نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال یازدهم، شماره ۴۲، تابستان ۱۳۹۵ / صفحات: ۱۲-۱

مقایسه مقاومت نهال‌های یکساله شیردار (*Acer cappadocicum* Gled.) و ون (*Fraxinus excelsior* L.) تحت خاک‌های آلوده به فلز سنگین سرب

هومن عباسی، محمدرضا پورمجیدیان*، سیدمحمد حجتی و اصغر فلاح

گروه جنگلداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/٤/۲۰ تایخ پذیرش: ۹۵/٦/۱۵

چکیده

شناسایی گونه‌های درختی مناسب به‌منظور گیاه پالایی بسیار حائز اهمیت است ولی لازمه آن انجام مطالعات جامع و ارزیابی پتانسیل گونه‌ها است. در این تحقیق به بررسی مقاومت نهال‌های یکساله بومی جنگل‌های شمال ایران، شیردار (*Acer cappadocicum*) و ون (*Fraxinus excelsior*) پرداخته شد. در این راستا نهال‌های یک‌ساله دو گیاه در طول یک فصل رویش تحت تاثیر خاک‌های آلوده به سرب با غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک قرار گرفت و شاخص‌های فتوسنتزی از قبیل نرخ فتوسنتز، هدایت‌روزنه‌ای، نرخ تعرق و دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای به انضمام عملکرد رشد و تخصیص زی‌توده نهالها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حضور فلز سنگین سرب در خاک با غلظت‌های بالا سبب کاهش عمکلرد فتوسنتزی دو گیاه می‌شود ولی در این بین اثرات بازدارنده آلودگی در نهال‌های ون کمتر بود. میزان رشد ارتفاع، قطر و همچنین زی‌توده نهال‌های دو گیاه متاثر از اثرات سوء سرب کاهش یافت ولی تفاوت قابل تاملی برای دو گونه مشاهده نشد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که دو گونه بومی شیردار و ون در شرایط تحقیق حاضر و در طول یک فصل رویش تفاوت قابل ملاحظه‌ای از لحاظ مقاومت به خاک‌های آلوده به سرب نداشتند، ولی بی‌شک می‌توان با اعمال تیمارهای آلودگی شدیدتر در دوره‌های طولانی‌تر تصمیات بهتری را اتخاذ نمود.

واژه‌های کلیدی: درختان بومی، رشد، زی‌توده، فتوسنتز، گیاه پالایی، نهال

مقدمه

گیاه‌پالایی به معنای استفاده از گیاهان در حذف، کاهش، انتقال و یا ثابت نگه داشتن آلودگی در خاک است که از آن به‌عنوان یک روش اقتصادی و در عین حال بسیار موثر یاد می‌شود (Luo et al., 2015). سرب به‌عنوان یکی از فلزات سنگین و غیر قابل تجزیه، سبب آلودگی خاک می‌شود. از آنجایی‌که این عنصر تمایل بسیار زیادی به ورود به سیستم‌های زیستی دارد، به‌راحتی وارد چرخه غذایی شده و باعث سمیت در گیاهان، جانوران و حتی انسان می‌گردد (Sharma and Dubey, 2005). بنابراین می‌توان با فن گیاه‌پالایی که از لحاظ اقتصادی نیز توجیه‌پذیر است به رفع آلودگی محیط‌زیست اقدام کرد. علی‌رغم اثرات منفی که سرب می‌تواند بر بیولوژی گیاهان داشته باشد، با این‌حال گونه‌های گیاهی وجود دارند که نه تنها قادر به انباشت سرب در اندام‌های خود هستند، بلکه سرب هیچ‌گونه اثرات بازدارنده‌ای بر حیات آنها ندارد. این گونه‌ها قادر هستند در طول زمان سرب را حذف، کاهش و یا ثابت نگه دارند که دانش

*نویسنده‌مسئول: mohammad_pormajidian@yahoo.com

گیاه‌پالایی بـه دنبـال شناسـایی ایـن نـوع گونـه‌هـا و شناخت مکانیسم آنها است (Escobar and Dussan, 2016).

گونه‌های درختی به‌واسطه داشـتن سیسـتم ریشـه دوانی عمیق و پالایش خاک‌های آلوده در عمـق‌هـای بیشتر گزینه بسیار مناسبی به منظور گیاه پالایی هستند (EPA, 2006) و از سوی دیگر گونه‌هـای درختـی بـا داشتن تنه‌های بزرگ و ریشه‌های وسیع منبع مناسـبی برای انباشت آلودگی خاک بشمار می‌آیند با این وجود در رابطه با بهره‌گیری از گونه‌هـای درختـی در گیـاه-پالایی اطلاعات اندکی در مقایسه با گونه‌هـای علفـی وجـود دارد و در نگـاه کلـی خـانواده سالیکاسـه (Salicaceae) در بیشتر تحقیقـات مـورد توجـه قـرار گرفته‌اند (Dickinson and Pulford, 2005). در ایران تحقیقاتی در رابطه با گیاه پالایی برخی از گونـه‌هـای چوبی انجام شده که از آن جمله می‌توان به تحقیقـات Salehi و همکاران (۲۰۱۴) بر روی سپیدار (*Populus alba* L.) در خاک‌های آلوده به سرب، Azampoor و همکاران (۲۰۱۳) بر روی زبان گنجشـک (*Fraxinus rotundifolia* Mill.)، نـارون چتـری (*Ulmus densa* Litw.) و بید سـپید (*Salix alba* L.) نسـبت بـه فلـز سـنگین نیکـل، Mahdavi و Khermendar (۲۰۱۵) بـر روی آکاسـیا (*Acacia victoriae* Bentham) نسبت به فلز سـنگین سـرب و روی، Mansouri و همکاران (۲۰۱۵) بـر روی گونـه حرا (*Avicennia marina* Forks.) نسبت به سـرب و نیکل، Etemadi و همکاران (۲۰۱۳) بر روی گونه‌های سپیدار (*Populus alba* L.) و شالک (*Populus nigra* L.) نسبت به افزایش سرب در محیط کشت آبی اشاره کرد که همـان‌طـور کـه واضـح اسـت. توجـه بیشـتر محققین بر روی اعضای خانواده سالیکاسـه معطـوف شده است این در حالی است که گونـه‌هـای درختـی فراوانی در ایران وجود دارد که هنوز پتانسیل آنهـا در گیاه پالایی مورد آزمون قرار نگرفته است.

