بررسی توان گیاه پالایی *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. به عناصر سرب، کادمیم، مس و روی

*آناهیتا شریعت، محمد حسن عصاره، عباس قمری زارع

موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران، ایران

چکیده

عناصر سنگین از جمله کادمیم، سرب، مس و روی که در نتیجه فعالیت‌های عمده شهری و صنعتی و کشاورزی تولید می‌شوند باعث آلودگی وسیعی از آبها و خاکهای جهان شده‌اند. با توجه به اینکه روشهای سنتی برداشت عناصر سنگین از خاک و آب بسیار پرهزینه و دشوار و اغلب ناموفق است، لزوم استفاده از گیاهان کاهش دهنده آلودگی خاک و آب ضروری است. از طرفی با توجه به نیاز روزافزون جنگلکاری در ایران، لازم است که تحقیقی جامع بر روی گونه‌های اکالیپتوس و نقش این گیاهان در جذب عناصر سنگین انجام شود. به این منظور مطالعه‌ای در مناطق آلوده اکالیپتوس‌کاری شده جنوب تهران و استان خوزستان انجام گرفت و غلظتهای مس، روی، سرب و کادمیم در برگها و خاک پای درختان اکالیپتوس توسط دستگاه پلاسمای جفت شده القایی تعیین گردید. نتایج بدست آمده بر اساس تجزیه مرکب داده‌ها در چند منطقه انجام گرفت و نشان داده شد که مقدار عناصر روی، سرب و کادمیوم در مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. همچنین بین نمونه‌های خاک و گیاه و اثر متقابل نوع نمونه و مناطق در مورد عناصر روی و سرب اختلاف معنی‌داری در سطح (P<۰/۰۱) وجود داشت. حداکثر مقادیر مس، روی ، کادمیم و سرب در خاک به ترتیب ۲/٦±۱۷۳، ۲/۷±۱۲۳، ۰/۰۲۵±۱/٤٦ و ۲/٦±۱۵۱ و در گیاه ۰/۷٦±۳۳، ٦/۳±۳۲۷، ۰/۰۵±۲/۹ و ٤/۱±۲۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک بود که بیانگر این است که اکالیپتوس توان انباشته سازی عناصر سرب و روی را دارد از طرف دیگر با توجه به اینکه عناصر سرب و روی به مقدار زیادی در اثر ترافیک و فعالیت‌های صنعتی بوجود می‌آیند، در نتیجه می‌توان از این گیاه جهت کاهش آلودگیهای محیط زیست استفاده نمود.

کلمات کلیدی: اکالیپتوس، روی، سرب، کادمیوم، گیاه پالایی، مس

مقدمه

عناصر سنگین از جمله کادمیم، کرم، مس، سرب، آرسنیک، نیکل و روی که در نتیجه فعالیت‌های عمده شهری و صنعتی و کشاورزی تولید می‌شوند، باعث آلودگی مناطق وسیعی از جهان شده‌اند. این فلزات به طور نامحدودی در خاک پایدارند، از اینرو به عنوان یک تهدید فزاینده برای سلامت انسان و کشاورزی مطرح هستند (Leyval et al., 1995; Waisberg et al., 2003). در غلظت‌های پایین فلزات سنگین از جمله آهن، منگنز، روی، مس، نیکل و مولیبدن از ریز مغذی‌های ضروری برای گیاه هستند (Taiz & Zeiger, 1998).

*e.mail:shariat@rifr-ac.ir

در حالی که غلظت زیاد عناصر سنگین در خاکهای کشاورزی منتج به مخاطره افتادن بالقوه سلامت انسان و اثرات زیانبار بر اکوسیستم‌های خاک می‌شود (McLaughlin et al., 1999; An et al., 2004). عناصری از جمله آرسنیک، کادمیم، سرب، جیوه، نیکل و غیره یک طیف وسیعی از مسمومیت که شامل تخدیر اعصاب، مسمومیت کبدی، مسمومیت کلیه، جنین ناقص الخلقه و اثرات موتاژنیک را ایجاد می‌کنند (Bucheim et al., 1998; Lai et al., 1999).

