Archive of SID

دو فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران
جلد ۱۴ شماره ۱، صفحه ۲۲-۳۳، (۱۳۹۵)

مقایسه جذب عناصر کادمیوم و روی در دو گونه اکالیپتوس

محمدرضا دهقان[۱]، علیرضا مشکی[۲]، مریم ملاشاهی*[۳]

۱- کارشناس ارشد بیابان زدایی، دانشکده کویر شناسی ، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۲- استادیار گروه جنگلداری مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

۳*- نویسنده مسئول، استادیار گروه جنگلداری مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

پست الکترونیک: Maryam.Mollashahi@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۴

چکیده

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های نوین در حذف آلاینده‌ها به‌شمار می‌آید. این تحقیق با هدف مقایسه میزان جذب فلزات سنگین کادمیوم و روی توسط دو گونه اکالیپتوس *Eucalyptus microtheca* و *Eucalyptus camaldulensis* انجام شد. نهال‌های شش‌ماهه و یک‌دست اکالیپتوس برای اعمال تیمار کادمیوم (غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم به کیلوگرم) و روی (غلظت‌های ۱، ۳ و ۱۰ میلی‌گرم به کیلوگرم) در نظر گرفته شد. برای انجام آزمایش از ۱۸ نهال از هر گونه استفاده گردید. سپس از برگ، ریشه و ساقه هر نهال در سه تکرار جداگانه نمونه‌برداری شد. عصاره‌گیری نمونه‌ها با استفاده از روش هضم اسیدی انجام و غلظت عناصر با استفاده از دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که جذب روی بین برگ‌های دو گونه میکروتکا و کامالدولنسیس با میانگین ۵۱۸/۶ و ۴۲۶/۵ و همچنین بین ریشه‌های آنها با میانگین ۴۷۶/۲ و ۳۸۲/۲ اختلاف معنی‌داری وجود داشت. اما ساقه‌ها در دو گونه تفاوت معنی‌داری در جذب روی نشان ندادند. همچنین میزان جذب کادمیوم در دو گونه میکروتکا و کامالدولنسیس به‌ترتیب با میانگین ۱۲۴/۹ و ۱۷۹/۷ در برگ‌ها و ۴۳۵/۸ و ۳۹۹/۷ در ریشه‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. به‌علاوه اینکه دو گونه اکالیپتوس در سطوح کم در جذب روی و کادمیوم خاک اختلاف چندانی باهم نداشته اما با افزایش غلظت روی (از ۱ به ۳ میلی‌مول) و کادمیوم (از ۱۰ به ۱۵ میلی‌مول)، *E. microtheca* نسبت به *E. camaldulensis* بهتر عمل کرده است. با توجه به استفاده از دو گونه فوق در جنگل‌کاری‌ها با هدف گیاه‌پالایی، گونه *E. microtheca* کارایی بهتری را در جذب کادمیوم و روی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، فلزات سنگین، گیاه‌پالایی، *Eucalyptus Microtheca*،*Eucalyptus camaldulensis*

مقدمه

یکی از مهم‌ترین پیامدهای فعالیت‌های انسانی در محیط‌زیست، آلودگی خاک بوده که مورد توجه بسیاری از محققان علوم طبیعی قرار گرفته است (Barati & Mirghafari, 2012). امروزه فعالیت‌های صنعتی منجر به آلودگی‌های محیط زیستی، به‌ویژه آلودگی با فلزات سنگین شده است (Chehregani & Malayeri, 2007). افزایش روند شهرنشینی، گسترش صنایع مختلف و نیز افزایش سطح اراضی کشاورزی و استفاده از انواع کودها و سموم موجب افزایش میزان تخلیه آلاینده‌های فلزی در محیط شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه‌پالایی (Phytoremidation) روشی برای حذف آلاینده‌ها از محیط‌زیست (آلودگی هوا، آلودگی آب و آلودگی خاک) با استفاده از گیاهان می‌باشد. امروزه از این روش در پاک‌سازی خاک‌ها و سیستم‌های آبی از انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین استفاده می‌شود (Clements *et al*., 2002). کادمیوم یکی از مهمترین آلاینده‌های محیطی است که می‌تواند از طریق فعالیت معادن، صنایع فلزی و مراکز دفن زباله وارد خاک شده و منجر به ایجاد حالت سمیت در گیاهان و به‌تبع آن با وارد شدن به زنجیره غذایی مسمومیت‌های حیوانی و انسانی را در پی داشته باشد (Arriagada *et al*., 2004). روی نیز یکی از عناصر سنگین بوده و زمانی که غلظت آن در بافتهای گونه‌های گیاهی حساس به ۱۵۰- ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم برسد، دچار کاهش رشد می‌شود. معمولا به علت تجمع روی در خاک، گیاهان این ماده را فراوان جذب کرده که برای حیاتشان مضر است. تحقیقات نشان داده است که دامنه سطوح سمی در گیاهان مختلف بین ۱۰۰- ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Kabata- Pendias, 2011).

با توجه به اینکه روش‌های سنتی برداشت عناصر سنگین از خاک و آب بسیار پرهزینه و دشوار و اغلب ناموفق است، استفاده از گیاهان کاهش‌دهنده آلودگی خاک و آب ضروری به نظر می‌رسد، زیرا امروزه گیاه‌پالایی یک گزینه کم‌هزینه و مقرون به صرفه به‌ویژه برای مناطق آلوده محسوب می‌شود.

در این روش از گیاهان مقاوم برای پالایش خاک‌های آلوده به ترکیبات آلی و معدنی استفاده می‌شود (Mattina *et al*., 2003). گیاهان مورد استفاده در فرایند تصفیه گیاهی باید از قدرت بالایی نسبت به فلزات سنگین برخوردار بوده و دارای هزینه نگهداری و داشت اندکی باشند، به‌طوری که ریشه‌ای با زی‌توده قابل ملاحظه تولید نمایند تا بتوانند مقادیر زیادی از فلزات سمی را در بافت ریشه، شاخه و برگ خود انباشت کنند (Dushenkov & Kapulnik, 2000). گیاهان بیش‌اندوز (Hyperaccumulator) علفی یا چوبی که دارای ویژگی‌هایی مانند سرعت رشد بالا، سیستم ریشه‌ای عمیق، قدرت رشد در خاک‌های فقیر از مواد غذایی و مقاومت در برابر حضور فلزات باشند، گزینه‌های مناسبی برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزات هستند (Alizadeh *et al*., 2012).