درختـان ون (*Fraxinus excelsior*) و شـیردار (*Acer cappadocicum*) از جملـه درختـان بـومی و ارزشمند شمال ایران است که به وفور در فعالیت‌های جنگل‌کاری در حیطـه جنگـل‌هـای هیرکـانی از آنهـا استفاده می‌شود که بر اساس مرور منابع در رابطـه بـا ارزیابی پتانسیل گونه شیردار در گیاه پالایی هیچ‌گونـه مطالعـه تـاکنون انجـام نشـده اسـت ولـی در مقابـل محققـانی از قبیـل Azampoor و همکـاران (۲۰۱۳)، Khademi و Kord (۲۰۱۰)، Rashidi و همکـاران (۲۰۱۱)، Khajei و همکاران (۲۰۱۳)، Hosseinzadeh Monfared و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیـابی گونـه ون در بحث گیاه پالایی پرداخته انـد کـه در تمـامی ایـن پژوهش‌ها نهال‌های یکساله این درختان در خاک‌هـای آلوده به سرب مدنظر قرار نگرفته است. با عنایـت بـه سوابق ارائه شده، در این تحقیق بـرای اولـین بـار بـه بررسی مقاومت درختان ون و شیردار در مرحله نهـال تحت خاک‌های آلوده به سرب پرداخته شده است تـا پتانسـیل ایـن دو گونـه در بحـث گیـاه پـالایی مـورد آزمایش قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

تهیه نهال و اعمال تیمارهای آلودگی سرب: تحقیـق حاضر در نهالستان نشـتارود کـه بخشـی از نهالسـتان خشکه‌داران می‌باشـد و بـه نهالسـتان خشـکه‌داران ۲ معـروف اسـت انجـام گرفـت. نهالسـتان مـذکور در روستای امام دشت واقع در جاده خـزر واقـع شـده و فاصله آن تا نزدیک‌تـرین شـهر (نشـتارود) حـدود ۴ کیلومتر اسـت. مقـدار بارنـدگی بـر اسـاس ایسـتگاه هواشناسی رامسر (ده‌سـاله) بـه‌طـور متوسـط سـالیانه ۱۲۳۳/۲۷ میلی‌متر است که متوسط حـداقل بارنـدگی

در تیرماه به مقدار ۴۳/۳۹ میلی‌متر و متوسط حداکثر آن در آبان‌ماه به مقدار ۲۱۰/۴۶ میلی‌متر اتفاق می‌افتد. در مجموع اطلاعات هواشناسی مبین آن است که در تمام ماه‌های سال بارندگی وجود دارد. گرم‌ترین ماه سال مردادماه با متوسط ۲۶/۸۶ درجه سانتی‌گراد بوده به‌طوری که متوسط حداکثر درجه حرارت در این ماه ۳۰/۰۸ و متوسط حداقل درجه حرارت در این ماه ۲۳/۶۴ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال با متوسط ۸/۱۸ درجه سانتی‌گراد در بهمن‌ماه می‌باشد.

یکسال پیش از شروع آزمایش (سال ۱۳۹۲)، اقدام به تولید نهال‌های دو گونه شیردار و ون شد و برای شروع تحقیق نهال‌های یکساله از دو گیاه که از لحاظ ارتفاع و خصوصیات مورفولوژیکی و ظاهری یکسان بودند انتخاب شدند. برای آماده‌سازی خاک آلوده از نمک فلز سرب $Pb(NO_3)_2$ به‌صورت محلول و با غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بعد از اضافه کردن به خاک اولیه یعنی خاک فاقد آلودگی استفاده شد. برای هر تیمار ۷ نهال به‌عنوان تکرار اختصاص داده شد. در نهایت تمامی تیمارها با حفظ شرایط کاملا یکسان محیطی در طول یک فصل رویش در یک فضای باز نهالستان با شرایط کاملاً طبیعی، نگهداری و آبیاری شدند. خاطر نشان می‌گردد که پیش از اعمال تیمارها، خاک مورد استفاده در تحقیق برای تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده

مشخصه اندازه‌گیری شده	مقدار
شن (٪)	۴۶/۲
رس (٪)	۲۶/۴
سیلت (٪)	۲۴/۵
کلاس بافت	لوم - رسی- شنی
pH	۷/۴
رطوبت خاک (٪)	۳۹/۵
سرب کل ($mg\ kg^{-1}$)	۱۲/۷

پارامترهای مورد بررسی: در پایان فصل رویش، زنده‌مانی، رشد طولی و قطری نهال‌ها (اختلاف مقادیر شروع و پایان دوره) و نیز تولید زی‌توده اندام‌های مختلف نهال‌ها (ریشه، ساقه و برگ) از طریق اندازه‌گیری وزن خشک آنها تعیین شد.

در پایان دوره آزمایش نرخ فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، تعرق و غلظت CO_2 درون روزنه ای در واحد سطح برگ توسط دستگاه قابل حمل فتوسنتزی (ADC Bioscientific Ltd., UK) اندازه‌گیری شد. در این راستا در هر تیمار ۳ نهال به‌طور تصادفی انتخاب و از هر نهال ۳ برگ بالغ و سالم کاملاً توسعه یافته یک پنجم بالایی گیاه انتخاب و اندازه‌گیری این پارامترها در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا انجام شد. قرائت پارامترها در یک روز آفتابی و بدون ابر بین ساعت ۹ تا ۱۱ صبح و در شدت جریان فوتونی ۹۰۰– ۸۰۰ میکرومول مترمربع بر ثانیه انجام شد (Borghi et al., 2008).

تحقیق حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی طرح-ریزی شد. در انتهای آزمایش تمامی اطلاعات در نرم‌افزار Excel سازماندهی و برای تهیه نمودارها نیز از این نرم افزار استفاده شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل

اطلاعات بدست آمده ضمن رعایت پیش فرض‌های لازمه از قبیل تست همگنی واریانس و آزمون نرمال بودن داده‌ها، از آنالیز واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) استفاده شد. همچنین به منظور گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گشت.