گیاه پالایی یک تکنولوژی جدید برای پاکسازی خاکها و سیستم‌های آبی از فلزات سنگین آلاینده است (Clements et al., 2002). از فواید گیاه پالایی این است که حاصلخیزی خاک بعد از برداشت فلزات سنگین تغییری نمی‌کند البته تعداد زیادی از این تکنیکهای مهندسی بدلیل محدودیت‌های اقتصادی و منطقی قابل اجرا نمی‌باشد (Illera et al. 2004) تاثیر و کارایی گیاهان انباشت کننده فلزات سنگین به مقدار زیادی بستگی به خصوصیات گیاهان از جمله سرعت رشد، بیوماس زیاد، دامنه تحمل و تجمع عناصر سنگین در خاک دارد. اخیرا دو نوع از گیاهان در آزمایشگاه و گلخانه مورد بررسی قرار گرفته است: ۱) نوع اول: گیاهانی که به طور طبیعی انباشت کننده فلزات هستند مثل *Thlaspi caerulescens* که قادر است روی را به مقدار بیشتر ۱۰۰۰۰ $mg.kg^{-1}D.W.$ در بیوماس هوایی خود ذخیره کند. ۲) نوع دوم: گیاهان متحمل فلزات از جمله *Brassica juncea* که مقادیر زیادی از فلزات آلاینده را از خاک جذب می‌نمایند ولی در مقایسه با گروه اول مقادیر بسیار کمتری از فلزات را جذب می‌کنند. نامگذاری این گروه در مقایسه با گیاهان حساس به فلزات سنگین که حتی در مقادیر بسیار ناچیز واکنش نشان می‌دهند صورت گرفته است (Yang et al., 2002; Clemens et al., 2002). غلظت فلزات در خاک از حداقل ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تا بیشتر از ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند که در نتیجه خصوصیات زمین شناسی خاک یا در نتیجه فعالیتهای انسان متغیر است (Blaylock & Huang, 2000).

از آنجایی که گیاه اکالیپتوس دارای پتانسیل عمده در احیای زمینهای بی‌حاصل و حتی زمینهای غرقابی و در درجه بعدی به طور وسیعی برای تولید ماده خام صنایع چوبی، سوخت چوبی و بعنوان علوفه استفاده می‌شود و از طرفی دارای بیوماس بالا و سرعت رشد بالایی نیز می‌باشد در این تحقیق از این گیاه استفاده گردید. در حال حاضر مطالعات بسیار محدودی در زمینه جذب عناصر سنگین در اکالیپتوس انجام شده است و در هیچکدام هیچ رابطه‌ای بین میزان جذب عناصر سنگین در خاک و گیاه ارائه نگردیده است (Orlic et al., 2002; Hulm & Hill, 2004).

از اهداف این تحقیق بررسی میزان و درجه تحمل اکالیپتوس در مقابل عناصر مس، روی ، سرب و کادمیم و تعیین کمیت این فلزات آلاینده در خاک و در گونه *E.camaldulensis* و تعیین روابط بین غلظت فلزات در خاک و در گیاه می‌باشد. از اهداف فرعی این تحقیق بررسی خطی بودن رابطه بین محتوای خاک و غلظت این عناصر درگیاه است به‌طوری‌که بتوان رابطه بین خاک و گیاه را برای عناصر دیگر که در گیاه تجمع می‌یابند تعمیم داد. از اهداف دیگر این تحقیق این است که آیا می‌توان اکالیپتوس را به عنوان یکی از گیاهانی که توانایی انباشته سازی عناصر سنگین را دارد معرفی نمود؟

مواد و روشها

مناطق نمونه‌برداری

جهت ارزیابی آلودگی ایجاد شده در نزدیکی کارخانجات صنعتی و ترافیک اطراف اتوبانها و مناطق شهری مطالعه‌ای در مناطق آلوده اکالیپتوس‌کاری شده جنوب تهران و استان خوزستان انجام گرفت با توجه به اینکه اکالیپتوس بومی استرالیا و از گیاهان وارداتی ایران می‌باشد، مناطق اکالیپتوس‌کاری شده در ایران وسعت چندانی ندارد و از آنجائیکه هدف از این مطالعه بررسی میزان جذب عناصر سنگین و توانایی تحمل این عناصر می‌باشد لذا در ابتدا مناطق اکالیپتوس‌کاری شده که نزدیک به کارخانجات و تاسیسات صنعتی بودند شناسائی و نمونه‌برداری انجام گردید. استان