اکالیپتوس ازجمله گیاهانی است که توانایی رشد در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را دارد (Assareh, *et al*., 2008). این گونه قابلیت زیادی در احیای زمین‌های بی‌حاصل داشته و به طور وسیعی برای تولید ماده خام صنایع چوبی و سوخت چوبی استفاده می‌شود، علاوه بر این دارای زی‌توده و سرعت رشد بالایی است (Kamalpour *et al*., 2014). با توجه به نیاز روزافزون جنگل‌کاری در ایران، لازم است که تحقیق جامعی بر روی گونه‌های مختلف اکالیپتوس و نقش هریک از آنها در جذب عناصر سنگین انجام شود.

مطالعات انجام شده در زمینه تعیین میزان سازگاری و عملکرد گونه‌های اکالیپتوس در زمان آبیاری با فاضلاب شهری و صنعتی نشان داده که گونه *E. camaldulensis* از نظر سازگاری، رشد ارتفاعی و قطری و قدرت جذب آب، موفق‌تر از سایر گونه‌های درختی بوده است (Rad *et al*., 2010). همچنین بررسی اثر پساب‌های صنعتی دارای فلزات سنگینی مانند مس، آهن، منگنز و روی به همراه عناصر معدنی مانند کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، نیتروژن و فسفر بر روی گونه *E. camaldulensis* نشان داده که این پساب‌ها می‌توانند منجر به افزایش زی‌توده در این گونه شوند (Bhati & Singh, 2003).

طبق مطالعات انجام شده اگر مقدار روی در گیاهان بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، ایجاد سمیت می‌کند (Levy *et al*., 1999). Shariat و همکاران در سال 2008 به این نتیجه رسیدند که مقدار جذب روی در گونه *camaldulensis* . در منطقه شهر ری بیشتر از ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در حقیقت در حد سمیت گیاه بوده است. اما در گونه اکالیپتوس هیچ‌یک از علائم مسمومیت ظاهر نشده است.

www.SID.ir

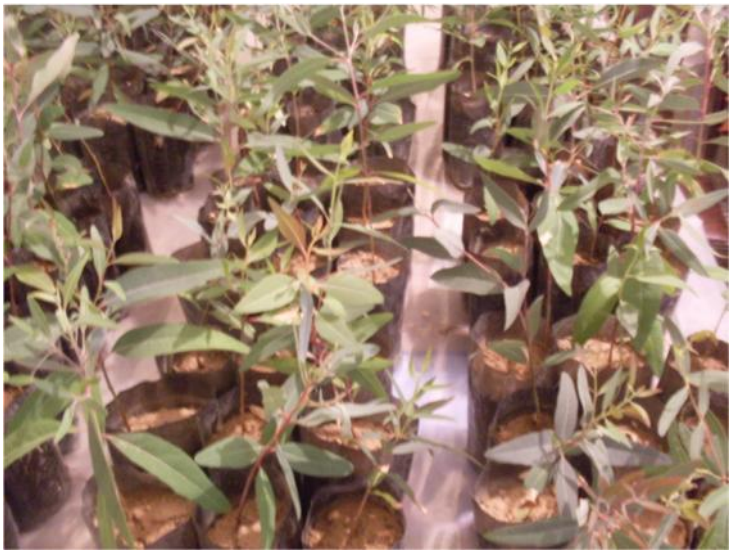
Archive of SID

امروزه به‌دلیل افزایش انواع آلاینده‌های محیطی انتخاب گونه مناسب برای اهداف گیاه‌پالایی بویژه در مناطقی با آلودگی بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اکالیپتوس ازجمله گونه‌های وارداتی است که دارای تنوع گونه‌ای زیادی بوده و دو گونه *E. microtheca* و *E. camaldulensis* در طرح‌های جنگل‌کاری در ایران بسیار موفق عمل کرده‌اند، از این‌رو هدف از این مطالعه مقایسه این دو گونه در جذب فلزات سنگین شامل روی و کادمیوم و معرفی گونه بهتر برای استفاده در اهداف گیاه‌پالایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور اجرای آزمایش، نهال‌های ۶ ماهه و یک‌دست اکالیپتوس از نهالستان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان گلستان تهیه شدند. شکل ۱ قسمتی از نهال‌های اکالیپتوس این پژوهش را نشان می‌دهد. برای اعمال تیمار فلزات سنگین، سه تیمار کادمیوم (غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و سه تیمار روی (غلظت‌های ۱، ۳، ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) در نظر گرفته شد. در مجموع برای انجام آزمایش از ۱۸ نهال گونه *Eucalyptus Microtheca* و ۱۸ نهال گونه *Eucalyptus camaldulensis* استفاده گردید. در مرحله بعد، از برگ، ریشه و ساقه هر نهال به صورت جداگانه در ۳ تکرار نمونه‌برداری و در مجموع ۱۰۸ نمونه تهیه شد.

برای تعیین میزان توانایی اندام‌های مختلف گونه‌های اکالیپتوس (*E. Camaldulensis* و *E. microtheca*) در جذب روی و کادمیوم از خاک، سه غلظت مختلف از هر عنصر در نظر گرفته شد. کادمیوم با غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مول بر لیتر و روی با غلظت‌های ۱، ۳ و ۱۰ میلی‌مول بر لیتر تهیه گردید. برای فراهم کردن غلظت‌های روی و کادمیوم به‌ترتیب از محلول‌های $ZnSO_4$ و $Cd(NO_3)_2$ استفاده شد. سپس غلظت‌های مورد نظر در تیمارهای مختلف بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم تهیه و بعد از توزین مقادیر ذکرشده محلول‌ها، به‌طور کامل به خاک هر گلدان اضافه شد. سطوح مختلف عناصر سنگین به صورت محلول (آب مقطر + ماده مورد نظر) از طریق آبیاری روزانه گلدان‌ها، به شکلی تقریبا یکنواخت به خاک افزوده شد (Shariat *et al*., 2008; Asgari lajayer *et al*., 2014).