نتایج

تأثیر خاک آلوده به سرب بر نرخ تبادلات گازی نهال‌های مورد مطالعه: آنالیز واریانس یک‌طرفه در رابطه با هر گیاه به‌صورت جداگانه مد نظر قرار گرفت. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه در رابطه با شیردار نشان داد که به غیر از غلظت دی‌اکسید کربن در درون روزنه‌ها، تمامی صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه تحت تاثیر غلظت‌های مختلف سرب قرار گرفتند (جدول ۲). از سوی دیگر نتایج حاکی از آن بود که تیمارهای اعمال شده سبب تغییرات معنی‌دار بر تمامی پارامترهای فیزیولوژیک نهال‌های ون شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌ها در رابطه با نرخ فتوسنتز گیاه شیردار نشان داد که بیشترین مقدار فتوسنتز در نهال‌های شاهد و در مقابل کمترین میزان در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک وجود داشت. به عبارت دیگر با افزایش غلظت سرب در خاک میزان فتوسنتز کاهش یافت. در رابطه با هدایت روزنه‌ای این گیاه نیز مشاهده گردید که با اعمال آلودگی سرب، میزان هدایت روزنه‌ای نیز کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار به‌ترتیب در شاهد و تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک مشاهده شد. چنین مشابهی در رابطه با میزان تعرق نهال‌ها نیز مشاهده گشت. اگرچه بین نرخ تعرق نهال‌های شاهد و تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌دار از لحاظ آماری دیده نشد ولی بین سایر تیمارها با نهال‌های شاهد تفاوت معنی‌دار وجود داشت. هم راستا با نتایج ANOVA تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میانگین غلظت دی‌اکسید کربن در درون روزنه‌ها بین تیمارها تایید نشد (شکل ۱).

نرخ فتوسنتز در نهال‌های ون تحت تنش آلودگی سرب نسبت به کنترل کاهش معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که حداقل میانگین در حداکثر غلظت سرب در خاک ثبت شد. نتایج تست دانکن نشان داد که اگرچه بین تیمارهای مختلف از لحاظ هدایت روزنه‌ای گروه‌بندی انجام شد، ولی نظم و روند قابل ملاحظه‌ای وجود نداشت. بیشترین میزان تعرق متعلق به نهال‌های شاهد بود، در حالی که بین سایر تیمارها اختلاف آماری مشاهده نشد. گروه‌بندی میانگین‌ها در رابطه با غلظت دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای نیز حاکی از آن است بین تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در مقابل با افزایش غلظت سرب در خاک میزان این پارامتر در مقایسه با نهال‌های شاهد کاهش معنی‌داری یافت (شکل ۱).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس یکطرفه صفات فیزیولوژی شیردار در سطوح مختلف تیمار.

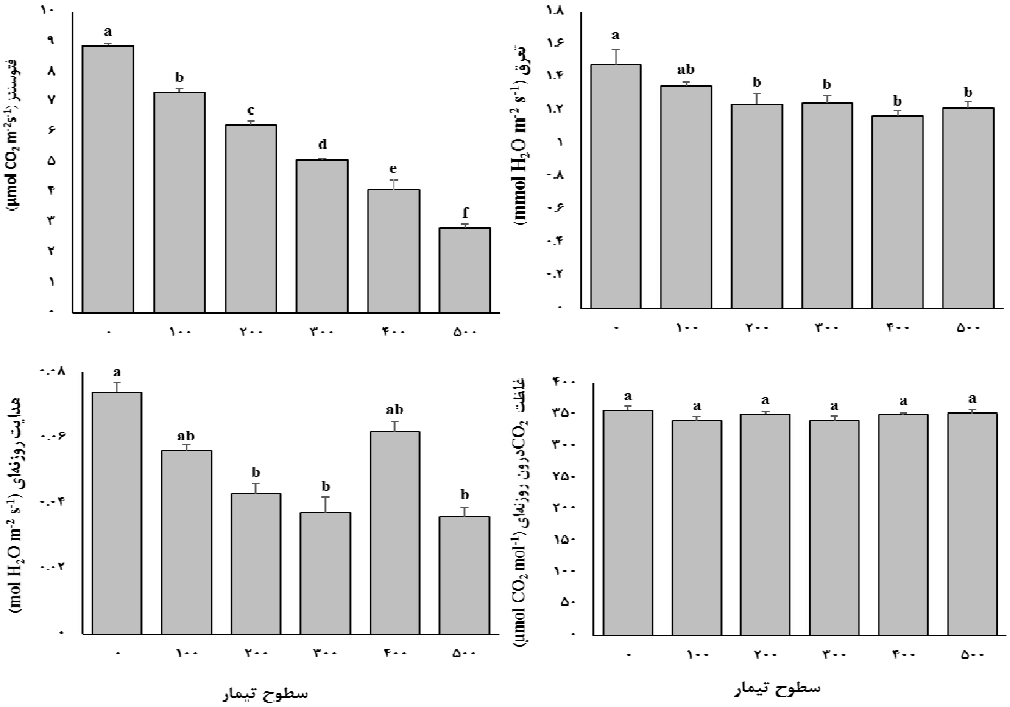
صفات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
فتوسنتز	۷۲/۷۱۹	۵	۱۴/۵۴۴	۱۷۲/۱	۰/۰۰۰**
هدایت روزنه‌ای	۰/۰۰۴	۵	۰/۰۰۱	۳/۴۵۵	۰/۰۳۶*
تعرق	۰/۱۹۲	۵	۰/۰۳۸	۴/۲۵۹	۰/۰۱۸*
غلظت CO_2	۵۶۹/۵۳۷	۵	۱۱۳/۹۰۷	۱/۴۴۳	ns۰/۲۷۸

**: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱. *: معنی‌داری در سطح ۰/۰۵. ns: عدم تفاوت معنی‌دار.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس یکطرفه صفات فیزیولوژی ون در سطوح مختلف تیمار.