خوزستان هم از نظر شرایط اقلیمی گرمسیری بودن، خاک لب شور مناسب کاشت اوکالیپتوس می‌باشد بطوریکه تاکنون در نقاط مختلف آن درختان گونه‌های اوکالیپتوس به وفور کشت شده است. از طرف دیگر صنایع بزرگ و عظیمی‌چون پالایشگاه نفت آبادان و کارخانجات صنعتی نظیر گروه ملی صنعتی فولاد ایران و کارخانه صنایع فولاد خوزستان در اطراف شهر اهواز از منابع عظیم آلوده‌کننده می‌باشند. جنوب استان تهران (جنوب شهرری) نیز از مناطق دیگر آلوده می‌باشد که اکالیپتوس‌کاری شده است. جهت آبیاری اکالیپتوس‌هایی که در وسط بلوارها کاشته شده‌اند از آب تانکر استفاده می‌شود ولی بخش دیگری از اکالیپتوسها با زه‌آب فاضلاب شهری که دارای انواع آلودگی می‌باشد، آبیاری می‌شوند. لیست مناطق نمونه‌برداری شده در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱: لیست مناطق نمونه‌برداری شده استان خوزستان و جنوب تهران

ردیف	نام منطقه	تعداد مکان نمونه‌برداری شده (هر مکان ۳ تکرار)	ردیف	نام منطقه	تعداد مکان نمونه‌برداری شده (هر مکان ۳ تکرار)
۱	گروه ملی نورد اهواز (از مکانهای مختلف که شامل کارخانه میلگرد ، فولاد ، فاضلاب کارخانه ، کوره و ... بودند نمونه‌برداری گردید)	۹	۹	صالح آباد، بزرگراه آزادگان	۱
۲	پالایشگاه نفت آبادان ،تولید روغن‌های صنعتی	۳	۱۰	کمربندی جنوب شهرری وسط بلوار	۱
۳	روستای سلطانیه	۱	۱۱	عشق آباد شهر ری	۱
٤	کارخانه صنایع فولاد اهواز	۳	۱۲	داخل شهرک صنعتی مدرس	۱
٥	شنزارهای مسیر خسرج	٤	۱۳	منطقه بالادست دریاچه عشق آباد	۱
٦	ایستگاه تحقیقات بذر و نهال اهواز - ٥ کیلومتری کارخانه نورد اهواز	۲	۱٤	کمربندی جنوب شهرری، منطقه قمصر	۱
۷	اهواز خ شریعتی مقابل سینما آفریقا	۱	۱٥	حاشیه بزرگراه تهران کرج، کنار شهرک آپادانا	۱
۸	اهواز، خ طالقانی، جنب حسینیه اعظم	۱	۱٦	خروجی اتوبان تهران کرج به سمت آزادی	۱

نمونه برداری از درختان

ابتدا درختان در نزدیکی مناطق آلوده و مناطق شاهد به صورت تصادفی انتخاب گردیدند. نمونه اصلی برداشت شده همه از برگهای سال قبل که مدت طولانی در معرض هوای آلوده بودند و در ثانی مدت طولانی از شیره گیاهی استفاده کرده بودند. برگهای سال جدید کاملاً از نظر رنگ از برگهای سال قبل قابل تفکیک می‌باشند و دارای رنگ روشنتری هستند، همچنین جهت تشخیص برگهای تازه از برگهای قدیمی از روی ساقه نیز می‌توان تشخیص داد به‌طوری‌که ساقه سال جدید دارای رنگ کاملاً روشنتری نسبت به سال گذشته می‌باشد. فرض بر آن است که در مدت طولانی عمر برگها مواد آلاینده حاصل از منابع صنعتی احتمالاً جذب شده از طریق شیره گیاهی که از خاک جذب شده است و همچنین مواد معلق در هوا به حد قابل توجهی در برگها جذب و ذخیره شده است و هر گونه اثری که می‌بایست داشته باشند اعمال گردیده است. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردیده و با اسید کلریدریک ۰/۰۱ نرمال و آب مقطر شستشو داده شدند. آنگاه به مدت ٤٨ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. بعد نمونه‌ها آسیاب گشته و جهت عصاره‌گیری آماده شدند. عصاره‌گیری به روش اکسیداسیون تر با استفاده از اسید نیتریک، اسید کلریدریک و آب اکسیژنه صورت پذیرفت (Westerma, 1990).

