

بررسی اثر محلول پاشی آهن و آلودگی سرب بر برخی صفات فیزیولوژی دو هیبرید ذرت علوفه‌ای در یک خاک آهنکی

مهدی تفویضی^۱، بابک متشعزاده^{۲*} و غلامرضا ثواقبی^۳
۱، ۲ و ۳. کارشناس ارشد، استادیار و استاد فقید گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی
دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۳ - تاریخ تصویب: ۹۳/۳/۱۹)

چکیده

به منظور بررسی برخی صفات فیزیولوژی گیاه ذرت در وضعیت آلودگی سرب به همراه محلول پاشی آهن، تحقیقی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در گلخانه اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح سرب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک)، دو رقم ذرت (۲۶۰ و ۷۰۴) و چهار سطح محلول پاشی سولفات آهن (صفر، دو، چهار و شش در هزار) بود. سرب سبب کاهش حجم ریشه، ارتفاع بخش - هوایی، وزن خشک بخش هوایی و ریشه شد. نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح سرب، با افزایش غلظت محلول پاشی آهن، غلظت آهن در بخش هوایی افزایش یافت. بیشترین شاخص پایداری غشا (۸۸/۵۴ درصد) در رقم ۲۶۰ با ترکیب تیماری بدون سرب با محلول - پاشی آهن ۲ در هزار و کمترین مقدار آن (۴۲/۶۹ درصد) در رقم ۷۰۴ با ترکیب تیماری ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب و ۶ در هزار محلول پاشی آهن مشاهده شد. نتایج نشان داد که در وضعیت آلودگی سرب، محلول پاشی آهن در غلظت‌های کم (۲ و ۴ در هزار) اثر مثبتی بر صفات بررسی شده داشت. بر اساس نتایج، رقم ۷۰۴ در مقایسه با رقم ۲۶۰ حساسیت بیشتری به آلودگی سرب نشان داد.

واژه‌های کلیدی: حجم ریشه، ذرت، شاخص پایداری غشا، محتوای نسبی آب برگ.

مقدمه

کاهش رشد و صدمات متابولیسمی گیاه را در پی دارد (Yan-de et al., 2007). عنصر سرب نیز همانند سایر فلزات سنگین، سبب بروز مشکلات فراوانی برای گیاه می‌شود، به طوری که غلظت زیاد آن در سطح مورفولوژیکی، کاهش زیست‌توده، ممانعت از جوانه‌زنی، القای کلروز و نکروز برگ، تغییر رنگ و چوبی شدن ریشه (Islam et al., 2008) و کاهش حجم ریشه (Menon et al., 2007) را در پی دارد و نیز در سطح سلولی موجب تغییر اندازه و شکل کلروپلاست، افزایش اندازه واکوئل و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود؛ همچنین در سطح فیزیولوژیکی، اختلال در عمل روزه‌ها را سبب می‌شود و بر محتوای نیترات، تعادل آبی سلول‌ها، فتوسنتز و تنفس تأثیر می‌گذارد (Islam et al., 2007). کمبود آهن یکی از اختلالات تغذیه‌ای شایع در

فلزات سنگین به‌ویژه سرب، از آلاینده‌های مهم زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند که سلامت انسان، حیوانات و محیط زیست را به‌طور جدی تهدید می‌کنند (Abioye et al., 2013). با اینکه سرب عنصری ضروری برای گیاهان یا حیوانات نیست، می‌تواند به‌راحتی توسط گیاهان و حیوانات جذب شود (Sengar et al., 2008). منبع اصلی آلودگی سرب معدن فلزات است، اما فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی نیز از منابع مهم آلودگی سربی به‌شمار می‌روند (Marchiol et al., 2004). تجمع بیش از اندازه فلزات سنگین در بیشتر گیاهان، موجب بروز سمیت در گیاه می‌شود که در صورت زیاد بودن غلظت یون‌های فلزات سنگین در محیط رشد، از ریشه به اندام هوایی منتقل می‌شود که

بسیار راهگشا خواهد بود. Abbaspour *et al.* (2005) در بررسی آلودگی برخی از خاک‌های کشاورزی ایران به فلزات سنگین سرب و کادمیوم، گزارش دادند که خاک بسیاری از مزارع بررسی شده، آلوده به این فلزات است. Golchin (2003) نیز با بررسی خاک‌های کشاورزی حاشیه کارخانه‌های صنعتی، گزارش داد که مزارع اطراف کارخانه‌های صنعتی بررسی شده، آلوده به فلزات سرب و کادمیوم است که موضوع بسیار نگران کننده‌ای است. بنابراین این تحقیق با هدف اهمیت بررسی اثر آلودگی سرب بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم ذرت علوفه‌ای با محلول پاشی آهن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به صورت یک آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج اجرا شد. نمونه خاک از مزرعه غیرآلوده آهنی از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری خاک سطحی جمع‌آوری شد. برای اجرای آزمایش‌های مقدماتی، خاک هواخشک شده، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین شد (جدول ۱). تعیین بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Kuo, 1996)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم نرمال (Hemke & Spark, 1996)، pH در عصاره اشباع (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مدل Jenway (Rhoades, 1996)، کربنات کلسیم معادل (Carter & Gregorich, 2008)، درصد ماده آلی به روش والکلی و بلاک (Nelson, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (Sumner & Milker, 1996) و غلظت سرب و آهن به روش عصاره‌گیری با DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 6400 تعیین شد.

تیمارهای آزمایشی

آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در خاک آهنی و در وضعیت گلخانه اجرا

بین گیاهان عالی که در خاک‌های آهنی و قلیایی رشد می‌کنند است، زیرا دامنه مطلوب pH در جذب آهن خاک حدود ۵ تا ۵/۵ است (Bojovic *et al.*, 2012). بنابراین اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهنی از طریق محلول پاشی سولفات آهن یا محلول کلات آهن می‌تواند کارآمدتر از کاربرد حاکی کودهای حاوی آهن باشد (Fageria *et al.*, 2009). Victoria & Georg (2005) گزارش دادند که تغذیه آهن به صورت محلول پاشی، وضعیت تغذیه‌ای آهن را در بخش هوایی محصولات کشاورزی بهبود می‌بخشد. ارتباط کلی بین فلزات سنگین و عناصر غذایی گیاهان رشد یافته در محیط آلوده به فلز، یکی از عوامل مهم در اصلاح کردن ویژگی سمی این فلزات است (Siedlecka & Krupa, 1999). در بین تأثیرات متقابل فلزات سنگین و عناصر غذایی، اثر آهن در فرایند فتوسنتز و رشد گیاه از اهمیتی خاص برخوردار است. فلزات سنگین قابلیت دسترسی و جذب آهن در آپوپلاست ریشه، جذب به درون سلول‌های ریشه و انتقال به بخش هوایی را کاهش می‌دهند و سبب می‌شوند آهن کمتری در اختیار برگ‌ها قرار گیرد. گزارش شده است که در وضعیت کمبود آهن، جذب و تجمع فلزات سنگین افزایش می‌یابد (Fodor, 2006). Fodor *et al.* (1998) گزارش دادند که سرب موجب کاهش غلظت آهن در بخش هوایی گیاه خیار شد. Bojovic *et al.* (2012) نیز با بررسی اثر متقابل وضعیت تغذیه‌ای آهن و قابلیت دسترسی سرب در گیاه *Ailanthus altissima* (Mill.) گزارش دادند که تجمع سرب در گیاهان دارای آهن کافی در مقایسه با گیاهان دچار کمبود آهن، بیشتر بود. با وجود این، اثر وضعیت آهن بر جذب و انتقال سرب در گیاهان یکی از موضوعات بحث‌برانگیز است. در بین گونه‌های مختلف محصولات کشاورزی، ذرت از اهمیت زیادی برخوردار است و در سراسر جهان کشت می‌شود (Malkowski *et al.*, 2002). در ایران گیاه ذرت از جمله گیاهان زراعی مهمی است که به عنوان علوفه و نیز برای تولید دانه کشت می‌شود (Nuraky *et al.*, 2011). آگاهی درباره تأثیرات سمی فلز سرب بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه ذرت، در انتخاب ارقام برای تولید بهتر و بهبود عملکرد در وضعیتی که خاک مورد نظر آلوده به این فلز است،

دستگاه جذب اتمی مدل (Shimadzu -AA 6400) اندازه‌گیری شد (Bingham *et al.*, 1984) برای اندازه‌گیری حجم ریشه، از استوانه مدرج حاوی آب استفاده شد (Messenger *et al.*, 2000).