شکل ۱- نهال‌های اکالیپتوس در طول دوره داشت در گلخانه

www.SID.ir

Archive of SID

پس از گذشت ۱۳ هفته از زمان کاشت نهال‌ها، بخش هوایی نهال‌ها در هر گلدان قطع و پس از اندازه‌گیری وزن تر و بعد شستشو با آب مقطر، به مدت سه روز در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون خشک شد و وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید (Sardabi *et al*., 2013).

ریشه گیاهان نیز به دقت از خاک گلدان جدا شد و پس از شستشو و اندازه‌گیری وزن تر، مقدار یک تا دو گرم از ریشه‌های ریز توسط قیچی جدا و با آب شستشو داده و برای اندازه‌گیری میزان جذب ریشه در الکل ۵۰ درصد نگهداری شدند. ریشه‌ها نیز در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز خشک و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

برای تهیه عصاره نمونه‌ها از روش هضم اسیدی (خشک) استفاده شد. سپس اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در تمام نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) انجام گردید (Heinrichs *et al*., 1986).

برای مقایسه میزان تجمع عناصر سنگین در اندام‌های دو گونه اکالیپتوس مورد مطالعه از آزمون تی مستقل و برای مقایسه اندام‌ها در میزان جذب عناصر از آزمون One Way ANOVA استفاده شد. به‌منظور مقایسه میانگین مقادیر عناصر سنگین جذب شده در گونه‌های اکالیپتوس با مقادیر مجاز و بحرانی تعریف شده استانداردهای جهانی، از آزمون تی یک نمونه‌ای، با یک مقدار ثابت استفاده شد (Chahouki, 2010) (جدول ۷).

نتایج

در جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در تحقیق گلخانه‌ای نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود pH خاک از نوع خنثی بوده و خاک نیز از درصد درشت دانه بیشتری برخوردار است.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

فسفر قابل جذب (میلی‌گرم به کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم به کیلوگرم)	نیتروژن کل (٪)	کربن آلی (٪)	آهک (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	شن (٪)	EC (dS/m)	pH
۱۹	۲۵۳	۰/۱۲	۱/۰۵	۱۲/۲۲	۳۷	۲۲	۴۱	۰/۲۷	۷/۰۹

نتایج عنصر روی (Zn)

شکلهای ۲ و ۳ به‌ترتیب نتایج مقایسه سه اندام را در جذب غلظت‌های مختلف بکار رفته در هر گونه به صورت جداگانه نشان می‌دهند. نتایج هر دو گونه نشان می‌دهد که به لحاظ آماری بین میزان جذب در ریشه و برگ تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود اما بالاترین جذب در هر غلظت در ریشه‌ها دیده می‌شود. علاوه بر این، ساقه در هر سه غلظت مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را با دو اندام دیگر نشان می‌دهد و میزان جذب کمتری داشته است.

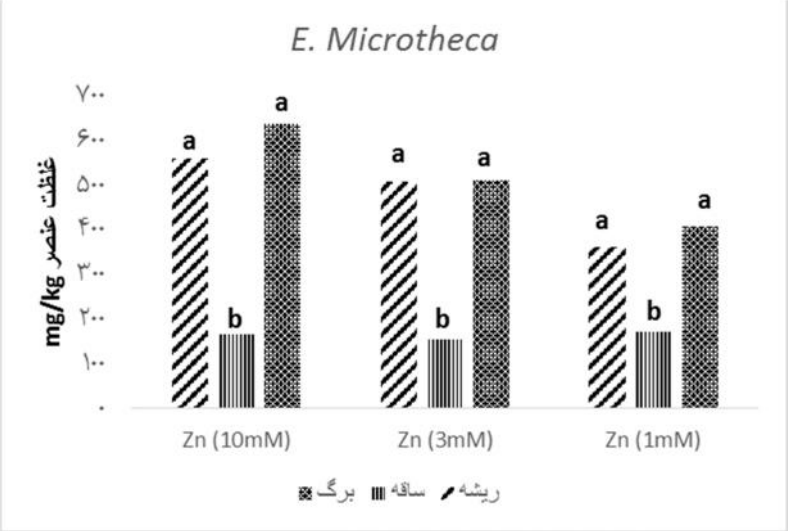
جدول ۲ نتایج آزمون t مستقل را برای مقایسه میزان جذب عناصر در سه اندام در دو گونه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در اندام‌های مختلف گیاهی بین دو گونه از نظر جذب روی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. براساس نتایج حاصل، میزان روی تفاوت معنی‌داری را در برگ و ریشه این دو گونه نشان داد (جدول ۲ و شکل ۴). اما مقایسه غلظت‌ها در ساقه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

جدول ۳ نیز میانگین غلظت‌های مختلف روی در برگ، ساقه و ریشه را در دو گونه *E. microtheca* و