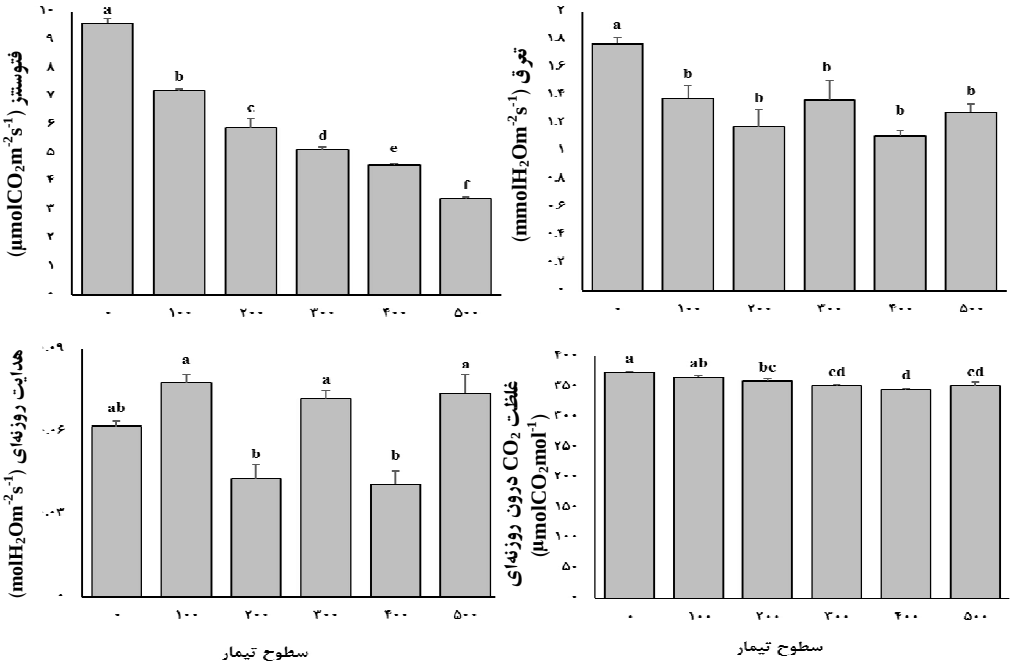
صفات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
فتوسنتز	۷۲/۰۸	۵	۱۴/۴۱	۱۹۰/۶۴	۰/۰۰۰**
هدایت روزنه‌ای	۰/۰۰۴	۵	۰/۰۰۱	۵/۱۴۸	۰/۰۰۹**
تعرق	۰/۸	۵	۰/۱۶	۵/۷۸۲	۰/۰۰۶**
غلظت CO_2	۱۶۳۷/۵۳	۵	۳۲۷/۵۰۶	۸/۹۲۳	۰/۰۰۱**

**: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱. *: معنی‌داری در سطح ۰/۰۵. ns : عدم تفاوت معنی‌دار.



شکل ۱: اثر غلظت‌های مختلف سرب (میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک) بر برخی از پارامترهای فتوسنتزی نهال‌های شیردار. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تأثیر خاک آلوده به سرب بر نرخ زنده‌مانی، رشد و زی‌توده نهال مورد مطالعه: در پایان آزمایش و بر اساس مشاهدات عینی نرخ زنده‌مانی برای دو گونه و تحت هر شش تیمار اعمال شده ۱۰۰ درصد بود و مرگ‌ومیری در نهال‌ها رخ نداد. از مهم‌ترین علائم مشاهده شده در طول آزمایش می‌توان به زردی برگ‌های نهال شیردار در اواخر دوره آزمایش اشاره کرد. بعد از آنالیزهای آماری مشخص گردید که رویش نهال‌های شیردار تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفت، درحالی‌که در از لحاظ زی‌توده ریشه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. زی‌توده برگ و ساقه و در عین حال زی‌توده خشک کل نهال متاثر از اعمال تیمارها بود. نتایج آنالیز آماری ANOVA نشان داد که نه تنها رشد نهال‌های گونه ون بلکه میزان زی‌توده در تمامی اندام‌های گیاه نیز تحت تاثیر تیمارهای آلودگی سرب قرار گرفت (جدول ۴ و ۵).



شکل ۲: اثر غلظت‌های مختلف سرب (میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک) بر برخی از پارامترهای فتوسنتزی نهال‌های ون

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ٤: نتایج تجزیه واریانس یکطرفه صفات رویشی ون در سطوح مختلف تیمار

صفات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
رویش قطری	۰/۱۳۶	۵	۰/۰۲۷	۴/۵۴۷	۰/۰۰۳**
رویش ارتفاعی	۳۳۷/۰۷	۵	۶۷/۴۱	۴/۹۰۲	۰/۰۰۲**
زی‌توده خشک برگ	۵۴/۵۵	۵	۱۰/۹۱۱	۴/۳۱۹	۰/۰۰۹**
زی‌توده خشک ساقه	۱۴۰/۵۰۲	۵	۲۸/۱	۲/۹۱۶	۰/۰۴۲*
زی‌توده خشک ریشه	۱۶۱۵/۹	۵	۳۲۳/۱۸	۹/۲۰۹	۰/۰۰۰*
زی‌توده خشک کل	۲۵۵۱/۲۷	۵	۵۱۰/۲۵۵	۱۰/۱۵۹	۰/۰۰۰*

**: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، *: معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ns : عدم تفاوت معنی‌دار.

در رابطه با گونه شیردار، نتایج آزمون دانکن نشان داد که از لحاظ رویش قطری و ارتفاعی بین نهال‌های شاهد و افزایش غلظت سرب تا ۴۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، درحالی‌که تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم سبب کاهش رویش شد. در رابطه با گونه ون، نیز روند تا حدودی مشابه بود به‌طوری‌که تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم سبب کاهش قابل‌ملاحظه رشد ارتفاعی و قطری شد (شکل ۳). در مورد گونه شیردار، بیشترین میزان زی‌توده خشک برگ در نهال‌های شاهد و تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم مشاهده شد که البته از این لحاظ با یکدیگر دارای اختلاف معنی‌داری نبودند. در مقابل سایر تیمارهای سرب ضمن عدم اختلاف معنی‌دار آماری با یکدیگر، کاهش معنی‌داری را نسبت به نهال‌های شاهد نشان دادند. نتایج دانکن حاکی از آن است که کمترین میزان زی‌توده خشک ساقه در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم اندازه‌گیری شد، درحالی