اندازه‌گیری سطح برگ

در مرحله رویشی (قبل از گلدهی) برای اندازه‌گیری سطح برگ، از هر گلدان به صورت تصادفی یک بوته انتخاب شد و پس از انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه، سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf Area Meter, Model: DELTA-T) سطح برگ اندازه‌گیری شد.

شاخص پایداری غشای سلولی

شاخص پایداری غشای سلولی^۱ به منظور بررسی شدت آسیب وارد به غشا در اثر آلودگی سرب، اندازه‌گیری شد. دو گروه نمونه از یک برگ آماده شد. در هر گروه ۰/۱ گرم از بافت سالم و تازه اندام هوایی گیاه در ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر قرار داده شد. لوله‌های آزمایش حاوی نمونه برگی گروه اول به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم (دستگاه بن‌ماری) با دمای ۴۰ درجه سلسیوس و لوله‌های آزمایش حاوی نمونه برگی گروه دوم به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه هدایت الکتریکی مدل Jenway اندازه‌گیری و درصد شاخص پایداری غشا با استفاده از رابطه^۱ محاسبه شد (Sairam *et al.*, 2002). C_1 و C_2 به ترتیب هدایت الکتریکی نمونه‌های گروه اول و دوم هستند.

$$\%MSI = \left[1 - \left(\frac{C_1}{C_2}\right)\right] \times 100 \quad (1)$$

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ^۲، از آخرین برگ توسعه‌یافته، پنج قطعه به طول یک سانتی‌متر جدا و پس از اندازه‌گیری وزن قطعات با ترازوی دیجیتال (با

شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح آلودگی سرب [خاک غیرآلوده (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک]، چهار سطح محلول پاشی سولفات آهن [صفر (شاهد)، دو در هزار، چهار در هزار و شش در هزار] و دو هیبرید سینگل کراس ۲۶۰ (زودرس) و ۷۰۴ (دیررس) بودند. برای آلوده‌سازی خاک به صورت مصنوعی، از نمک $PbCl_2$ استفاده شد. خاک‌های آلوده شده، به منظور رسیدن به وضعیت طبیعی و ایجاد تعادل در فرکشن‌های مختلف عناصر در خاک، به مدت ۵ ماه در حد رطوبت ظرفیت مزرعه در وضعیت دمای محیط نگهداری شد. پس از سپری شدن دوره انکوباسیون، گیاهان کشت شدند. محلول پاشی آهن در مرحله هشت‌برگی ذرت و در یک مرحله انجام گرفت. برای محلول پاشی آهن از نمک سولفات آهن ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) استفاده شد. برای ایجاد وضعیت یکسان، گلدان‌های شاهد (آهن با سطح صفر) با آب مقطر محلول پاشی شدند.

کشت گیاه

بذور ارقام ذرت سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰، از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. برای کشت گیاهان از گلدان‌های پلاستیکی سه‌ونیم کیلوگرمی استفاده شد. در هر گلدان ۱۰ بذر کشت شد و پس از یک هفته به چهار گیاه کاهش داده شد. گلدان‌ها ۷۵ روز در گلخانه با دمای ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. شدت نور گلخانه ۱۰۰۰۰ لوکس بود و طول دوره روشنایی با توجه به دوره رشد، بین ۱۴-۱۲ ساعت در روز تنظیم شد. رطوبت خاک گلدان‌ها در سراسر دوره رشد در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از ۷۵ روز، بخش‌های مختلف گیاه (ریشه و بخش هوایی) برداشت شد و سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری غلظت عنصر سرب و آهن، نمونه‌ها آسیاب شده و عصاره گیاهی به روش خشک‌سوزانی آماده شد و غلظت سرب در عصاره با

1. Membrane stability index
2. Leaf relative water content

(۲)

۱۰۰ × [(وزن خشک - وزن آماس) / (وزن خشک - وزن تر)] = محتوای نسبی آب (%)

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت. گروه‌بندی میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

دقت ۰/۰۰۱ گرم)، داخل آب مقطر به مدت بیست و چهار ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس داخل یخچال قرار داده شد تا آماس کنند (Ritchie & Nguyen, 1990). بعد از خارج کردن برگ‌ها از آب مقطر، وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در داخل آون قرار داده شدند و پس از اندازه‌گیری وزن خشک آنها، با استفاده از رابطه ۲ محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (Gonzalez, 2001).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در آزمایش

مقدار	خصوصیت	مقدار	خصوصیت
۰/۸۸	کربن آلی (درصد)	۳۳	شن (درصد)
۱/۵۰	مواد آلی (درصد)	۳۰	سیلت (درصد)
۰/۰۹	نیترژن کل (درصد)	۳۷	رس (درصد)
۸/۰۷	کربنات کلسیم معادل (درصد)	لوم رسی	کلاس بافت خاک
۱۵/۱۷	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۸	pH
۱۴۷/۱۳	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۰	رطوبت ظرفیت مزرعه (درصد)
۱/۵۰	سرب قابل استخراج با دی تی پی ای (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۴/۶۰	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
۵/۵۴	آهن قابل استخراج با دی تی پی ای (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۲/۵۰	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بار در کیلوگرم)

نتایج و بحث

غلظت سرب و آهن در بخش هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر برهمکنش رقم × سرب × آهن بر غلظت سرب و آهن بخش هوایی معنادار شد ($P < 0/01$). پس از کشت گیاهان در غلظت‌های مختلف کلرید سرب به مدت ۷۵ روز مشاهده شد که در هر یک از سطوح محلول پاشی آهن، غلظت سرب بخش هوایی با افزایش غلظت سرب در خاک، به‌طور معناداری ($P < 0/01$) افزایش یافت.

Patra, (2006) Sinha et al., (2009) Azmat et al. (2004) et al. نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند. بیشترین غلظت سرب بخش هوایی (۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) در رقم ۲۶۰ با ترکیب تیماری آهن ۰ × سرب ۴۰۰ مشاهده شد.

در بخش هوایی مشاهده شد که در هر یک از سطوح سرب، با افزایش غلظت محلول پاشی آهن، غلظت آهن در بخش هوایی افزایش یافت. Erdal et al. (2005) نتایج مشابهی را گزارش دادند. بیشترین غلظت آهن در بخش هوایی (۳۷۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم)، در ترکیب تیماری آهن ۶ × سرب ۱۰۰ رقم ۲۶۰ مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت کم محلول پاشی

آهن موجب کاهش غلظت سرب در بخش هوایی شد. Fodor (2006) بیان کرد که وضعیت تغذیه‌ای آهن ممکن است جذب فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار دهد. Zinada et al. (2011) نیز گزارش دادند که در هر یک از سطوح مختلف سرب، با افزایش سطح محلول پاشی آهن، غلظت سرب در بخش هوایی اسفناج، کاهش معناداری را در مقایسه با شاهد (بدون محلول پاشی) نشان داد. در مقابل Bojovic et al. (2012) با بررسی اثر وضعیت تغذیه‌ای آهن بر قابلیت دسترسی سرب در گیاه *Ailanthus altissima* (Mill.) گزارش دادند که تجمع سرب در گیاهان دارای آهن کافی (+Fe) در مقایسه با گیاهان دچار کمبود آهن (-Fe)، بیشتر بود. در سطح پایین محلول پاشی آهن، با افزایش غلظت سرب، تفاوت معناداری از نظر آماری در غلظت آهن بخش هوایی بین تیمارهای سرب مشاهده نشد، با وجود این در رقم ۷۰۴ که در مقایسه با رقم ۲۶۰ به آلودگی سرب حساسیت بیشتری داشت، علائم ظاهری کمبود آهن مشاهده شد و در سطح بالای محلول پاشی آهن (آهن ۶)، با افزایش غلظت سرب در خاک، غلظت آهن در بخش هوایی کاهش یافت. آهن پس از جذب به درون ریشه با ترکیبات آلی ترکیب می‌شود و به شکل محلول در

گیاهان دولپه‌ای، عامل کلات‌کننده آزادشده، ممکن است در صورت نبود یون آزاد Fe^{3+} ، با سایر فلزات از قبیل Pb^{2+} یا Cd^{2+} پیوند برقرار کند (Srivastava & Appenroth, 1995). از سوی دیگر، سرب از طریق کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاه نظیر آهن، کلسیم، منیزیم، منگنز، فسفر و روی و از طریق مسدود ساختن ورود یا پیوند این عناصر به یون حامل جذب، انتقال این عناصر از ریشه به برگ‌ها را مسدود می‌کند (Xiong, 1997). با وجود این، در حال حاضر اثر وضعیت آهن بر جذب و انتقال سرب در گیاهان یکی از موضوعات بحث‌برانگیز است.