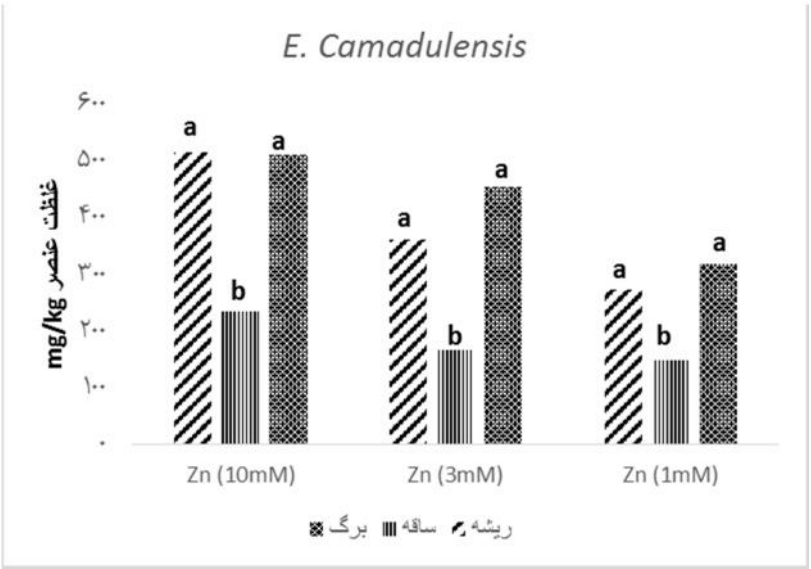
www.SID.ir

Archive of SID

E. camaldulensis نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آنست که گونه *E. microtheca* در جذب روی موفق‌تر عمل کرده و از قابلیت جذب بیشتری نسبت به گونه *E. camaldulensis* برخوردار است. شکل ۴ نیز سه غلظت مورد مطالعه روی را در اندام‌های مختلف دو گونه اکالیپتوس در نمایی کلی نشان می‌دهد که با افزایش غلظت این عنصر در خاک میزان جذب آن در اندام‌های هر دو گونه افزایش یافته است.



شکل ۲- نتایج مقایسه سه اندام در جذب غلظت‌های مختلف بکار رفته در گونه ***E. microtheca***



شکل ۳- نتایج مقایسه سه اندام در جذب غلظت‌های مختلف بکار رفته در گونه ***E. camaldulensis***

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- آزمون t مستقل برای غلظت‌های مختلف روی بین دو گونه *E. microtheca* و *E. camaldulensis*

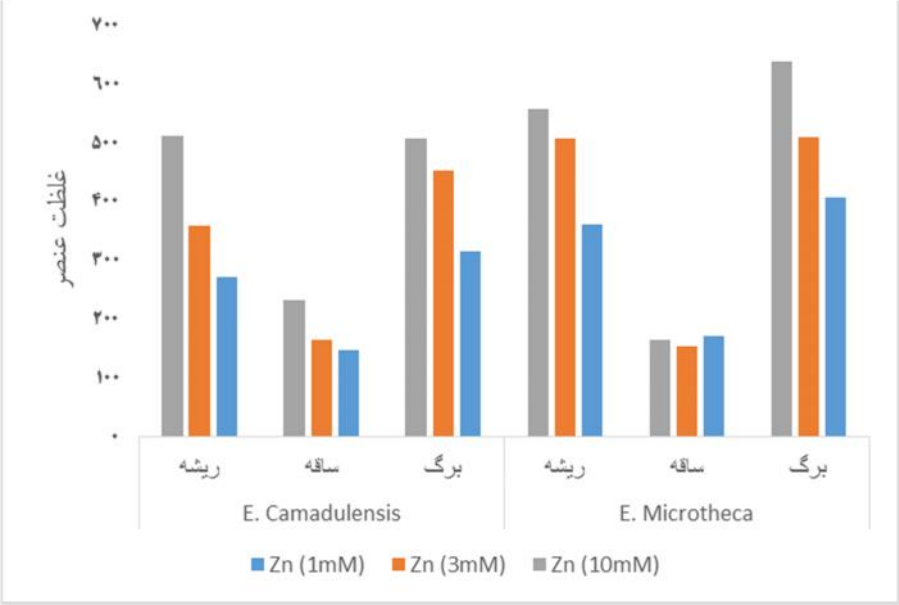
اندام	فرضیات	آزمون برابری واریانس‌ها (Leven) F	Sig	آزمون t-test df	Sig
برگ	واریانس برابر فرض شده	۰/۵۴	۰/۵۰	۱۷	*۰/۰۱
ساقه	واریانس برابر فرض شده	۳/۹۱	۰/۱۲	۱۷	۰/۱۹
ریشه	واریانس برابر فرض شده	۰/۰۱	۰/۹۴	۱۷	*۰/۰۱

*: نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد است.

جدول ۳- میانگین غلظت روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در بین اندام‌های دو گونه مورد تحقیق

گونه اکالیپتوس	میانگین جذب برگ	میانگین جذب ساقه	میانگین جذب ریشه
E. microtheca	۵۱۸/۶ a (۸۴/۶۶)	۱۶۴/ ۶ a (۲۵/۲۹)	۴۷۶/۲ a (۶۳/۹۳)
E. camaldulensis	۴۲۶/۵ b (۷۹/۰۲)	۱۸۲/ ۴ a (۴۸/۵۸)	۳۸۲/۲ b (۷۷/۵۰)

حروف کوچک لاتین متفاوت در هر ردیف جدول نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد بین تیمارهای مختلف و اعداد داخل پرانتز مربوط به انحراف معیار تیمارها می‌باشد.



شکل ۴- میزان جذب روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) در برگ، ساقه و ریشه دو گونه اکالیپتوس در سه غلظت مورد مطالعه

نتایج عنصر کادمیوم (Cd)

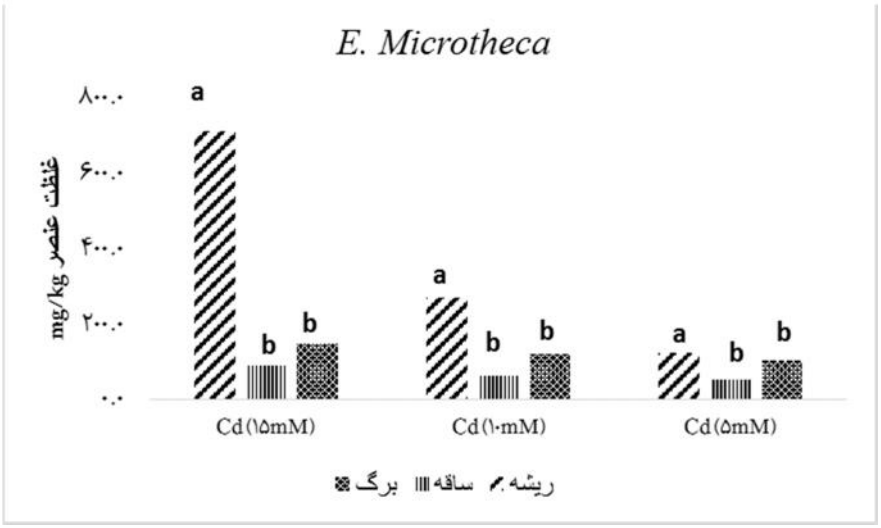
شکلهای ۵ و ۶ به‌ترتیب نتایج مقایسه سه انـدام را در جذب غلظت‌های مختلف بکار رفتـه از کـادمیوم در هـر گونه به صورت جداگانه نشـان مـی‌دهنـد. نتـایج نشـان می‌دهد که بین میزان جذب در ریشه‌ها تفاوت معنی‌داری با میـزان جـذب در بـرگ‌هـا و سـاقه‌هـا وجـود دارد و بالاترین جذب در هر غلظت در ریشه‌ها دیده می‌شود.