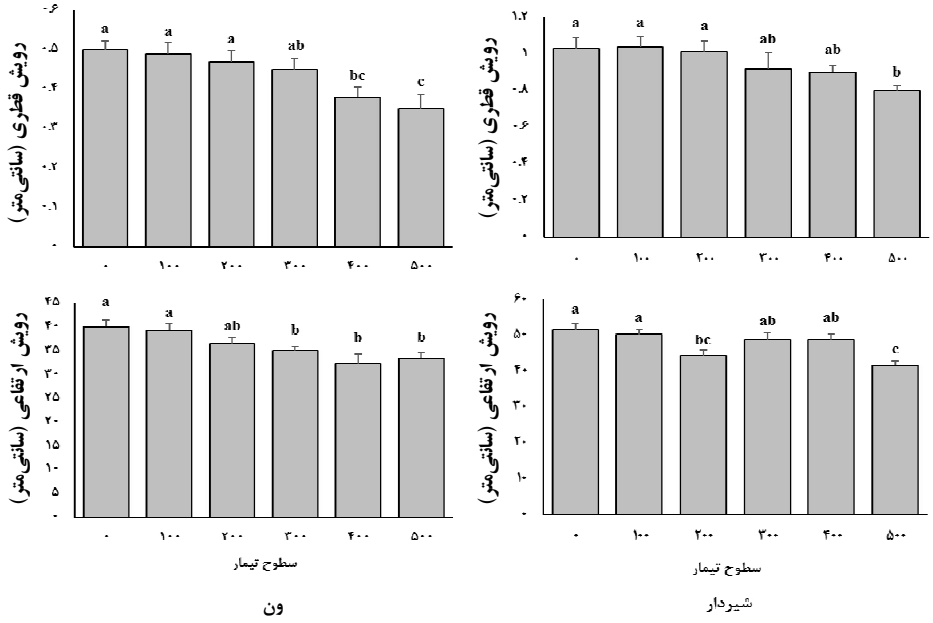
که بین سایر غلظت‌ها با تیمار شاهد تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود نداشت. هم‌راستا با نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه، بعد از انجام مقایسه میانگین‌ها تیمارها از نظر زی‌توده خشک ریشه گروه‌بندی نشده و اختلافی را نشان ندادند. از سوی دیگر نتایج دانکن حاکی از آن بود که زی‌توده خشک کل نهال در بین تیمارهای شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم سرب در کیلوگرم تفاوت معنی‌داری نداشت، درحالی‌که غلظت‌های بالای سرب در خاک سبب کاهش معنی‌دار در این پارامتر شد (شکل ۴).

با اعمال غلظت‌های سرب به نهال‌های ون، زی‌توده برگ و ساقه با روند مشابه کاهش معنی‌داری را نشان داد که البته این اختلاف در غلظت‌های ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک واضح‌تر بود. از نگاه کلی کمترین و بیشترین میانگین زی‌توده برگ و ساقه در تیمار ۵۰۰ و نهال‌های شاهد ثبت شد. از لحاظ زی‌توده ریشه بین میانگین‌های اکثر تیمارها اختلافی وجود نداشت و فقط تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک با کمترین مقدار با سایرین متفاوت بود. از لحاظ زی‌توده خشک کل کاهش معنی‌دار در آلودگی‌های شدید سرب رخ داد در حالی که بین سایر تیمارها با نهال‌های شاهد تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده نشد (شکل ۵).

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس یکطرفه (One-way ANOVA) صفات رویشی شیردار در سطوح مختلف تیمار

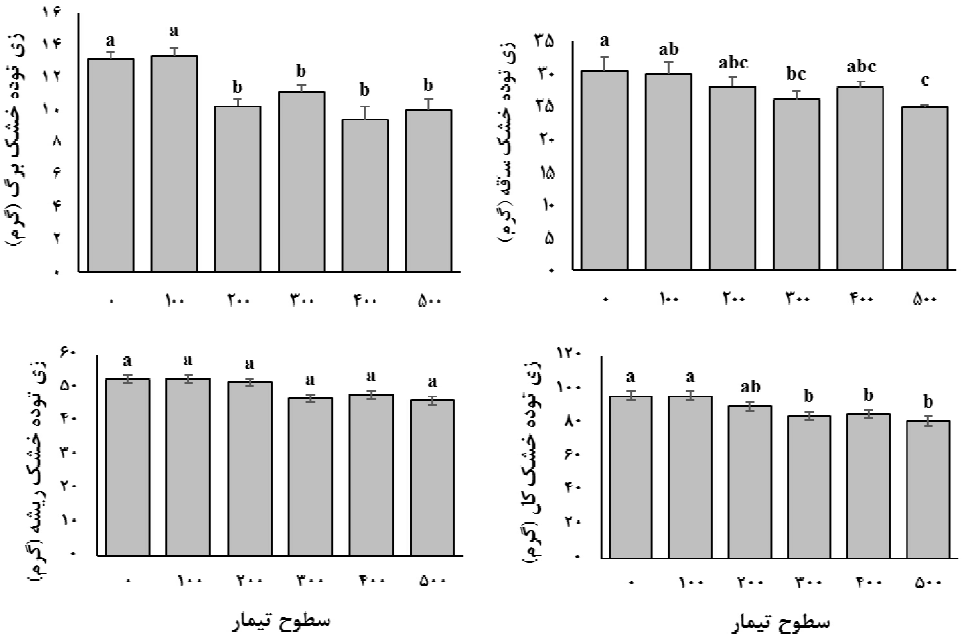
صفات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
رویش قطری	۰/۳۵	۵	۰/۰۷	۲/۵۶۵	۰/۰۴۱*
رویش ارتفاعی	۵۷۳/۳۳	۵	۱۱۴/۶۶	۵/۷۴۷	۰/۰۰۰**
زی‌توده خشک برگ	۵۵/۶۸	۵	۱۱/۱۳۸	۸/۶۵۲	۰/۰۰۰**
زی‌توده خشک ساقه	۹۳/۲۷	۵	۱۸/۶۵	۳/۲۴	۰/۰۲۹*
زی‌توده خشک ریشه	۱۷۶/۵۲	۵	۳۵/۳۰	۱/۶۶۷	۰/۱۹۴ns
زی‌توده خشک کل	۷۹۶/۸۴	۵	۱۵۹/۳۷	۴/۸۸۲	۰/۰۰۶**