سلول‌های گیاه باقی می‌ماند در بین این ترکیبات آلی، اسید سیتریک ممکن است عامل مهمی به‌عنوان کلات‌کننده آلی آهن، در انتقال آهن از طریق آوندهای چوبی باشد (Chen et al., 2006). Taiz & Zeiger (2003) نیز با بررسی اثر اسید سیتریک بر انتقال سرب در گیاه مشاهده کردند که اسید سیتریک ممکن است موجب افزایش انتقال سرب از ریشه به بخش هوایی شود. بدون شک، فلزات سنگین برای پیوند با لیگاندهای آلی با آهن رقابت می‌کنند. هر چند شکل Fe^{3+} در مقایسه با یون‌های ۲ ظرفیتی فلزات سنگین، اغلب پیوند قوی‌تری با کلات‌ها ایجاد می‌کند. پس از احیای کلات- Fe^{3+} در سطح بیرونی پلاسما سلول‌های ریشه، در

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیرات تیمارهای آزمایشی بر برخی صفات فیزیولوژیکی دو رقم ذرت ۲۶۰ و ۷۰۴

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	وزن خشک		غلظت فلز در بخش هوایی		محتوای نسبی آب	شاخص پایداری غشا	حجم ریشه
			بخش هوایی	ریشه	سرب	آهن			
رقم	۱	۱۷۹۲/۶۲ ^{ns}	۲/۳۶ ^{ns}	۲۷/۲۳۲۰ ^{ns}	۲۸۱/۱۹ ^{ns}	۲۴۶۲/۴۰ ^{ns}	۲/۱۶ ^{ns}	۷/۴۶ ^{ns}	۲۰۴۴/۲۶ ^{ns}
سرب	۳	۳/۷۷ ^{ns}	۲۸/۴۲ ^{ns}	۱/۶۹۶۱ ^{ns}	۲۵۳۱/۴۶ ^{ns}	۶۲۶/۲۳ ^{ns}	۲۲/۳۷ ^{ns}	۱۰۹/۱۹ [*]	۲۴/۶۲ ^{ns}
آهن	۳	۱۰۰/۴۴ ^{ns}	۱۳/۱۵ [*]	۰/۲۴۰۴ ^{ns}	۵۲/۴۳ ^{ns}	۲۶۷۰۵۰/۵۸ ^{ns}	۲۹/۵۳ ^{ns}	۷۳۳/۴۰ ^{ns}	۱۰۵/۷۸ ^{ns}
رقم × سرب	۳	۴۰۹/۵۴ ^{ns}	۴/۷۷ ^{ns}	۱/۶۱۵۲ ^{ns}	۲۶/۳۸ ^{ns}	۲۸۶۳/۸۰ ^{ns}	۴۰/۷۴ [*]	۲۷۹/۳۵ ^{ns}	۱۰/۲۳ ^{ns}
رقم × آهن	۳	۱۱۴/۳۸ ^{ns}	۲/۷۰ ^{ns}	۰/۲۳۹۲ ^{ns}	۶۱/۸۷ ^{ns}	۲۴۸۸/۳۲ ^{ns}	۴۷/۴۹ [*]	۱۵۶/۹۰ ^{ns}	۳۰/۶۲ ^{ns}
سرب × آهن	۹	۶۰/۹۶ ^{ns}	۲/۲۰ ^{ns}	۰/۳۳۷۰ ^{ns}	۴۴/۸۵ ^{ns}	۷۸۹/۰۶ [*]	۳۲/۹۴ ^{ns}	۱۵۰/۱۳ ^{ns}	۶/۱۳ ^{ns}
رقم × سرب × آهن	۹	۶۴/۳۹ ^{ns}	۶/۰۸ ^{ns}	۰/۲۲۴۴ [*]	۳۷/۵۶ ^{ns}	۲۰۷/۳۰ ^{ns}	۳۳/۳۴ ^{ns}	۲۸۰/۸۷ ^{ns}	۹/۴۸ ^{ns}
خطا	۶۴	۱۹/۹۲	۳/۳۰	۰/۱۰۰۹	۱۱/۵۰	۳۰۲/۳۶	۱۱/۸۵	۳۱/۶۱	۵/۵۲
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۴۳	۱۰/۹۶	۱۹/۹۴	۱۷/۱۵	۱۰/۸۲	۱۳/۳۷	۴/۰۲	۲۰/۴۸

ns، *، **، به ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت سرب و آهن بخش هوایی

تیمارهای آزمایشی	غلظت سرب				غلظت آهن			
	آهن صفر	آهن ۲	آهن ۴	آهن ۶	آهن صفر	آهن ۲	آهن ۴	آهن ۶
سرب صفر	۱۵/۲۰ h-k	۹/۱۳ klm	۱۳/۳۰ h-l	۱۶/۵۶ g-j	۱۳/۵۶	۷۷/۵۰ f-j	۱۰۴/۹۰ fgh	۳۲۱/۳۰ b
سرب ۱۰۰	۱۴/۶۰ h-k	۷/۹۶ lm	۱۶/۷۰ g-j	۱۵/۱۶ h-k	۱۳/۶۰	۷۳/۹۰ g-j	۱۰۸/۹۳ f	۳۷۱/۲۰ a
سرب ۲۰۰	۲۴/۳۶ de	۲۳/۸۳ def	۲۱/۹۳ efg	۱۸/۹۳ e-h	۲۲/۲۶	۶۵/۸۰ j	۸۸/۴۷ f-j	۳۴۳/۳۷ ab
سرب ۴۰۰	۴۴/۰۰ a	۲۹/۳۰ cd	۳۸/۸۰ ab	۳۳/۹۰ bc	۳۶/۵۰	۷۱/۶۳ hij	۹۲/۴۳ f-j	۲۷۷/۳۰ c
میانگین	۲۴/۵۴	۱۷/۵۵	۲۲/۶۸	۲۱/۱۴	-	۷۲/۲۱	۹۸/۶۸	۳۲۸/۲۹
سرب صفر	۹/۲۶ klm	۱۰/۱۶ j-m	۱۱/۱۶ j-m	۱۲/۳۶ h-l	۱۰/۷۳	۶۸/۹۳ ij	۹۸/۰۷ f-j	۳۴۶/۴۰ ab
سرب ۱۰۰	۱۵/۵۶ g-k	۱۵/۷۶ g-k	۵/۶۶ m	۱۳/۹۰ h-l	۱۲/۷۲	۷۱/۶۵ hij	۹۵/۲۰ f-j	۲۳۱/۴۷ d
سرب ۲۰۰	۱۹/۰۰ e-h	۱۷/۸۶ f-i	۱۶/۷۳ g-j	۱۲/۱۳ i-l	۱۶/۴۳	۶۹/۲۷ ij	۱۰۶/۸۷ ffg	۲۸۴/۹۰ c
سرب ۴۰۰	۳۰/۵۶ c	۳۱/۵۳ c	۳۸/۰۳ b	۲۹/۲۰ cd	۳۲/۳۳	۷۴/۵۳ g-j	۱۰۰/۵۳ f-i	۲۸۷/۸۷ c
میانگین	۱۸/۵۹	۱۸/۸۳	۱۷/۸۹	۱۶/۹۰	-	۷۱/۱۰	۹۷/۹۳	۲۸۷/۶۶

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنادار در سطح ۵ درصد.