نتایج آزمون t مستقل برای مقایسه غلظت‌های مختلف کادمیوم در دو گونه بیانگر اختلاف معنی‌دار بین اندام‌های دو گونه از نظر جذب کادمیوم است (جدول ۴). جدول ۵

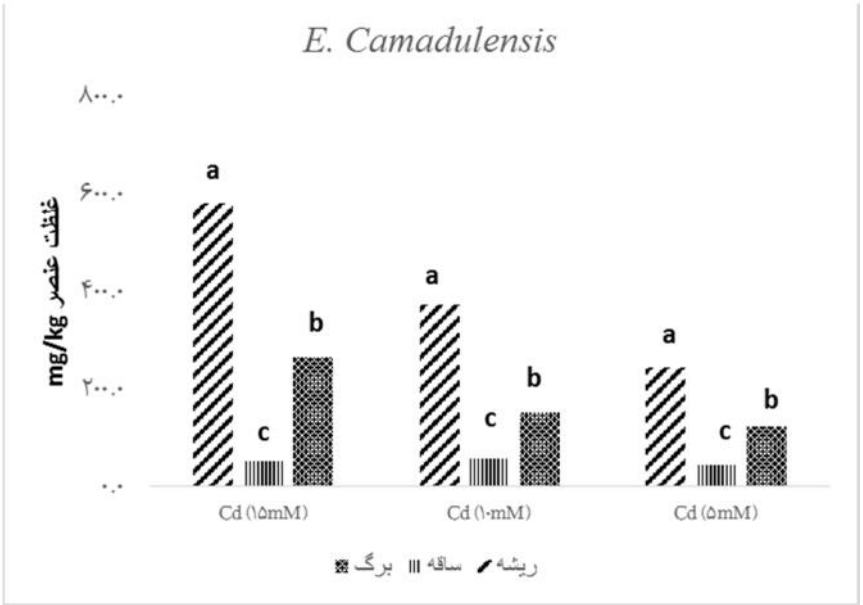
www.SID.ir

Archive of SID

نیز میانگین غلظت‌های مختلف کادمیوم را در برگ، ساقه و ریشه در دو گونه *E. microtheca* و *E. camaldulensis* نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در برگ و ریشه دو گونه اکالیپتوس از نظر میزان جذب کادمیوم اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد اطمینان وجود دارد. ولی در بین ساقه دو گونه میزان جذب کادمیوم اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴ و شکل ۷). علاوه بر این، در شکل ۷ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت این در خاک میزان جذب آن در اندام‌های هر دو گونه افزایش یافته است.



شکل ۵- نتایج مقایسه سه اندام در جذب غلظت‌های مختلف بکار رفته در گونه ***microtheca***



شکل ۶- نتایج مقایسه سه اندام در جذب غلظت‌های مختلف بکار رفته در گونه ***camaldulensis***

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- آزمون t مستقل برای غلظت‌های مختلف کادمیوم در دو گونه اکالیپتوس

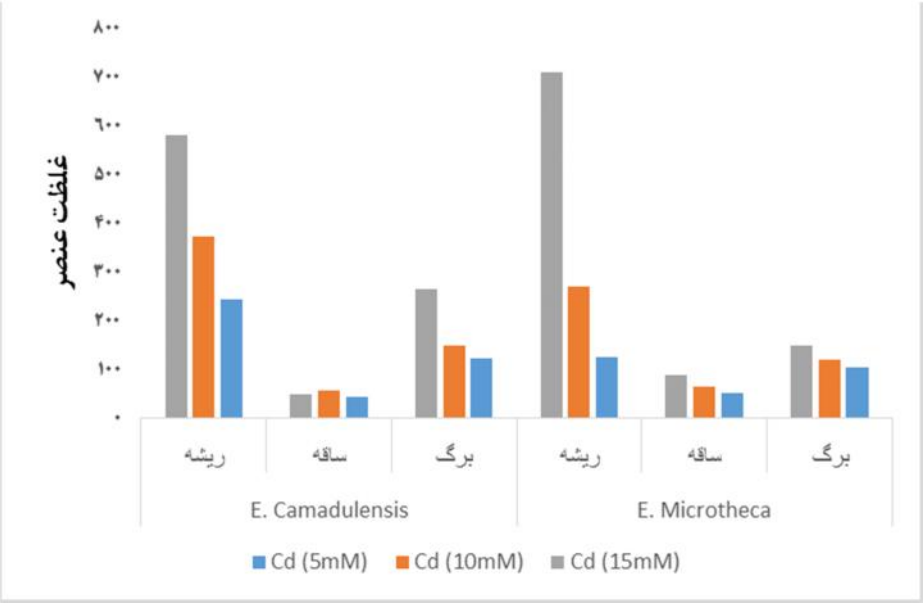
اندام	فرضیات	آزمون برابری واریانس‌ها (Leven) F	Sig	آزمون t مستقل Df	Sig
برگ	واریانس برابر فرض شده	۱/۸۹	۰/۲۴	۱۷	۰/۰۳
ساقه	واریانس برابر فرض شده	۰/۰۷	۰/۸۱	۱۷	۰/۲۱
ریشه	واریانس برابر فرض شده	۰/۴۱	۰/۵۶	۱۷	*۰/۰۲

*: نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۹۵ درصد است.