**: معنی‌داری در سطح ۰/۰۱. *: معنی‌داری در سطح ۰/۰۵. ns: عدم تفاوت معنی‌دار.



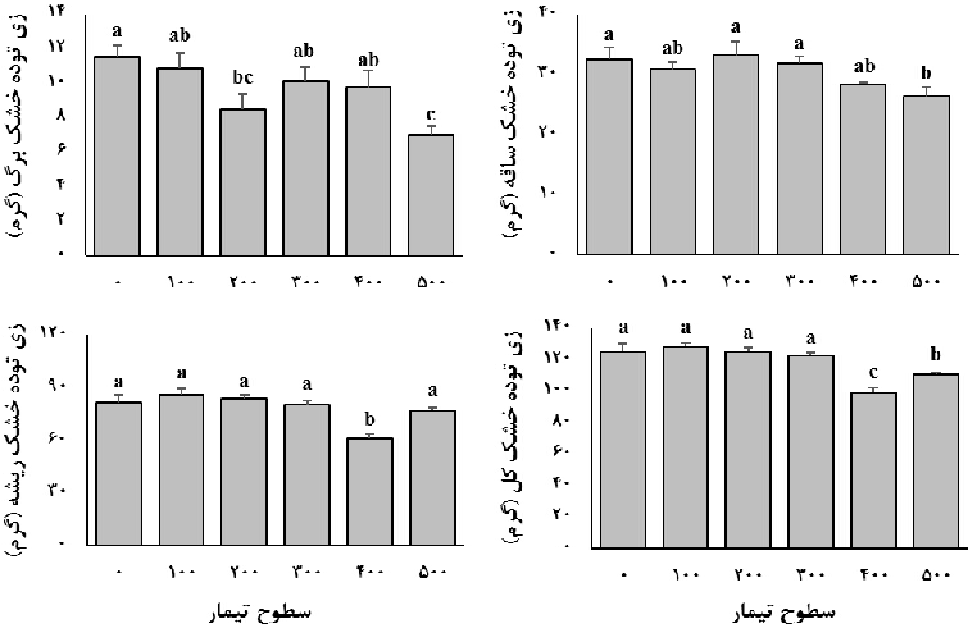
شکل ۳: اثر غلظت‌های مختلف سرب (میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک) برخی از صفات رشد نهال‌ها

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ٤: اثر غلظت‌های مختلف سرب (میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک) بر زی‌توده نهال‌های شیردار

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۵: اثر غلظت‌های مختلف سرب (میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک) بر زی‌توده نهال‌های ون

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

بحث

پژوهشگران اعتقاد دارند در صورتی که سرب، به‌عنوان یک فلز سنگین و تجزیه‌ناپذیر (Lin et al., 2009)، در سیستم‌های زیستی از جمله گیاهان تجمع یابد می‌تواند سوخت و ساز، سنتز کلروفیل و در نهایت فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه را مختل می‌کند (Golubev, 2011). در این تحقیق افزایش سرب و شدت آلودگی آن در خاک موجب بروز محدودیت

فتوسنتزی در دو گونه شیردار و ون شد. نتایج به وضوح نشان داد که نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در نهال‌های شیردار در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم سرب در مقایسه با نهال‌های شاهد آن به‌ترتیب حدود ۶۵، ۱۵ و ۴۲ درصد کاهش یافت درحالی‌که غلظت CO_2 در بین سلول‌های روزنه ثابت ماند. در مورد گونه ون اگرچه نرخ فتوسنتز و میزان تعرق در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم سرب به‌ترتیب حدود ۶۵ و ۲۲ درصد کاهش یافت ولی میزان هدایت روزنه‌ای در غلظت‌های متوسط و شدید آلودگی سرب تا حداکثر ۲۵ درصد افزایش یافت این در حالی است که غلظت CO_2 در بین سلول‌های روزنه نسبتاً ثابت ماند. با توجه به این یافته‌ها می‌توان اذعان داشت که هر کدام از این دو گونه پهن برگ استراتژی مختلفی برای تخفیف تنش آلودگی سرب دارند چرا که هدایت روزنه‌ای در گونه شیردار کاهش و در مقابل در گونه ون افزایش یافت.طبق نظر Velikova و همکارن (۲۰۱۱) غلظت اندک سرب می‌تواند اثر تحریکی و مثبت بر فتوسنتز گیاهان داشته باشد، ولی در غلظت‌های بالا این اثر تحریکی از بین رفته و اثرات منفی ظاهر می‌شوند. در این پژوهش اثرات تحریک کننده سرب بر هدایت روزنه‌ای گونه ون تایید شد. شواهد نشان داده است که برخی از فلزات سنگین قادر هستند به سبب کاهش تبخیر روزنه‌ای، توانایی گیاهان را در مقابله با خشکی (Disante et al., 2011) و شوری (Ekhtiyari and Moraghebi, 2011) افزایش دهند که بی‌شک نباید غلظت این عناصر در خاک در حد سمیت باشد.

به‌طور کلی می‌توان اذعان داشت از میان پارامترهای فتوسنتزی، نرخ فتوسنتز بیشترین حساسیت را به آلودگی فلز سنگین سرب داشت. هم‌راستا با یافته‌های این تحقیق بررسی‌ها نشان داده است که با افزایش غلظت سرب و مدت زمان تنش آن میزان فتوسنتز در گیاه ذرت (*Zea mays*) به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد (Heckathorn et al., 2004). سرب کاهش فتوسنتز را ممکن است از طریق بازگشایی روزنه، آسیب به سازماندهی فراساختاری کلروپلاست، تغییر در متابولیت‌های فتوسنتزی، جایگزینی یون‌هایی از قبیل منیزیم و منگنز و غیره با سرب در کلروپلاست و ممانعت از ساختن یا تجزیه رنگیزه‌های فتوسنتزی القاء کند (Amini and Amirjani, 2013). تنش سرب می‌تواند با کاهش تثبیت کربن سبب اختلال در فتوسنتز شود (Sharma and Dubey, 2005). از سوی دیگر سرب می‌تواند با تولید اکسیژن‌های فعال (ROS) و القاء تنش اکسیداتیو سبب تخریب کلروفیل و بی‌شک در پی آن سبب مختل کردن فعالیت‌های فتوسنتز شود (Choudhary et al., 2007).

یک روش آسان و قابل اطمینان به منظور ارزیابی مقاومت گیاهان به فلزات سنگین بررسی میزان زنده مانی آنها است (Tanvir and Siddiqui, 2010). مشاهدات عینی نشان داد که هیچ‌کدام از تیمارهای آلودگی در طول مدت ۶ ماه سبب مرگ نهال‌های هیچ کدام از گونه‌ها نشد این بدان معنی است که ضعف فیزیولوژیک و اختلال در متابولسم نهال‌ها در مواجهه با آلودگی سرب در خاک حتی در غلظت‌های بالا به قدری نبوده که بتواند سبب مرگ گیاهان شود. طبق نظر زیست‌شناسان گیاهی، اولین نشانه سمیت فلزات سنگین بر روی گیاهان، زرد شدن برگ‌های جوان است (Fontes and Cox, 1995). مشاهدات نشان داد که زرد شدن برگ در نهال‌های ون مشاهده نشد و در مقابل میزان زرد شدن برگ‌ها در گونه شیردار بسیار اندک و قابل اعماض بود.