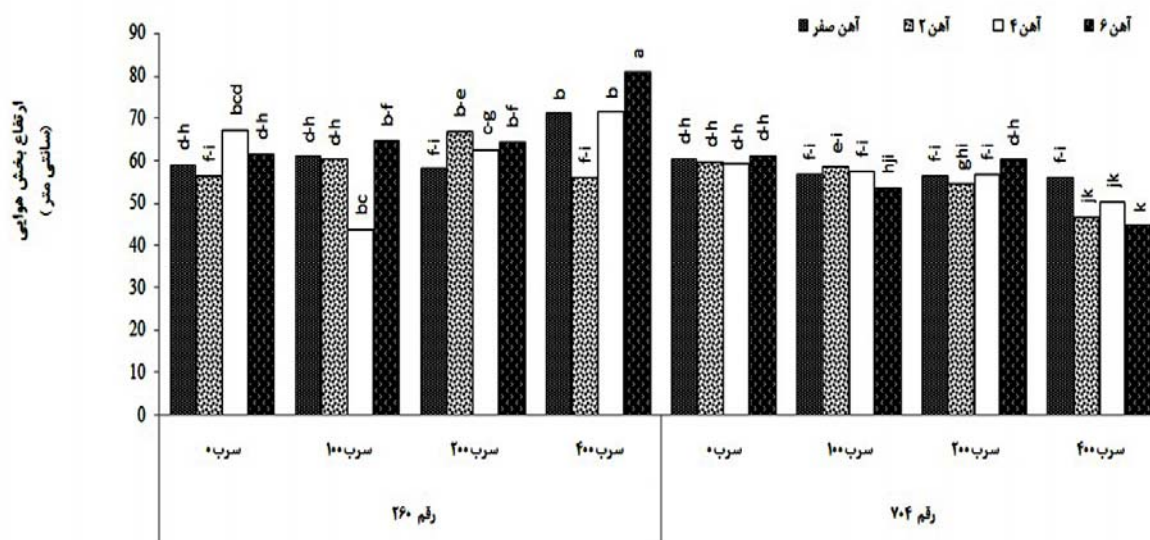
سانتی‌متر) بیشتر بود. اثر متقابل تیمارهای آزمایشی (رقم × سرب × آهن) بر ارتفاع بخش هوایی معنادار شد ($P < 0.01$) (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بخش هوایی در رقم ۲۶۰ با ترکیب تیماری آهن ۶ × سرب ۴۰۰ (میانگین ۸۰/۶۴ سانتی‌متر) و کمترین آن، در رقم ۷۰۴ با ترکیب تیماری آهن ۶ × سرب ۴۰۰ (میانگین ۴۴/۷۹

ارتفاع بخش هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، ارتفاع بخش هوایی رقم ۲۶۰ و ۷۰۴ اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارتفاع بخش هوایی رقم ۲۶۰ (میانگین ۶۴/۳۸ سانتی‌متر) در مقایسه با رقم ۷۰۴ (میانگین ۵۵/۷۳

بخش هوایی ممکن است به دلیل کاهش فتوسنتز، اختلال در تعادل آب و مواد معدنی، تغییر وضعیت هورمونی و اثر بر نفوذپذیری و ساختار غشا باشد. *Khudsar et al.* (2000) نیز بیان کردند که برهمکنش فلزات سنگین با گروه‌های سولفیدریل و غیرفعال کردن پروتئین‌های گیاهی از رشد ریشه و بخش هوایی جلوگیری می‌کنند. اختلال در فعالیت هورمون‌هایی نظیر اکسین در تیمار فلزات سنگین نیز می‌تواند موجب کاهش رشد گیاه شود (Potters *et al.*, 2007).

سانتی‌متر) مشاهده شد (شکل ۱). تغییرات مربوط به کاهش ارتفاع بخش هوایی در اثر آلودگی سرب در رقم ۷۰۴ بیشتر از رقم ۲۶۰ بود. *Akinci et al.* (2010) نیز کاهش ارتفاع بخش هوایی در اثر آلودگی سرب را گزارش دادند. در رقم ۲۶۰، در هر یک از سطوح سرب، افزایش غلظت محلول‌پاشی آهن سبب افزایش ارتفاع بخش هوایی شد (شکل ۱). *Zinada et al.* (2011) نیز گزارش دادند که محلول‌پاشی آهن در وضعیت آلودگی سرب، موجب افزایش ارتفاع بخش هوایی شد. *Sharma & Debuy* (2005) گزارش دادند که جلوگیری از رشد



شکل ۱. اثر برهمکنش رقم × سرب × آهن بر ارتفاع بخش هوایی

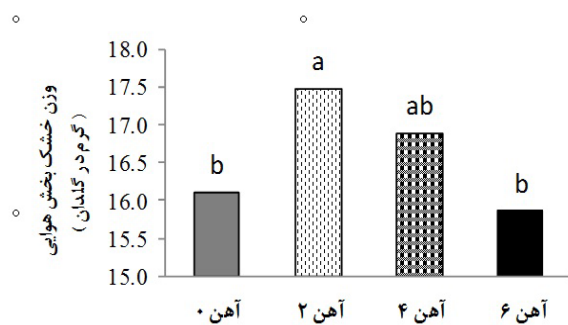
مقدار وزن خشک ریشه (۲/۸۱ گرم در گلدان) در تیمار آهن ۴ × سرب ۲۰۰ رقم ۷۰۴ مشاهده شد و کمترین مقدار آن (۰/۶۷ گرم در گلدان) مربوط به تیمار آهن ۶ × سرب ۰ رقم ۲۶۰ بود (شکل ۴). همان‌طور که نتایج نشان داد، آلودگی سرب به‌ویژه در غلظت زیاد (سرب ۴۰۰) موجب کاهش رشد بخش‌های مختلف رقم‌های ۲۶۰ و ۷۰۴ شد. براساس مطالعات *Han et al.* (2008) و *Duad et al.* (2009)، کم شدن رشد بخش هوایی نمونه‌های گیاهی تحت تأثیر فلزات سنگین، ممکن است به علت کاهش فتوسنتز در نتیجه تنش فلزات سنگین در گیاه باشد. *Sinha* (2006) دلیل کاهش زیست‌توده را به اختلال در فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن در اثر تنش سرب نسبت داد. *Almeida et al.* (2007) نیز بیان

زیست‌توده

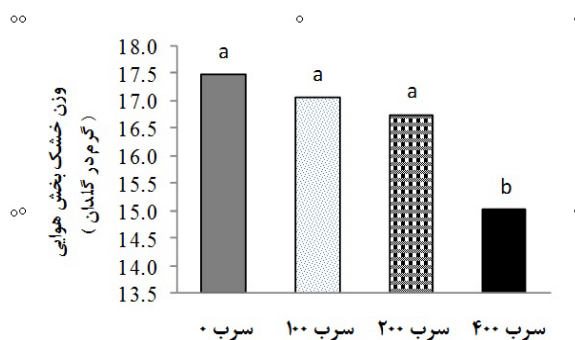
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر سه‌گانه تیمارهای آزمایشی، بر وزن خشک ($P < 0.05$) ریشه معنادار شد، اما بر وزن خشک بخش هوایی اثر معناداری نداشت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، کمترین مقدار وزن خشک بخش هوایی در تیمار سرب ۴۰۰ مشاهده شد و با افزایش غلظت سرب، وزن خشک بخش هوایی (شکل ۲) و ریشه (شکل ۴) کاهش یافت. *Islam et al.* (2008)، *Sharma & Debuy* (2005)، *Akinci et al.* (2010)، نتایج مشابهی را گزارش دادند. در بخش هوایی، محلول‌پاشی آهن (تیمارهای آهن ۲ و ۴)، به‌ترتیب موجب افزایش ۸/۵ و ۵ درصدی وزن خشک بخش هوایی در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۳). بیشترین

مانند آهن که در فتوسنتز نقش دارند، مؤثر است و مانع جذب آنها توسط گیاه می‌شود و از این طریق بر فرایند فتوسنتز اثر می‌گذارد و در نهایت موجب کاهش رشد گیاه می‌شود.