جدول ۵- میانگین غلظت (سه غلظت مورد مطالعه) کادمیوم در بین اندام‌های دو گونه *E. microtheca* و *E. camaldulensis*(mg/kg)

گونه اکالیپتوس	میانگین جذب برگ	میانگین جذب ساقه	میانگین جذب ریشه
E. microtheca	۱۲۴/۹ [b]	۶۹/۵ [a]	۴۳۵/۸[a]
	(۲۰/۳۰)	(۱۶/۸۹)	(۱۶۳/۹۳)
E. camaldulensis	۱۷۹/۷ [a]	۵۱/۲ [a]	۳۹۹/۷ [b]
	(۶۵/۷۹)	(۶/۴۳)	(۱۴۸/۲۹)

حروف کوچک لاتین متفاوت در هر ردیف جدول نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد بین تیمارهای مختلف و اعداد داخل پرانتز مربوط به انحراف معیار تیمارها می‌باشد.



شکل ۷- میزان جذب کادمیوم در برگ، ساقه و ریشه دو اکالیپتوس (mg/kg) در سه غلظت مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی حد مجاز غلظت عناصر در گیاه

جدول ۶ دامنه عمومی عناصر سنگین در گیاهان را بر طبق سه مطالعه مختلف نشان می‌دهد. به‌طوری‌که بر اساس آن جدول ۷ به مقایسه غلظت عناصر سنگین در برگ، ساقه و ریشه دو گونه اکالیپتوس با غلظت بحرانی (آستانه بروز سمیت در گیاه) می‌پردازد. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود در تمامی اندام‌های دو گونه میانگین غلظت‌های مشاهده شده در این مطالعه با مقادیر آستانه سمیت معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۶- دامنه عمومی عناصر سنگین در گیاهان (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

عنصر	نرمال	کمبود	سمیت
Zn	۱۰-۱۵۰[a]	<۱۰[a] ۱۵-۳۰[b]	>۱۰۰[a] ۲۰۰-۵۰۰[b] ۲۰۰-۳۰۰[c]
Cd	۰/۰۵-۲[a]	-	۵-۷۰۰[a] ۳-۱۰[c]

[a] Levy et al., 1999. b Romheld and Marchner, 1991. c Bahlsberg-Pahlsson, 1989.

جدول ۷- مقایسه غلظت عناصر سنگین در برگ، ساقه و ریشه *E. camaldulensis* و *E. microtheca* با غلظت بحرانی

اندام	صفت	گونه	میانگین (انحراف معیار)	درجه آزادی	مقادیر آستانه	Sig.
برگ	Zn	*microtheca*	۵۱۸/۶۱ (۱۰۴/۶۶)	۲۶	۱۰۰	*۰/۰۰۰
		camaldulensis	۴۲۶/۵۰ (۹۹/۰۲)	۲۶		*۰/۰۰۰
	Cd	*microtheca*	۱۲۴/۹۳ (۲۰/۳۰)	۲۶	۳	*۰/۰۰۰
		camaldulensis	۱۷۹/۶۵ (۶۵/۷۹)	۲۶		*۰/۰۰۰
ساقه	Zn	*microtheca*	۱۶۴/۶۲ (۲۵/۲۹)	۲۶	۱۰۰	*۰/۰۰۰
		camaldulensis	۱۸۲/۴۲ (۴۸/۵۸)	۲۶		*۰/۰۰۱
	Cd	*microtheca*	۶۹/۵۴ (۱۶/۸۹)	۲۶	۳	*۰/۰۰۰
		camaldulensis	۵۱/۱۸ (۶/۴۳)	۲۶		*۰/۰۰۰
ریشه	Zn	*microtheca*	۴۷۶/۲۲ (۹۲/۹۹)	۲۶	۱۰۰	*۰/۰۰۰
		camaldulensis	۳۸۲/۱۵ (۱۰۷/۵۰)	۲۶		*۰/۰۰۰
	Cd	*microtheca*	۳۶۹/۱۲ (۲۶۳/۹۳)	۲۶	۳	*۰/۰۰۳
		camaldulensis	۳۹۹/۷۱ (۱۴۸/۲۹)	۲۶		*۰/۰۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

فلزات سنگین در اثر فعالیت نیروگاه‌های تولید انرژی، سیستم‌های گرمایشی، صنایع فلزی و دیگر منابع وارد محیط‌زیست می‌شوند. تجمع این دسته از مواد در خاک آثار زیان‌باری را برای تمامی موجودات زنده اعم از گیاهان در پی دارد (Gichner, *et al.*, 2006). گونه‌های گیاهی در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توانند بخشی از این فلزات را جذب کرده و تا حدی از آلودگی محیط بکاهند.

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار دو گونه مورد بررسی از لحاظ جذب عناصر روی و کادمیوم می‌باشد که این پدیده به احتمال زیاد به صفات فیزیولوژیک گونه‌ها مربوط است (Burken *et al.*, 2011). همچنین مقایسه جداگانه اجزای این دو گونه حکایت از آن دارد که غلظت روی در برگ‌های دو گونه تفاوت معنی‌داری ندارد، اما در ریشه‌های گونه *E. microthec*a میزان جذب بیشتر بوده است. در این مطالعه میانگین کلی جذب روی در برگ و ریشه گونه *E. camaldulensis* به‌ترتیب برابر ۴۲۶/۵ و ۳۸۲/۱۵ و برای گونه *E. microtheca* برابر ۵۱۸/۶۱ و ۴۷۶/۲ بدست آمده است. در هر دو گونه میانگین غلظت روی در برگ‌ها بالاتر می‌باشد اما در بین دو گونه، گونه *E. microtheca* از عملکرد بالاتری برخودار بوده است. نتایج مطالعه Assareh *et al* (۲۰۰۸) نشان داد که میزان غلظت روی در گونه *E. microtheca* بیشتر بوده که از این نظر با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. البته در مورد میزان غلظت روی در گونه اکالیپتوس نتایج مشابهی در تحقیقات دیگران وجود دارد. به‌عنوان مثال در نتایج تحقیقی مشخص شده است که گونه *Eucalyptus maclata* قابلیت جذب روی را تا میزان ۸۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارد (*Soares et al.*, 2001)، که در مقایسه با نتایج این مطالعه رقم قابل توجهی می‌باشد.

