agricultural Science and Technology. 14: 357-363.

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H. and Tabatabaei, S. J. (2017). Determination of optimum duration and concentration of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) seed priming with Boric acid (H_3BO_3). Turkish Journal of Agricultural Research. 4(1):24-30.

Ahmadpour, R., Hoseeinzadeh, S.R. and Chashyani, S. (2016). Study of morphophysiological and biochemical characteristics of root of lentil cultivars in response to moisture stress. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 43(11): 39-51.

Akhavan, S., Shabanpoor, M. and Esfahani, M. (2012). Effect of density and soil texture on the growth of root and shoot of wheat. Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology). 26(3):727-735.

Armand, N., Amiri, H. and Ismaili, A. (2016). Interaction of methanol spray and water-deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. Journal of Photochemistry and Photobiology. 92(1):102-110.

Asadipoor, N., Sepehri, A. and Hosseini, S.A. (2014). Effect of different levels of salinity on growth indices of three genotypes of *Medicago sativa*. Environmental Stresses in Crop Sciences. 7 (2): 216-207.

Attarzadeh, M., Rahimi, A., Torabi, B. and Dashti, H. (2015). Effect of $Ca(NO_3)_2$. KH_2PO_4 and $MnSO_4$ foliar application on ion accumulation and physiological traits of safflower under salt stress. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi). 107:133-142.

Baloch, Q.B., Chachar, Q.I. and Tareen, M.N. (2008). Effect of foliar application of macro and micro nutrients on production of green chilies (*Capsicum annuum* L.). Journal of Agricultural Technology. 4(2): 177-184.

Baybordi, A. (2004). Effect of Fe, Mn, Zn and Cu on the quality and quantity of wheat under salinity stress. Journal of Water and Soil Science. 17: 140-150.

Ebtsam, A., El-Housini, M.A., Ahmed, M.S., Hassanein, M. and Tawfik, M. (2014). Effect of salicylic acid (SA) on growth and quality of stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) under salt stress. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 14 (4): 275-281.

Farzaneh, N., Golchin, A. and Hashemimajd, K. (2010). Effect of nitrogen and boric acid on growth, yield and nutrient concentration of tomato. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center. 2(1):19-28.

Feng, R., Weic, C. and Tu, S. (2013). The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. Environmental and Experimental Botany. 87:58– 68.

Ganjali, A., Kafi, M., Bagheri, A.R. and Shahriari Ahmadi, F. (2003). Algometric relationship for root and shoot characteristics of chickpea seedlings (*Cicer arietinum*). Journal of Agricultural Science and Technology. 18: 1.67-80.

Ganjeali, A. and Bagheri, A. (2011). Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Pulses Research. 1(2): 101-110. (In Persian with English abstract).

Hajabbasi, M.A. (2001). Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. Journal of Agricultural Science and Technology. 3: 67-77.

Hajiboland, R. (2012). Effects of micronutrient deficiencies on plants stress responses. In: A. Parvaiz, M.N.V. Prasad, (Eds.) Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. Springer Verlag, pp. 282–326.

Hajiboland, R., Keivanfar, N., Jodmand, A., Rezaei, H. and Nezhadmohammad, Y. (2014). Effect of Selenium treatment on drought tolerance of canola plant. Plant Research. 27(4):557-568.

Hartikainen, H., Xue T. and Piironen V. (2000). Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant Soil. 225: 193–200.

Heidari, F., Zehtab Salmasi, S., Javanshir, A., Aliari, H. and Dadpoor, M.R. (2008). The effects of application of microelements and plant density on yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 24, 1-9. [In Persian with English Summary].

Heijari, J., Kivimäenpää, M., Hartikainen, H., Julkunen-Tiitto R. and Wulff, A. (2006). Responses of strawberry (Fagaria×ananassa) to supplemental UV-B radiation and selenium under filed conditions. Plant Soil. 28: 27-39.

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica. 54 (1): 87-92.

Hu, H. and Brown, P.H. (1993). Adsorption of boron by plants roots. Plant and Soil. 78: 49-58.