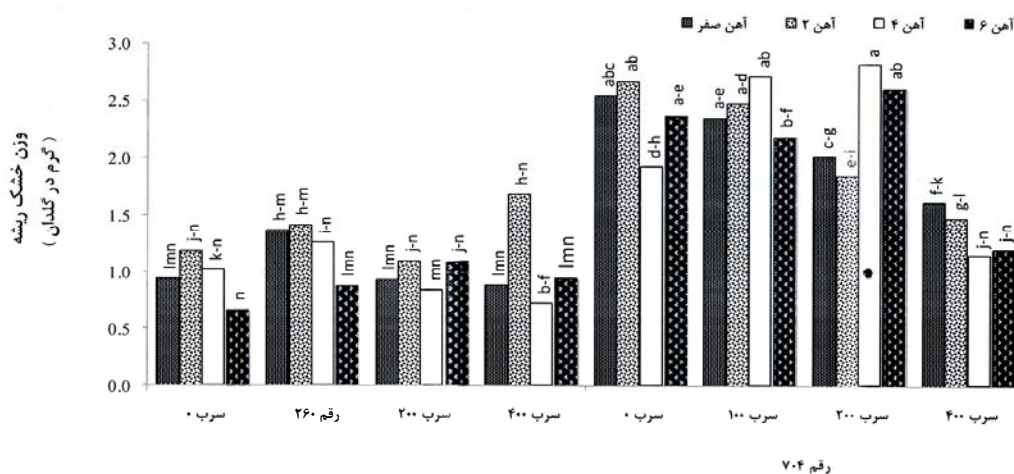
کردند که فلزات سنگین بر ناقلان الکترون اثر می‌گذارند و با رساندن خود به مرکز واکنش فتوسیستم II، اثر خود را بر جای می‌نهند و در نتیجه سبب کاهش سطح انرژی (ATP Pool) و در نتیجه، کاهش فتوسنتز در گیاه می‌شوند. از این رو احتمال می‌رود سرب بر جذب فلزاتی



شکل ۳. اثر محلول پاشی آهن بر وزن خشک خشک



شکل ۲. اثر سرب بر وزن خشک بخش هوایی



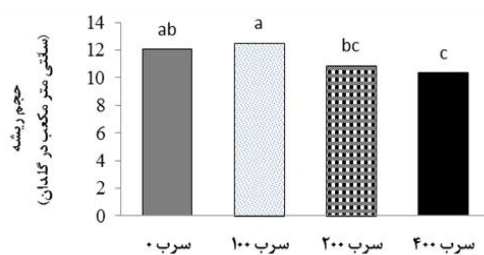
شکل ۴. اثر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک ریشه

کاهش حجم ریشه شد. اثر برهمکنش رقم × آهن در سطح احتمال ۱ درصد معنادار شد (جدول ۲). بیشترین مقدار حجم ریشه در رقم ۷۰۴ با سطح آهن چهار در هزار با میانگین ۱۷/۸۳ (سانتی‌متر مکعب در گلدان) و کمترین مقدار در رقم ۲۶۰ با سطح آهن شش در هزار با میانگین ۵/۴۱ (سانتی‌متر مکعب در گلدان) مشاهده شد (شکل ۶). تفاوت معناداری از نظر آماری بین سایر سطوح محلول پاشی آهن و تیمار شاهد مشاهده نشد. در واقع غلظت کم محلول پاشی آهن موجب کاهش جذب سرب شد و از این طریق بر حجم ریشه اثرگذار بود و در غلظت زیاد محلول پاشی آهن، اثر محرک بر جذب سرب داشت (موجب جذب بیشتر سرب در گیاه شد) و در

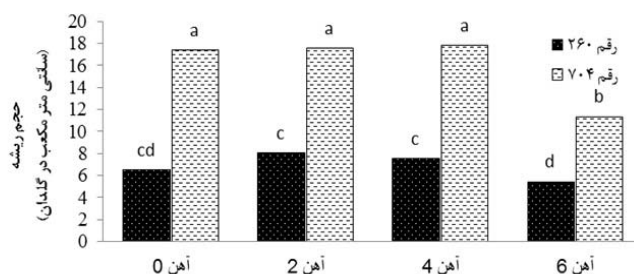
حجم ریشه
بر اساس نتایج به دست آمده، حجم ریشه رقم‌های ۲۶۰ و ۷۰۴ اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. رقم ۷۰۴ با میانگین ۱۶/۰۸ (سانتی‌متر مکعب در گلدان)، بیشترین حجم ریشه را در مقایسه با رقم ۲۶۰ با میانگین ۶/۸۵ (سانتی‌متر مکعب در گلدان) داشت. همچنین اثر تیمارهای مختلف سرب بر حجم ریشه معنادار شد ($P < 0.01$). کمترین مقدار حجم ریشه (میانگین ۱۰/۳۷ سانتی‌متر مکعب در گلدان) در تیمار سرب ۴۰۰ مشاهده شد (شکل ۵) که نسبت به تیمار شاهد، موجب کاهش ۱۴/۱۵ درصدی حجم ریشه شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که آلودگی سرب سبب

تنش فلز سنگین (Almeida *et al.*, 2007) یا اثر مستقیم تنش فلز بر هسته سلولی (Daud *et al.*, 2009) باشد. Eun *et al.* (2000) نیز گزارش دادند که جلوگیری از رشد ریشه ممکن است به دلیل کاهش کلسیم در نوک ریشه باشد. در اثر کاهش کلسیم در نوک ریشه، تقسیم سلولی و طولی شدن سلول‌ها در نوک ریشه کاهش می‌یابد. با توجه به دلایل ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که در اثر آلودگی سرب، رشد ریشه در این ارقام کاهش یافت و در اثر این کاهش رشد، حجم ریشه نیز کاهش پیدا کرد. کاهش رشد ریشه در غلظت‌های زیاد محلول‌پاشی آهن را می‌توان جذب بیشتر سرب در این غلظت از آهن دانست.

نتیجه موجب کاهش حجم ریشه شد. Peng *et al.* (2005) با بررسی اثر آلودگی سرب بر حجم ریشه گیاهان *Elsholtzia argyi* و *Elsholtzia splendens* مشاهده کردند که در هر دو گیاه تحت آزمایش، با افزایش غلظت سرب ($Pb \geq 10$ mg/L)، حجم ریشه کاهش یافت. Gopal *et al.* (2008) نیز کاهش حجم ریشه گیاه تربچه را در اثر سمی بودن سرب گزارش دادند. Breckle (1991) بیان کرد که ریشه‌های گیاه به‌سرعت از طریق کاهش رشد و تغییر در الگوی انشعابات، به سرب جذب‌شده واکنش نشان می‌دهند. همچنین براساس برخی تحقیقات، کاهش رشد ریشه ممکن است به دلیل لیگنینه شدن دیواره سلولی تحت



شکل ۵. اثر تیمار سرب بر حجم ریشه



شکل ۶. اثر متقابل رقم × بر حجم ریشه

(2010)، تحت تنش سرب گزارش شده است. Sharma & Debuy (2005) کاهش سطح برگ در محیط حاوی فلزات سنگین را از پاسخ‌های عمومی گیاهان به محیط حاوی فلز سنگین عنوان کردند. سرب از طرق مختلفی موجب کاهش فتوسنتز می‌شود. کاهش فتوسنتز در نتیجه اختلال در ساختار کلروپلاست، ممانعت از ساخت کلروفیل، پلاستوکوئینون و کارتنوئیدها، جلوگیری از انتقال الکترون، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های چرخه کلورین و کمبود دی‌اکسیدکربن به دلیل بسته شدن روزنه‌ها ایجاد می‌شود که همه این موارد به کاهش رشد و توسعه گیاه می‌انجامد (Akinci

سطح برگ

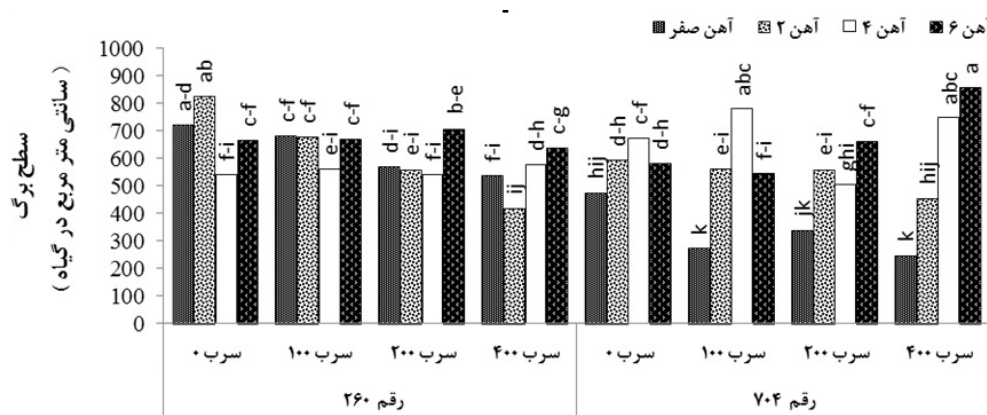
براساس نتایج مقایسه میانگین، رقم ۲۶۰ با میانگین ۶۱۸/۳۸ (سانتی‌متر مربع در گیاه)، سطح برگ بیشتری در مقایسه با رقم ۷۰۴ با میانگین ۵۵۳/۴۹ (سانتی‌متر مربع در گیاه)، داشت و بین دو رقم از نظر صفت سطح برگ اختلاف معناداری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. در هر یک از سطوح محلول‌پاشی آهن مشاهده شد که با افزایش غلظت سرب در خاک، مقدار سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۷). نتایج مشابهی در کاهش سطح برگ گیاه کلم (Sinha *et al.*, 2006) و گوجه فرنگی (Akinci *et al.*,