نمونه برداری از خاک

نظر به اینکه بطور طبیعی برای تشکیل هر سانتی‌متر خاک زراعی ۵۰۰ سال وقت مورد نیاز است در نتیجه قسمت اعظم آلودگیهای صنعتی که از طریق دود و گرد و غبار در هوای اطراف کارخانه‌ها پراکنده می‌شود در سطح خاک دارای بیشترین آلودگی می‌باشد در نتیجه نمونه برداری خاک از

سطح خاک تا عمق ۲۰ سانتیمتر و نقاط مختلف اطراف درختی که از آن نمونه تهیه شده، برداشت و سپس خاکها به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد، به مدت ٤٨ ساعت خشک گردیدند. پس از آن خاکها را کاملاً کوبیده و از الک ۵۰ مش عبور داده شدند. آنگاه ۱۰ گرم خاک توزین گردیده و به آن ۲۰ سی‌سی DTPA (دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید) اضافه شد. بعد از دو ساعت عصاره بدست آمده با کاغذ صافی واتمن سایز ٤٢ صاف گردید و میزان غلظت عناصر نمونه‌ها توسط دستگاه ICP (Inductively Coupled Plasma مدل GBC Integre XL ساخت استرالیا) اندازه‌گیری شد.

روش‌های محاسبه آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق تجزیه مرکب داده‌ها در چند منطقه انجام گرفت. مقایسه میانگین مقدار عناصر نمونه‌ها در مناطق مختلف نیز با استفاده از روش دانکن در سطح $P\leq 0.01$ در نرم افزار SPSS 13 انجام گردید. همچنین جهت ترسیم مقایسه میزان عناصر سنگین در نمونه‌ها در مناطق مختلف نمونه‌برداری نیز از نرم افزار فوق استفاده گردید. روابط رگرسیونی بین جذب مقدار عناصر مس، روی، سرب و کادمیم در خاک و گیاه اکالیپتوس با استفاده از نرم افزار CurveExpert 1.3 تعیین و ترسیم گردید.

نتایج

جدول ۲ میانگین مربعات حاصل از تجزیه مرکب داده‌ها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تجزیه مرکب داده‌ها یکی از روش‌های مورد استفاده در طرح آزمایشات کشاورزی می‌باشد که در مواقعی که مناطق به عنوان متغیرهای تصادفی هستند، از آن استفاده می‌شود. همانطور که نتایج نشان دادند بین مناطق نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار روی، کادمیم و سرب وجود دارد ($P<۰/۰۱$). در این طرح بلوک یا همان تکرار در داخل منطقه قرار می‌گیرد (آشیانه می‌نماید) و منطقه در داخل پرانتز قرار می‌گیرد. اثرات تکرار (منطقه) در مورد هیچیک از عناصر به غیر از عنصر سرب معنی‌دار نبود به این معنی که در میان تکرارهای هر منطقه هیچ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد($P>۰/۰۵$). در میان نمونه‌های خاک و نمونه‌های گیاه نیز اختلاف معنی‌داری برای عناصر روی، کادمیوم و سرب مشاهده شد. معنی‌داری اثر متقابل بین نمونه (خاک یا گیاه) و منطقه در مورد عناصر روی، کادمیوم و سرب به این معنا می‌باشد که در میان عناصر نمونه‌های خاک و گیاه در مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد و در نتیجه در بعضی از مناطق مقدار آلودگی محیط بسیار بالا می‌باشد.