Hussain, M.M., Reid, J.B., Othman, H. and Gallagher, YN. (2000). Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate root and shoot adaptation to drought stress. Field Crop Research. 23: 1-17.

Jamali, S., Borzoei, A. and Paknezhad, F. (2014). Root characteristics, Na/K ratio and wheat seed yield of seven genotypes under salinity stress condition. Greenhouse Culture Science and Technology. 5(20):165-175.

KeLing, Hu., Ling, Z., JiTao, W. and Yang, Y. (2013). Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress. Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 82(3):193–197

Khalili Mahale, J. and Roshdi, M. (2008). Effect of foliar application of micro nutrients on quamtitative and qualitative characteristics of 704 silage corn in Khoy. Seed and Plant Improvement Journal. 24(2):281-292.

Kijne, J.W. (2006). Abiotic stress and water scarcity: Identifying and resolving conflicts from plant level to global level. Field Crops Research. 97:3-18.

Maurya, A.N., Ra, K.N. and Lal, S. (1977). Effects of boron and nitrogen fertilizers on radish (*Raphanus sativus*). Experimental Agriculture. 13: 301-303.

Miri Kodori, M., Mohammadi, S.A. and Bandehhagh, A. (2014). Effect of salinity on root characteristics of Sahara 3771 (salt tolerant) and Clipper (salt sensitive) barley varieties. Cereals Research. 4(2):175-184.

Munns, R. (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soil some dogmas and hypothesis. Plant Cell and Environment. 16: 15-24.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and wa-ter stress. Plant, Cell and Environment, 25: 239-250.

Noori Akandi, Z., Pirdashti, P., Yaghoubian, Y. and Ghasemi Omran, V. (2016). Investigation of antioxidant enzymes activity and photosynthetic pigments content changes of stevia medicinal plant inoculated with *Piriformospora indica* fungi under salt stress. Agricultural Crop Management. 18(3):639-653.

Parida, A.K. and Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants. Ecotoxicology and Enviromental Safety. 60:324-349.

Puangbut, D., Jogloy, S., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., Kesmala Rao, T., Achaputi, C.N., Wright, G.C. and Patanothai, A. (2009). Association of root dry weight and transpiration efficiency of peanut genotypes under early season drought. Agriculture Water Management. 96: 1460-1466.

Pukacka, S., Ratajczak, E., Kalemba, E. (2011). The protective role of selenium in recalcitrant *Acer Saccharium* L. seeds subjected to desiccation. Journal of Plant Physiology. 168: 220–225.

Rafeii, S. and Pakkish, Z. (2014). Effect of Boric acid spray on growth and development of 'Camarosa' strawberry (Fragaria × ananassa Duch.). International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2(4): 1060-1063.

Rahmani, R.S. and Maali-Amiri, R. (2014). ROS signaling pathway and its role in environmental stresses. Genetics in the Third Millennium. 12(2): 3588-3603.

Seppänen, M., Turakainen, M. and Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Science. 165: 311–319.

Shariyatmadari, M.H., Zamani, G. and Sayari, M.H. (2011). Effects of salt and foliar application of Fe on LAI, light absorption and relation this with sunflower seed yield. Iranian Journal of Field Crops Research. 9(2):285-293.

Shelden, M.C., Roessner, U., Sharp, R.E., Tester, M. and Bacic, A. (2013). Genetic variation in the root growth response of barley genotypes to salinity stress. Funct. Plant Biology. 40(5): 516-530.

Yang, C.W., Xu, H.H., Wang, L.L., Liu, J., Shi, D.C. and Wang, D.L. (2009). Comparative effects of salt stress and alkali stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plans. Photosynthetica. 47: 79-86.

Zayed, B.A., Salem, A.K.M. and 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(2):179-184.

Zhu, Y.G., Pilon-Smits, E.A., Zhao, F.J., Williams, P.N. and Meharg, A.A. (2009). Selenium in higher plants: understanding mechanisms for bio fortification and phytoremediation. Trends in Plant Sciences. 14: 436–42.