مشاهده شد (شکل ۷). با توجه به نتایج به دست آمده، در غلظت‌های زیاد سرب، محلول پاشی آهن بر سطح برگ گیاه، اثر مثبتی نشان داد که این اثر در رقم ۷۰۴ بیشتر دیده می‌شود.

محتوای نسبی آب

بر اساس نتایج به دست آمده، در مقایسه بین تیمارهای سرب و تیمار شاهد، کمترین مقدار محتوای نسبی آب در تیمار سرب ۴۰۰ با کاهش ۰/۶۵ درصد نسبت به تیمار شاهد، در هیبرید ۲۶۰ مشاهده شد. بیشترین مقدار این صفت در تیمار سرب ۱۰۰ (میانگین ۸۶/۹۹ درصد) مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد، ۲ درصد افزایش نشان داد. در حالت کلی با افزایش غلظت سرب، محتوای نسبی آب برگ نیز کاهش یافت. Patra et al. (2004) و Akinci et al. (2010) نتایج مشابهی را گزارش دادند.

(et al., 2010). وضعیت تنش سرب، همان‌طور که رشد گیاه و فتوسنتز را کاهش می‌دهد، با تأثیر بر سطح برگ، موجب کاهش آن نیز می‌شود. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که محلول پاشی آهن اثر معناداری بر سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد ($P < 0/01$) داشت. تیمارهای مختلف محلول پاشی آهن سبب افزایش سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد (بدون محلول پاشی آهن) شد، به طوری که بیشترین غلظت محلول پاشی آهن (آهن ۶) موجب افزایش ۳۸/۴۸ درصدی سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد. Zinada et al. (2011) نیز با بررسی اثر محلول پاشی آهن در گیاه اسفناج تحت تنش سمیت سرب، نتایج مشابهی را به دست آوردند. بیشترین مقدار سطح برگ در ترکیب تیماری آهن ۶ × سرب ۴۰۰ با میانگین ۸۵۸/۶۷ (سانتی‌متر مربع در گیاه)، و کمترین مقدار آن در ترکیب تیماری آهن ۰ × سرب ۴۰۰ با میانگین ۲۴۷/۶۷ (سانتی‌متر مربع در گیاه)، در رقم ۷۰۴

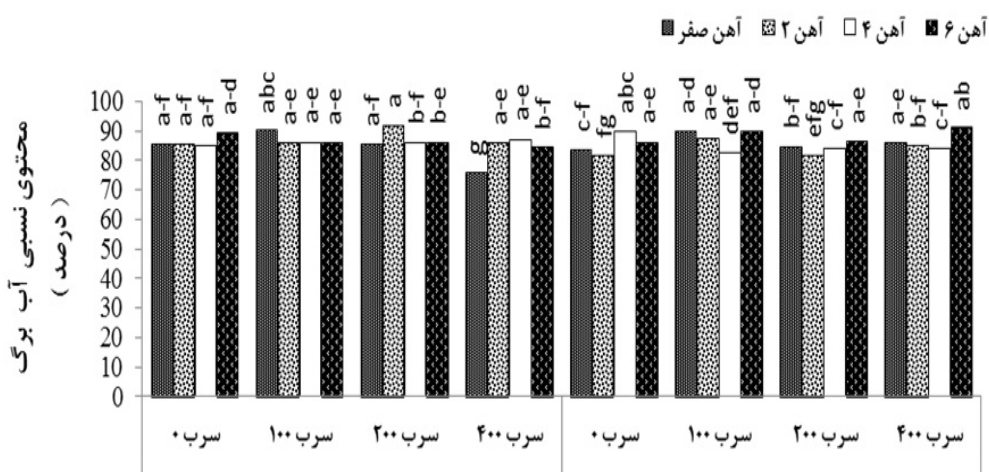


شکل ۷. اثر تیمارهای آزمایشی بر سطح برگ

بسته شدن روزنه‌ها می‌شود؛ ۵. اختلال در تنفس و فسفولارسیون اکسیداتیو که ممکن است به اختلال در وضعیت آب در گیاه منجر شود (Seregin & Ivanov., 2001). محلول پاشی آهن موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار شاهد (آهن ۰) شد. در بین تیمارهای محلول پاشی آهن، بیشترین مقدار این صفت در تیمار Fe₃ با میانگین ۸۷/۲۳ درصد مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد مقدار آن ۲/۹ درصد افزایش یافت. در مقایسه تأثیرات برهمکنش بین تیمارهای آزمایشی (رقم × سرب × آهن)، کمترین مقدار این صفت در

بسیاری از محققان کاهش تعرق و محتوای آب در گیاهان تیمار شده با سرب را گزارش دادند که از سازوکارهای دخیل در این زمینه می‌توان به این موارد اشاره کرد: ۱. اختلال در رشد گیاه که به کاهش سطح برگ و اندام‌های دخیل در عمل تعرق منجر می‌شود؛ ۲. کوچک ماندن سلول‌های محافظ روزنه در اثر تیمار سرب؛ ۳. کاهش مقدار ترکیبات نگهدارنده تورژسانس سلولی و نیز خاصیت انعطاف‌پذیری دیواره سلولی شده در اثر آلودگی سرب؛ ۴. افزایش مقدار ABA (اسید آبسپیک) توسط فلزات سنگین که این هورمون موجب

ترکیب تیماری آهن ۰ × سرب ۴۰۰ رقم ۲۶۰ با میانگین ۷۵/۵۰ درصد مشاهده شد (شکل ۸).