مقدار اندک از فلزات سنگین به‌عنوان عناصر غذایی کم مصرف ضروری است اما در مقادیر زیاد ممکن است سبب اختلال در سوخت و ساز و در

نهایت توقف رشد شوند (Sinha et al., 2005). در این تحقیق میزان رشد طولی و قطری نهال‌ها بعنوان شاخص‌های رشد مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان داد که رشد قطری و ارتفاعی گونه شیردار تا غلظت‌های کم و متوسط کاهش نیافته ولی هر دو پارامتر در تیمار آلودگی شدید (۵۰۰ میلی‌گرم) حدود ۲۰درصد کاهش را در مقایسه با نهال‌های شاهد خود نشان دادند. در مورد گونه ون مشخص گردید که رویش قطری تا غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم تحت تاثیر قرار نگرفت ولی فراتر از این غلظت کاهش معنی‌داری ثبت شد به‌طوری‌که حداکثر کاهش متعلق به تیمار ۵۰۰ میلی گرم بود (حدود ۲۸ درصد کاهش در مقایسه با شاهد). از سوی دیگر در تیمار آلودگی شدید حدود ۱۲-۱۰ درصد کاهش در رویش ارتفاعی ون ثبت شد. از لحاظ میزان رشد نمی‌توان بین دو گونه تفاوت قابل ملاحظه‌ای قائل شد.

محققین بر این باورند که گاهی اوقات نیتروژن موجود در نمک سرب سبب افزایش رشد زی‌توده گیاه نیز می‌شود (Begonia et al., 1998; Mahdavi et al., 2014). در این تحقیق نه تنها اثرات مثبت نمک سرب بر رشد نهال‌ها مشاهده نشد، بلکه اثرات منفی آن در غلظت‌های شدید تایید شد. برخلاف نتایج تحقیق حاضر، پژوهش‌های مختلفی همچون Begonia و همکاران (۱۹۹۸)، Mahdavi و همکاران (۲۰۱۴) و Kadukova و همکاران (۲۰۰۸) اثرات مثبت سطوح پایین سرب بر رشد و زی‌توده گونه‌های *Tamarix smyrnensis* Bunge، *Acacia victoria* و *Brassica juncea* L. را گزارش کردند و در مقابل هم‌راستا با نتایج ما، مطالعاتی نیز اثرات منفی سرب با غلظت‌های بالا بر رشد گونه *Acacia farnesiana* را تایید کردند (Maldonado et al., 2011). در این تحقیق زی‌توده نهال‌ها در برگ، ساقه و ریشه به انضمام کل زی‌توده خشک بعد از ۶ ماه انجام آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت. در گونه شیردار زی‌توده برگ زمانی‌که در معرض آلودگی سرب تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم قرار گرفت کاهش نیافت در حالی که با اعمال بیشتر سرب به خاک زی‌توده برگ حدود ۲۳-۲۰ درصد کاهش یافت. زی‌توده ساقه در این گونه با افزایش شدت آلودگی کاهش نامحسوسی نشان داد درحالی‌که در شدت زیاد آلودگی، تا حدود ۱۳درصد کاهش ثبت شد. در این گونه زی‌توده ریشه متاثر از تیمارها نبود. زی‌توده خشک کل نهال‌های شیردار تحت تاثیر غلظت‌های بالا حدود ۱۰ درصد کاهش یافت. در گونه ون زی‌توده برگ و زی‌توده ساقه در تیمار شدید آلودگی به‌ترتیب حدود ۴۵ و ۱۲ درصد کاهش مشاهده شد. بیوماس ریشه ون نیز متاثر از آلودگی سرب نبود. در نگاه کلی زی‌توده خشک نهال‌های ون در غلظت‌های بالای آلودگی سرب حدود ۱۰درصد کاهش یافت. کاهش زی‌توده گیاهان در پاسخ به آلودگی سرب ممکن است به‌دلیل سمیت فلز، تضاد با مواد مغذی گیاه و جلوگیری از نفوذ ریشه در خاک باشد (Begonia et al., 1998). از لحاظ میزان زی‌توده نیز نمی‌توان بین دو گونه تفاوت قابل ملاحظه‌ای قائل شد.

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق اگرچه عملکردهای فتوسنتزی نهال‌های ون در مقایسه با نهال‌های شیردار تحت تیمارهای آلودگی سرب کمتر دستخوش تغییرات بازدارنده قرار گرفت ولی در رشد و تخصیص زی‌توده بین نهال‌های این دو گونه تفاوت قابل‌توجهی مشاهده نشد ولی با ظهور علائم زرد شدن برگ‌ها و کاهش میزان پارامترهای فتوسنتزی در گونه شیردار به‌نظر می‌رسد در صورتی که این نهال‌ها در مدت طولانی در خاک‌های آلوده قرار بگیرند اثرات بازدارنده سرب بیشتر آشکار گردد. با این‌حال در طول

یک مدت فصل رویش تفاوت قابل تـاملی نمـی‌تـوان برای دو گونه قائل شـد، بنـابراین پیشـنهاد مـی‌گـردد تحقیق مشابه با غلظت‌های بیشتر در مدت زمـان‌هـای طولانی‌تر مدنظر سایر محققین قـرار بگیـرد تـا بتـوان درک بهتری از مقاومت این دو گونه نسبت به آلودگی فلز سنگین سرب داشت.

References

Amini, F. and Amirjani, M.R. (2013). Effect of Ni and Pb on Chlorophyll content and metals accumulation in *Medicago sativa*. Journal of Crop Production and Processing, 2(6): 11-19.

Azampoor, S., Pilehvar, B., Shirvany, A., Bayramzadeh, V. and Ahmadi, M. (2013). Nickle phytoremediation by leaves of planted species (*Fraxinus rotundifolia*, *Ulmus densa*, *Salix alba*) (Case study: Kermanshah oil refinery area). Iranian Journal of Forest, 5(2):141-150.

Begonia, G., Davis, C., Begonia, M. and Gray, C. (1998). Growth responses of Indian Mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern.] and its phytoextraction of lead from a contaminated soil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 61(1): 38-43.