علاوه بر نمونه‌های خاک و گیاه نیز ۳ نمونه آب نیز برداشت شد که شرح آن در جدول شماره ٤ داده شده است. لازم به ذکر است که آب دریاچه عشق آباد در جنوب شهرری حاصل از زه‌آب فاضلاب شهر تهران می‌باشد و سرشار از آلودگیهای مختلف می‌باشد، در ضمن از این آب برای سبزیکاری استفاده فراوان می‌شود به همین منظور جهت تعیین اینکه آیا این آب خطرات زیست محیطی بالایی دارد یا خیر، آب این دریاچه نیز مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ٤). مقدار آستانه آلودگی برای عناصر مس، روی، سرب و کادمیوم در آب آشامیدنی توسط EPA (آژانس حفاظت از محیط زیست) در جدول شماره ٤ نشان داده شده است. مقایسه مقدار آستانه آلودگی و آب دریاچه عشق آباد نشان داد که از نظر مقدار عناصر مس، روی و کادمیوم خطری ندارد ولی از نظر مقدار سرب بیشتر از حد آستانه است. همچنین آب تانکر شهرک صنعتی مدرس که مصرف آشامیدنی دارد از نظر مقدار سرب و کادمیوم بالاتر از مقدار استاندارد جهانی بود.

در جدول شماره ۵ مقدار حداقل عناصر مس، روی، کادمیم و سرب و حداکثر این عناصر در خاک و گیاه با توجه به نتایج مناطق مختلف نشان داده شده است. در شکل شماره ۱ نیز مقدار هر یک از عناصر سنگین در گیاه در هر منطقه به طور جداگانه نمایش داده شده است. شکل شماره ۲ نیز همانند شکل ۱می‌باشد ولی در مورد داده‌های خاک ترسیم گشته است. از روی این شکلها می‌توان آلوده‌ترین مناطق را برای هر یک از عناصر نشان داد.

در جدول شماره ٦ همبستگی بین مقادیر عناصر مس، روی، کادمیم و سرب در داخل گیاه بررسی شده است و نشان داده شده است که عنصر روی با عناصر مس، سرب و کادمیم همبستگی معنی‌دار دارد به این معنی که افزایش یکی باعث افزایش با کاهش جذب دیگری در گیاه می‌شود. از طرف دیگر بین روی و کادمیم همبستگی منفی معنی‌دار وجود دارد در حالیکه بین روی و مس همچنین بین روی و سرب همبستگی مثبت معنی‌دار وجود دارد. در شکل شماره ۳ روابط بین جذب عناصر سنگین مس، روی، سرب و کادمیم در خاک و گیاه اکالیپتوس بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم با استفاده از عصاره بدست آمده از ماده خشک نشان داده شده است. در شکل الف رگرسیون چند نمایی میان غلظت عنصر مس در خاک و گیاه نشان داده شده است:($Y= a= 2.92(1-e^{-0.124x})$ در شکل ب رگرسیون خطی میان غلظت عنصر روی در خاک و گیاه با معادله $Y=0. 278X-3.536$ و در شکل ج رگرسیون چند نمایی میان غلظت عنصر کادمیم در خاک و گیاه: ($Y=-6.39 \ (1-e^{0.013x})$ و در شکل د رگرسیون خطی میان غلظت عنصر سرب در خاک و گیاه: $Y=0.027X+5.52$ نمایش داده شده است.

جدول ۲: میانگین مربعات حاصل از تجزیه مرکب داده‌ها در مکان‌های مختلف بر ٤ عنصر مس، روی، سرب و کادمیم

	مس	روی	کادمیم	سرب
منطقه	٥٤١/٤ ns	٨٥٣٨/٦**	٠/٣٢**	٦٧٦٢/٨**
تکرار (منطقه)	٨/٦ ns	٦٠/٢ ns	٠/٠١٢ ns	٧١/٩ **
نمونه	٥٥٦/٧ ns	١٢٤٦٨٢/٥**	٠/٠٨٧ ns	٦٢٥٣**
نمونه*منطقه	١١٦/٥ ns	٤٤٩٧/٤**	٠/٥٦ **	٦٧٤٠/٩**