شکل ۸. اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای نسبی آب

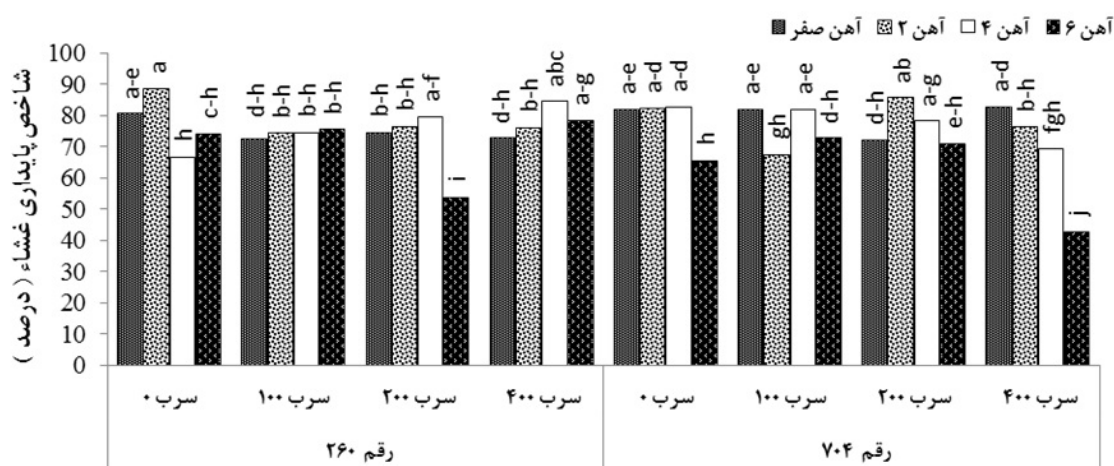
شاخص پایداری غشا

انتقال کلسیم توسط یون‌های سرب (Wojas, 2007) یا جایگزینی یون‌های کلسیم با سرب به دلیل تشابه زیاد سرب برای باند شدن با محل‌های پیوند کلسیم در ساختارهای بیولوژیکی گیاه باشد (White, 2003). همان‌طور که اشاره شد، سرب برای متابولیسم گیاه ضروری نیست و موجب تحریک تشکیل رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاه می‌شود که این ترکیبات ممکن است به سلول‌های گیاه آسیب برسانند (Andra *et al.*, 2010). ROS تولیدشده در نتیجه تنش اکسیداتیو، موجب انواع آثار مضر در سلول‌های گیاهی، مانند ممانعت از فعالیت‌های فتوسنتزی، جلوگیری از تولید ATP و آسیب DNA می‌شود (Ruley *et al.*, 2004). رادیکال‌های تولیدشده موجب آسیب غشای سلولی می‌شود (Reddy *et al.*, 2005). سرب تغییراتی در ترکیب لیپیدی غشای سلولی به وجود می‌آورد، بنابراین اختلال در غشای سلولی ممکن است به انتشار یون‌ها به بیرون سلول منجر شود (Singh *et al.*, 2010). با توجه به مطالب ذکرشده، سرب موجب کاهش شاخص پایداری غشا می‌شود. اختلاف معناداری در سطح احتمال یک درصد بین تیمارهای محلول‌پاشی آهن مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص پایداری غشا به ترتیب در تیمارهای آهن ۲ و ۶ با میانگین ۷۸/۳۲ و ۶۶/۵۹ درصد، مشاهده شد. غلظت سرب بخش هوایی در تیمارهای آهن ۲ و ۶ به ترتیب

شاخص پایداری غشا به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی تحمل گونه‌های مختلف گیاهی که در معرض تنش قرار دارند به کار می‌رود و برآوردی از نشت الکترولیت است (Sudhakar *et al.*, 2001). براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، سرب اثر معناداری ($P < 0.05$) بر شاخص پایداری غشا داشت. در هر یک از سطوح محلول‌پاشی آهن، با افزایش غلظت سرب در خاک، در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص پایداری غشا کاهش نشان داد. مقدار این صفت در تیمار سرب ۴۰۰ در مقایسه با تیمار شاهد حدود ۷ درصد کاهش یافت. (Azooz *et al.*, 2011) با بررسی اثر آلودگی سرب بر شاخص پایداری غشا در گیاه بامیه، نتایج مشابهی به دست آوردند. احتمالاً سرب موجب اختلال در ساختار غشای سلولی و ناپایدار شدن غشای سلولی می‌شود و در نهایت به انتشار محتویات درون سلول (الکترولیت) به خارج آن منجر می‌شود. Marschner (1995) بیان کرد که کلسیم نقش مهمی در نگهداری و عملکرد غشاهای گیاهی، ایجاد پایداری در ساختار دیواره سلولی، تنظیم انتخابی یون‌ها و حمل آنها، کنترل تبادلات یونی و نیز فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی دارد. کاهش مقدار کلسیم در گیاهانی مانند چاودار، ذرت و گوجه فرنگی که تحت تنش سرب قرار داشتند، گزارش شده است (Antosiewicz, 2005)، که می‌تواند نتیجه ممانعت از

شد. بیشترین شاخص پایداری غشا در رقم ۲۶۰ با ترکیب تیماری آهن ۲ × سرب ۰ با میانگین ۸۸/۵۴ درصد و کمترین مقدار آن در رقم ۷۰۴ با ترکیب تیماری آهن ۶ × سرب ۴۰۰ با میانگین ۴۲/۶۹ درصد مشاهده شد (شکل ۹).

برابر با ۱۸/۱۹ و ۱۹/۰۲ میلی گرم در کیلوگرم بود. بنابراین افزایش غلظت سرب در بخش هوایی در غلظت زیاد محلول پاشی آهن موجب کاهش شاخص پایداری غشا شده است. تأثیرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر شاخص پایداری غشا در سطح احتمال ۱ درصد معنادار



شکل ۹. اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص پایداری غشاء

دلیل این موضوع ممکن است به اثر این غلظت بر جذب بیشتر سرب از طریق گیاه، مرتبط باشد. با وجود این، اثر تغذیه آهن و جذب فلزاتی مانند سرب از موضوعات بحث برانگیزی است که امروزه توجه زیادی به آن معطوف شده است. بر همین اساس تحقیقات بیشتر به ویژه در وضعیت مزرعه‌ای در این زمینه توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی براساس نتایج این بررسی، رقم ۲۶۰ در برابر آلودگی سرب نسبتاً مقاوم‌تر از رقم ۷۰۴ بود. همچنین نتایج نشان داد که محلول پاشی سولفات آهن در غلظت‌های کم (۲ و ۴ در هزار) در مقایسه با غلظت بیشتر (۶ در هزار) اثر مثبتی بر رشد گیاه داشت؛ به طوری که در غلظت بیشتر محلول پاشی آهن (۶ در هزار)، در بیشتر موارد اثر مطلوبی بر صفات مطالعه شده نداشت.

REFERENCES

1. Abbaspour, A., Kalbasi, M., Hajrasoliha, Sh. & Golchin, A. (2005). Investigation of Cadmium and Lead contamination in some agricultural soils of Iran. In: proceeding of 9th Soil Science Congress of Iran, 1, 543-545. (In Farsi)
2. Abioye, O. P., Ijah, U. J. J. & Aransiola S. A. (2013). "Remediation mechanisms of tropical plants for lead-contaminated environment," In *Plant-Based Remediation Processes, Soil Biology*, D. K. Gupta, Ed., vol. 35: 59-77.
3. Akinci, I. E., Akinci, S. & Yilmaz, K. (2010). Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to lead toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll and water content. *African Journal of Agriculture Research*, 5, 416-423.
4. Almeida, A. A. F., Valle, R. R., Mielke, M. S. & Gomes, F. P. (2007). Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Brazilian Journals of Pant Physiology*, 19, 83-98.
5. Andra, S. S., Datta, R., Sarkar, D., Makris, K. C., Mullens, C. P., Sahi, S. V. & Bach, S. B. H. (2010). Synthesis of phytochelatins in vetiver grass upon lead exposure in the presence of phosphorus. *Plant Soil*, 326, 171-185.
6. Antosiewicz, D. M. (2005). Study of calcium-dependent lead-tolerance on plants differing in their level of Ca-deficiency tolerance. *Environmental Pollution*, 134, 23-34.