در مورد تجمع کادمیوم در اندام‌های مختلف، مشاهده شد که بالاترین میزان تجمع در هر دو گونه و در هر سه غلظت مورد مطالعه، در ریشه بوده است. همچنین با بالا رفتن غلظت آلاینده‌ها در خاک میزان جذب در اندام‌های مختلف در هر دو گونه، روند افزایشی داشته است.

البته نتایج این تحقیق تفاوت معنی‌داری را در رابطه با میزان جذب روی و کادمیوم در ساقه دو گونه مورد بررسی نشان نداد. همچنین نتایج مقایسه سه اندام در جذب روی نشان داد که ریشه و برگ توانایی بالاتری در جذب این عنصر نسبت به ساقه دارند. مطالعات متعددی حکایت از این دارد که عناصر آلاینده اغلب در بافت‌ها و اندام‌های فعال و در حال رشد (برگ‌ها و ریشه‌ها) تجمع می‌یابند (Pulford &Watson, 2003; Assareh *et al.*, 2008). همچنین گفته شده که در این راستا گیاهان علفی که به‌مراتب از میزان و سرعت رشد بالاتری نسبت به گیاهان چوبی برخوردار هستند موفقتر عمل می‌کنند (Riddle-Black, 1994). Riddle-Black در سال ۱۹۹۴ عنوان کرد که میزان تجمع این دسته از مواد در شاخه و برگ‌های درخت بید بسیار بیشتر از ساقه آن بوده است. براساس دیگر مطالعات انجام شده میزان غلظت روی در ریشه‌های گونه *E. camaldulensis* بسیار بیشتر از ساقه آن بود (*Coupe et al.*, 2013; Kamalpour *et al.*, 2014). مقایسه غلظت روی در برگ‌ها و ساقه‌های گونه اکالیپتوس، نشان داده است که غلظت در برگ‌ها نسبت به ساقه‌ها بیشتر می‌باشد (Mughini *et al.*, 2013) که از این نظر با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

همچنین این مطالعه نشان داد که برگها در جذب روی توانایی بالاتری را نسبت به ریشه دارند. با وجود این، این تفاوت به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. در مقابل، Victor Nenman و همکاران در سال ۲۰۱۲ نشان داد که بین میزان جذب روی در ریشه و برگ گونه *E. camaldulensis* تفاوت وجود داشت و میزان این عنصر در برگ‌های این گونه بیشتر از ریشه‌های آن بود که این تفاوت می‌تواند به دلیل سنین متفاوت نهال‌های مورد استفاده در هر تحقیق باشد.

طبق نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، می‌توان گفت دو گونه اکالیپتوس *E. microtheca* و *E. camaldulensis* در

www.SID.ir

Archive of SID

سطوح کم تیمار، از نظر جذب عناصر سنگین خاک اختلاف چندانی باهم ندارند اما با افزایش میزان غلظت روی و کادمیوم گونه *E. microtheca* موفق‌تر عمل کرده است. مطالعات دیگری که در این راستا انجام شده است نشان داده که در شرایط خاک‌های آلوده گونه میکروتکا از نظر وضعیت فاکتورهای رویشی از قبیل سرعت رشد، درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر در شرایط بهتری نسبت به گونه کامالدولنسیس قرار دارد که نشان‌دهنده مقاومت بیشتر این گونه به چنین شرایطی می‌باشد (Shariat & Asareh, 2008).

نتایج این مطالعه نشان داد که میزان انباشت عناصر مورد مطالعه در هر دو گونه اکالیپتوس مورد مطالعه هم در اندام‌های هوایی و هم زیرزمینی در حد بحرانی قرار دارد و از حد آستانه سمیت در گیاه بالاتر است (جدول ۶). از آنجایی که هیچ‌گونه علائم ظاهری سمیت در این گونه دیده نمی‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که این گونه توانایی بالایی را در انباشت عناصر آلاینده در خود دارد. بنابراین با توجه به وسعت مناطق آلوده صنعتی، پتروشیمی، نیروگاه‌ها و مناطق آلوده وسیع شهری می‌توان از این گیاه سریع‌الرشد، همیشه سبز و مقاوم برای حذف آلودگی‌های زیست محیطی بهره برد. با توجه به نتایج این تحقیق، در بین دو گونه اکالیپتوس (*E. camaldulensis* و *E. microtheca*)، گونه *E. microtheca* برای پالایش خاک‌های آلوده به فلزاتی مانند روی و کادمیوم مناسب به نظر می‌آید. همچنین در بین اندام‌های مختلف، برگ‌ها و ریشه‌های گونه اکالیپتوس قادر به تجمع مقادیر بالاتری از فلزات سنگینی مانند روی و کادمیوم می‌باشند. از آنجا که اکالیپتوس دارای قابلیت جذب بالای عناصر سنگین، زی‌توده مناسب، رشد سریع و قدرت تکثیر بالا می‌باشد، می‌تواند به صورت گسترده در پروژه‌های گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

-Alizadeh, S.M., Zahedi Amiri, G., Savaghebi-Firoozabadi, G., Etemad, V., Shirvany, A and Shirmardi, M., 2012. Influence of soil amendment on cadmium accumulation responses in one-year old *Populus alba* L. seedling. Iranian Journal of Forest, 3(4): 355-366.

-Arriagada, C.A., Herrera, M.A., Garcia-Romera, I., and Ocampo, J.A., 2004. Tolerance to Cd of Soybean (Glycine max) and Eucalyptus (*Eucalyptus globulus)* Inoculated with Arbuscular Mycorrhizal and Saprobe Fungi. Symbiosis, 36:1-15.