Borghi, M., Tognetti, R., Monteforti, G. and Sebastiani, L. (2008). Responses of two poplar species (*Populus alba* and *Populus x canadensis*) to high copper concentrations. Environmental and Experimental Botany, 62(3): 290-299.

Choudhary, M., Jetley, U. K., Khan, M. A., Zutshi, S. and Fatma, T. (2007). Effect of heavy metal stress on proline, malondialdehyde, and superoxide dismutase activity in the cyanobacterium Spirulina platensis-S5. Ecotoxicology and Environmental Safety, 66(2): 204-209.

Dickinson, N.M. and Pulford, I.D. (2005). Cadmium phytoextraction using short-rotation coppice Salix: the evidence trail. Environment International, 31(4): 609-613.

Disante, K.B., Fuentes, D. and Cortina, J. (2011). Response to drought of Zn-stressed *Quercus suber* L. seedlings. Environmental and Experimental Botany, 70(2): 96-103.

Ekhtiyari, R. and Moraghebi, F. (2011). The study of the effects of nano silver technology on salinity tolerance of cumin seed (*Cuminum cyminum* L.). Plant and Ecosystem, 7 (25): 99-107.

Environmental Protection Agency (EPA). (2006). Air Quality Criteria for Lead. Volume I and II: 1588 p. http://www.epa.gov.

Escobar, M.P. and Dussán, J. (2016). Phytoremediation potential of chromium and lead by *Alnus acuminata* subsp. *Acuminata*. Environmental Progress and Sustainable Energy, 35(4): 942-948.

Etemadi, E., Fayyaz, P. and Zolfaghari, R. (2013). Photosynthetic reactions of two species of aspen (*Populus alba* L.) and cottonwood (*Populus nigra* L.) to lead increment in hydroponic medium. Iranian Journal of Forest. 5(1): 65-75.

Fontes, R. and Cox, F. (1995). Effects of sulfur supply on soybean plants exposed to zinc toxicity. Journal of Plant Nutrition, 18(9): 1893-1906.

Golubev, I.A. (2011). Handbook of phytoremediation: Nova Science Publishers. New York, pp 29–39.

Heckathorn, S.A., Mueller, J. K., LaGuidice, S., Zhu, B., Barrett, T., Blair, B., and Dong, Y. (2004). Chloroplast small heat-shock proteins protect photosynthesis during heavy metal stress. American Journal of Botany, 91(9): 1312-1318.

Hosseinzadeh Monfared, S., Shirvany, A., Matinizadeh, M., Zahedi Amiri, Gh., Mousavi Fard, R. and Rostami, F. (2013). Phytoremediation potential in *Platanus orientalis*, and *Fraxinus rotundifolia* (Case study: 22 Bahman park, Karaj). Renewable Natural Resources Research, 4 (1): 39-47.

Kadukova, J., Manousaki, E. and Kalogerakis, N. (2008). Pb and Cd accumulation and phyto-excretion by salt cedar (*Tamarix smyrnensis* Bunge). International Journal of Phytoremediation, 10(1): 31-46.

Khademi A. and Kord B. (2010). The role of broad leaf species (the plane tree and the ash) in reducing the pollution resulting from lead. Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources, 5(1): 1-12.

Khajei, N., Shirvany, A., Makhdoum, M., Khoshnevis, M. and Rouhi, M. (2013). Study of cadmium remediation potential in different organs of ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) and balck locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Journal of Forest and Wood Products, 66(3): 257-266.

Lin, C., Liu, J., Liu, L., Zhu, T., Sheng, L. and Wang, D. (2009). Soil amendment application frequency contributes to phytoextraction of lead by sunflower at different nutrient levels. Environmental and Experimental Botany, 65(2): 410-416.

Luo, Z., Tian, D., Ning, C., Yan, W., Xiang, W. and Peng, C. (2015). Roles of *Koelreuteria bipinnata* as a suitable accumulator tree species in remediating Mn, Zn, Pb, and Cd pollution on Mn mining wastelands in southern China. Environmental Earth Sciences, 74(5): 4549-4559.

Mahdavi, A., Khermandar, K., Asbchin, S.A. and Tabaraki, R. (2014). Lead Accumulation Potential in *Acacia victoria*. International Journal of Phytoremediation, 16(6): 582-592.

Mahdavi, A. and Khermandar, K. (2015). Assessment of the potential of *Acacia victoriae* seedlings in uptake of lead and zinc heavy metals. Iranian Journal of Forest, 7(2): 195-208.

Maldonado-Magaña, A., Favela-Torres, E., Rivera-Cabrera, F. and Volke-Sepulveda, T.L. (2011). Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production. Plant and Soil, 339(1-2): 377-389.

Mansouri, F., Danehkar, A., Khorasani, N. and Ashrafi, S. (2015). An investigation on Accumulation of Lead and Nickel in Roots and Leaves of Planted mangrove Forest (*Avicennia marina*) in Imam Khomeini Port. Journal of Natural Environment, 68(1): 119-128.

Pais, I. and Jones Jr, J.B. (1997). The handbook of trace elements: CRC Press. 240pp.

Rashidi, F., Jalili, A., Babaie Kafaki, S. and Sagheb Talebi, Kh. (2011). Response of leaf anatomy in Ash (*Fraxinus rotundifolia* Mill.) to pollutant gases and climatic factors. Iranian Journal of Forest, 3(2): 133-143.

Salehi, A., Tabari, M. and Shirvani, A. (2014). Survival, growth and Pb concentration of *Populus alba* (clone 44/9) seedling in Pb-contaminated soil. Iranian Journal of Fores, 6(4): 419-433.

Sharma, P. and Dubey, R.S. (2005). Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology, 17(1): 35-52.

Sinha, S., Pandey, K., Gupta, A. and Bhatt, K. (2005). Accumulation of metals in vegetables and crops grown in the area irrigated with river water. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 74(1): 210-218.

Tanvir, M.A. and Siddiqui, M.T. (2010). Growth performance and cadmium (Cd) uptake by *Populus deltoides* as irrigated by urban wastewater. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 47(3):235-240.

Velikova, V., Tsonev, T., Loreto, F. and Centritto, M. (2011). Changes in photosynthesis, mesophyll conductance to CO_2, and isoprenoid emissions in Populus nigra plants exposed to excess nickel. Environmental Pollution, 159(5): 1058-1066.