7. Azmat, R., Haider, S. & Riaz, M. (2009). An inverse relation between Pb²⁺ and Ca²⁺ ions accumulation in *Phaseolus Mungo* and *Lens Culinaris* under Pb stress. *Pakistan Journal of Botany*, 41, 2289-2295.
8. Azooz, M. M., Youssef, M. M & Al-Omair, M. A. (2011). Comparative aluation of zinc and lead their synergistic effects on growth and some physiologica responses of Hassawi okra (*Hibiscuse esculentus*) seedling. *American Journal of Plant Physiology*, ISSN 1557-4539 / DOI: 10.3923/ajpp.
9. Bingham, F., Sposito. & Strong, G. (1984). The effect of chloride on the availability of cadmium. *Journal of Environmental Quality*, 13, 71-74.
10. Bojovic, D. D., Dukic, M., Maksimovic, V., Skočajić D. & Suručić L. (2012). The Effects of Iron Deficiency on Lead Accumulation in *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle Seedlings. *Journal of Environmental Quality*, 41, 1-8.
11. Bouyoucos, C. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
12. Breckle, S. W. (1991). Growth under stress. Heavy metals. In: Waisel Y., Eshel A., Kafkafi U (eds)., *Plant Roots: The Hidden Half*, pp. 351-373. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
13. Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-total. P. 1085-1122. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: *Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc.* Madison, Wisconsin, USA.
14. Carter, M. R & Gregorich, E. G. (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 2nd Ed. Canadian Society Soil Science.
15. Chen, Y.X., Lin, Q., Luo, Y.M., He, Y.F., Zhen, S.J., Yu, Y.L., Tian, G.M. & Wong M.H. (2003). The role of citric acid on the phytoremediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*, 50, 807-811
16. Daud, MK., Variatha, M. K., Shafaqat, A., Najeeba, U., Jamilb, M., Hayat, Y., Dawooda, M., Khand, MI., Zaffar, M., Cheemad, S. A., Tonga, XH. & Zhua S. (2009). Cadmium-induced ultramorphological and physiological changes in leaves of two transgenic cotton cultivars and their wild relative. *Journal of Hazardous Materials*, 168, 614-625.
17. Erdal, I., Kepenek, K. & Kizilgz, I. (2004). Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars. *Turkish Journal of Agriculture*, 28, 421-427.
18. Eun, S. O., Youn, H. S, Lee, Y. (2000). Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. *Physiology Plant*, 98, 611-620
19. Fageria, N. K., Barbosa, F. M. P., Moreira, A. & Guimaraes, C. M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 1044-1064.
20. Fodor, F. (2006). Heavy metals competing with iron under conditions involving phytoremediation. P 129-151. L. L. Barton and J. Abadía (Eds.), *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms*. Springer. Printed in the Netherlands.
21. Fodor, F., Sarvari, E., Lang, F. & Szigeti, Z. (1998). Effect of Pb and Cd on cucumber depending on the Fe-complex in the culture solution. *Journal of Plant Physiology*, 148, 434-439.
22. Golchin, A. (2003). Industrial activities and heavy metal contamination of agricultural soils. In: proceeding of the 8th Soil Science Congress of Iran, 2, 776-779. (In Farsi)
23. Gonzalez, L. & Gonzalez-Vilar, M. (2001). Determination of relative water content. In: Roger MJR (Ed) Handbook of plant ecophysiologytechniques, *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Nederlands*. 207-212 pp.
24. Gopal, R. & Rizvi, A. H. (2008). Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. *Chemosphere*, 70, 1539-1544.
25. Han, Y., Huang, S., GU, J., Qiu, S. & Chen, J. (2008). Tolerance and accumulation of lead by species of *Iris L*. *Ecotoxicology*, 17, 853-859.
26. Hemke, P. H. & Spark, D. L. (1996). Potassium. 551-574. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: *Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc.* Madison, Wisconsin, USA.
27. Islam, E. Yang, X., Liu, T., Jin, D. & Meng, X. F. (2007). Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of Hazardous Material*, 147, 806-816.
28. Islam, E., Liu, D., Li, T. Q., Yang, X. E., Jin, X F., Mahmooda, Q., Tian, S. & Li, J. (2008). Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of Hazardous Material*, 154, 914-920
29. Khudsar, T., Uzafar, M., Soh W. Y. & Iqbal, M. (2000). Morphological and anatomical variations of *Cajanus cajan* (Linn.) Huth raised in cadmium-rich soil. *Journal of Plant Biology*, 43, 149-157.
30. Kuo, S. (1996). Phosphorus. P. 869-920. In Sparks DL. Et al., Method of soil analysis. Published by: *Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc.* Madison, Wisconsin, USA.

31. Lindsay, W. L. & Norvell, W. A. (1978). Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society American Journal*, 42, 421-428.
32. Malkowski, E., Kita, A., Galas, W., Karcz, W. & Kuperberg, J. M. (2002). Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. *Plant Growth Regularity*, 37, 69-76.
33. Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P. & Zerbi, G. (2004). Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multi-contaminated soil. *Environmental Pollution*, 132, 21-27.
34. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed. Academic Press. London, UK.
35. Menon, M., Hermle, S., Gunthardt-Goerg, M. & Schalin, R. (2007). Effect of heavy metal soil pollution and rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. *Journal of Plant Soil*, 297, 171-183.
36. Messenger, B. J., Menge, J. A. & Pond, E. (2000). Effects of Gypsum Soil Amendments on Avocado Growth, Soil Drainage and Resistance to *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Disease*, 84, 617-621
37. Nelson, R. E. (1982). Carbonate and gypsum. P. 181-196. In A.L. Page (Ed), Methods of soil analysis. Part 2. 2nd Ed. Chemical and microbiological properties. Agronomy monograph no.9. SSSA and ASA. Madison, WI.
38. Nuraky, F., Rahmany, H., Lorzadeh, S. H. & Khodarahmpour, Z. (2011). Effects of nicosulfuron and foramsulfuron plus aculivation in contrast conventional herbicides on growth and grain yield of maize towards sustainable agriculture in the north of KHUZESTAN IN IRAN. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 1, 76-79.
39. Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B. & Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental Exp Botany*, 52, 199-223.
40. Peng, H. y., Tian, S. k., Yang, X. (2005). Changes of root morphology and Pb uptake by two species of *Elsholtzia* under Pb toxicity. *Journal of Zhejiang University Science*, 6B, 546-552
41. Potters, G., Pasternak, TP., Guisez, Y., Palme, KJ. & Jansen, M. A. K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Plant Science*, 12, 98-105.
42. Reddy, A. M., Kumar, S. G., Jyonthsna kumari, G., Thimmanaik, S. & Sudhakar, C. (2005). Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram (*Macrotyloma uniflorum*(Lam.) Verdc.) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.). *Chemosphere*, 60, 97-104.
43. Rhoades, J. D. (1996). *Electrical conductivity and total dissolved solids*. P. 417-436. In Sparks, D. L. et al., Method of soil analysis. Published by: *Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy, Inc.* Madison, Wisconsin, USA.
44. Ruley, A. T., Sharma, N. C. & Sahi, S. V. (2004). Antioxidant defense in a lead accumulating plant, *Sesbania drummondii*. *Plant Physiology of Biochemical*, 42, 899-906.
45. Sairam, R. K, Rao, K. V. & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte. *Plant Science*, 163, 1037-1046.
46. Sengar, R. S., Gautam, M., Sengar, R. S., Garg, S. K., Sengar, K., Chaudhary, R., Sharma, p. & Dubey, rs. (2008). Lead toxicity in plants. *Plant Physiology*, 17, 35-52.
47. Seregin, I. V. & Ivanov, V. B. (2001). Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 48, 523-544.
48. Sharma, P. & Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17, 35-52.
49. Siedlecka, A. & Krupa, Z. (1999). Cd/Fe interaction in higher plants its consequences for the photosynthetic apparatus. *Photosynthetica*, 36, 321-331.
50. Singh, R., Tripathi, R. D., Dwivedi, S., Kumar, A., Trivedi, P.K. & Chakrabarty, D. (2010). Lead bioaccumulation potential of an aquatic macrophyte *Najas indica* are related to antioxidant system. *Bio Resource Technology*, 101, 3025-3032.
51. Sinha, P., Dube, B., Srivastava, P. & Chatterjee, C. (2006). Alteration in uptake and translocation of essential nutrients in cabbage by excess lead. *Chemosphere*, 65, 651-656.
52. Srivastava, A. & Appenroth, K. J. (1995) Interaction of EDTA and iron on the accumulation of Cd²⁺ in duckweeds (*Lemnaceae*). *Journal of Plant Physiology*, 146, 173-176.
53. Sudhakar, C., Lakshmi, A. & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus Alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161, 613-619.

54. Sumner, M. E. & Milker, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. P. 1201-1230. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: *Soil Science Society of America, Inc.* American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
55. Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology 4th Edition*. Sinauer Associates Inc. Additional resources available at www.plantphys.net
56. Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. P. 475-490. In Sparks, D.L. et al., Method of soil analysis. Published by: Soil Science Society of America, Inc. *American Society of Agronomy, Inc.* Madison, Wisconsin, USA.
57. Victoria, F., Georg, E. (2005). Foliar iron fertilization: A critical review. *Journal of Plant Nutrition*, 28, 2113—2124.
58. White, P. j. & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annual Botany*, 92, 487-51.
59. Wojas, S., Ruszczynska, A., Bulska, E., Wojciechowski, M. & Antosiewicz, D. M. (2007). Ca²⁺-dependent plant response to Pb²⁺ is regulated by LCT1. *Environmental Pollution*, 147, 584–592.
60. Xiong Z. T. (1997). “Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a roadside pioneer species *Sonchus oleraceus* L.,” *Environmental Pollution*. 97, 275–279.
61. Yan-de j., HE. Zhen li. & Xiao-e Y. (2007). Role of soil rhizobacteria in phytoremediation *Journal of Zhejiang University Science*.
62. Zinada, IA., Auda, MA. & Shakh Ali, EE. (2011). Impact of soil lead pollution and iron foliar application on *Spinacea oleracea* (L.). 3 (2). <http://www.aab.bioflux.com.ro>