-Asgari Lajayer, h., Moteshare Zadeh, B., Savaghebi Firoabadi, GH. and Hadian, J., 2014. Effect of Cu and Zn on concentration and absorption of micro elements (Cu, Zn, Fe, Mn) and macro elements (P) on medicine plant (*Satureja hortensis* L.) in greenhouse condition. Journal of Greenhouse Science and Culture, 19(5): 95-111.

-Assareh, M.H., Shariat, A., and Ghamari-Zare, A., 2008. Seedling response of three Eucalyptus species to copper and zinc toxic concentrations. Caspian Journal Environmental Science and Technology, 6 (2): 97-103.

- Balsberg-Pahlsson, A.M. 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. A literature review. Water Air Soil Pollutants, 47: 287-319.

-Barati, S., and Mirghafari, N., 2012. Spatial Distribution of Chromium, Cobalt and Nickel in the Surface Soils of Hamadan Province. Journal of Natural Environment, Natural Resource of Iran Journal, 65(3): 283-295.

-Bhati, M. and Singh. G., 2003. Growth and mineral accumulation in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings irrigated with mixed industrial effluents. Bioresource Technology, 88:221-228.

-Burken, J., Vroblesky, D. and Balouet, J.C., 2011. Phytoforensics, Dendrochemistry and Phytoscreening: New green tools for delineating contaminants from past and present. Environmental Science & Technology, 45(15): 6218–6226.

-Chahouki, M.A., 2010. Data analysis on research of natural resource using Spss software. print 1, Jahad University Press, Tehran, 310pp.

-Chehregani, A., and Malayeri, B., 2007. Removal of heavy metals by native accumulator plants. Chemosphere, 63: 811- 817.

-Clements, S., Plamegren, M.G., and Kramer, U., 2002. Along way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. Trends in Plant Science, 7: 309-316.

-Coupe, S.J., Sallami, Kh., and Ganjian, E., 2013. Phytoremediation of heavy metal contaminated soil using different plant species. African Journal of Biotechnology, 12(43): 6185-6192.

-Dushenkov, S., and Kapulnik, Y., 2000. Phytofilitration of metals. In: Raskin, I., Ensley,

www.SID.ir

Archive of SID

-Riddle-Black, D. 1994. Heavy metal uptake by fast growing willow species. In: Aronsson, P., Perttu, K. (Eds.). Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sediments: A biological purification system. Proceeding of a study tour, Conference and workshop in Sweden. Swedish University of Agricultural Science, Section of short rotation Forestry, Rapport 50, 5-10: 133-144.

-Romheld, V. and Marschner, H., 1991. Function of micronutrients in plants. In: Mortvedt, J.J., Shuman, L.M. and Welch, R.M. (Eds), Micronutrients in Agriculture. Published by Soil Science Society America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp, 297-328.

-Sardabi, H., Saleheh Shoushtari, M.H., Banj Shafiei, SH., Jafari, A.A., Toghraie, N., Shariat, and Assareh, M.H., 2013. Investigation on potential of few eucalypt species for absorbing pollutants and reserv-ing them in their leaves. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21 (2): 357-372.

-Shariat, A., Assareh, M.H., and Ghamari-Zare, A., 2008. Phytoremediation ability of *Eucalyptus camaldulensis* on Pb, Cd and Cu. Journal of Plant Researches, 12(3): 18-36.

-Shariat, A., and Assareh, M.H., 2008. Effects of different levels of heavy metals on seed germination and seedling growth of three Eucalyptus species. Iranian Journal of Rangland and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 14 (1): 38-46.

-Soares, C.R.F.S., Grazziotti, P.H., Siqueria, J.O., Carvaiho, J.G., and Moreira, F.M.S., 2001. Zinc toxicity on growth and nutrition of Eucalyptus maculate and *Eucalyptus urophylla* in nutrient solution. Pesquisa Agropecuária Brasileira , 36: 339-348.

-Victor Nenman, D., N. Danboyi NImyel, and Ishaya Ezekiel, D., 2012. The Potentials of *Eucalyptus camaldulensis* for the Phytoextraction of Six Heavy Metals in Tin – mined Soils of Barkin Ladi L.G.A. of Plateau State, Nigeria. International Journal of Engineering Research and Applications, 2 (2): 346-349.

B.D. (Eds.), Phytoremediation of toxic metals – Using plants to clean-up the environment. Wiley, New York, pp. 89–106.

-Gichner, T., Patkova, Z., Szakova, J., and Demnerova, K., 2006. Toxicity and DNA damage in tobacco and potato plants growing on soil polluted with heavy metals. Ecotoxicology and Environmental Safety, 65: 420-426.

-Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. Fourth edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, 505 pp

-Kamalpour, S., Motesharezadeh, B., Alikhani, H. A., and Zarei, M., 2014. Effects of some biotic factors in lead phytoremediation and phosphorous uptake by Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*). Iranian Journal of Forest, 5(4); 470-457.

-Levy, DB., Redente, EF., and Uphoff, GD., 1999. Evaluating the phytotoxicity of Pb–Zn tailings to big bluestem (*Andropogon gerardii* Vitman) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Soil Science, 164:363–375

-Mattina, M.J.I., Lannucci-Berger, W., Musante, C., and White, J.C., 2003. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. Environmental Pollution, 124: 375-378.

-Mughini, G., Alianiello, F., Benedetti, A., Mughini, L., Gras, M.A., and Salvati, L., 2013. Clonal variation in growth, arsenic and heavy metal uptakes of hybrid Eucalyptus clones in a Mediterranean environment. Agro forest System, 87: 755-766.

-Pulford, I.D. and Watson, C. 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees- a review. Environment International. 29: 529-540.

-Rad, M.H., Sardabi, H., Soltani, M., and Ghelmani, S.V., 2010. Comparison of different eucalyptus species and provenances in respect to their vegetative growth, irrigated by wastewater of Yazd City of Iran. Proceedings of Second Seminar on: the Position of Water Reuse and Effluents on Water Resources Management: Applications in Agriculture and Landscape Irrigation, 20 October, Mashhad, Iran, Abstracts: 105-106.

www.SID.ir