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد ns: معنی‌دار نیست

جدول ۳: مقایسه میانگین مقدار عناصر نمونه‌ها (میلی‌گرم در کیلوگرم) در مناطق مختلف به روش دانکن

عناصر / مناطق	Cu	Zn	Cd	Pb
گروه ملی نورد	٢٠ ±٥a	٨٨ ±٧/٧ab	٠/١٣ ±٠/٠٣cd	١١/٦ ±١/٣ef
پالایشگاه نفت آبادان	٨ ±١/٦a	٥٢ ±١٢/٣bc	٠/١٦ ±٠/٠٤bcd	١١/٩ ±١/٦ef
روستای سلطانیه	٢/٧ ±١/٣a	٤٧ ±١٥bc	٠/٠٤ ±٠/٠٣d	٠/٦٦±٤/٧h
کارخانه صنایع فولاد اهواز	٤/٢ ±٠/٩٦a	٧٧ ±١٩ab	٠/٤٦ ±٠/١٥ab	٥/٩ ±١/٢fgh
شنزارهای مسیر خسرج	٣/٨ ±١/٠٨a	٢٧ ±٥/٦c	٠/٥ ±٠/٠٧ab	٥/٥ ±٠/٨٩fgh
ایستگاه تحقیقات بذر و نهال اهواز	٩/٠٧ ±٣/٦a	٢٥ ±١٠c	٠/٢٦ ±٠/٠٢bcd	٢/٤ ±٠/٣٣gh
اهواز خ شریعتی	٩/٥٥ ±١/٨a	٤٥ ±٥bc	٠/٠٥±٠/٠٢ d	٤١/٩±١٤d
اهواز، خ طالقانی	٧/٧٢ ±١/٦a	٢١ ±٤/٧c	٠/٢٣ ±٠/٠٤bcd	١٥/٣ ±٣e
صالح آباد، بزرگراه آزادگان	٥/٥٤ ±١/٦a	١١٥ ±٤٨/٥a	٠/٠٦ ±٠/٠٣d	٩٨/٤ ±٤٠a
کمربندی جنوب شهرری	١٥/٠٣ ±٣/٥a	٥٢ ±٤/٥bc	٠/١٠ ±٠/٠٥cd	٧٦/٩ ±٢٥b
عشق آباد شهر ری	٣/٣٨ ±١/٥a	٦٦ ±٢٣/٤bc	٠/٦٥±٠/٢٩ a	٥١±١٨c
داخل شهرک صنعتی مدرس	٣/٩٩ ±١/٤a	٢٩ ±١١c	٠/١١ ±٠/٠٥cd	٨٠ ±٣٠b
منطقه بالادست دریاچه عشق آباد	٣/٠٥ ±١/٠٦a	٢١ ±٩/٤bc	٠/٠٤ ±٠/٠٢d	١٥/٢ ±٥/٥e
کمربندی جنوب شهرری، منطقه قمصر	٤/٢٧ ±١/٠٤a	٢٠ ±٨/٧c	٠/٠٤ ±٠/٠٢d	٩/٢ ±١/٦efg
حاشیه بزرگراه تهران کرج، کنار شهرک آپادانا	٣/٦٥ ±١/٢١a	٢٦ ±٨/٩c	٠/٠٥±٠/٠٢٢ d	٥/٧±٢/٠٥fgh
خروجی اتوبان تهران کرج به سمت آزادی	٣/٨٨ ±٠/٦٣a	٢٧ ±٥/٩c	٠/٠٤ ±٠/٠١٩d	١٢ ±١/٧ef

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشابه هستند بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد نمی‌باشد. میانگین خطای استاندارد به صورت X̄±SE نشان داده شده است.

جدول ٤: مقدار عناصر سنگین در آب سه منطقه مورد بررسی

منطقه نمونه‌برداری	Cu ($mg.lit^{-1}$)	Zn ($mg.lit^{-1}$)	Cd ($mg.lit^{-1}$)	Pb ($mg.lit^{-1}$)
مقدار آستانه آلودگی در آب آشامیدنی (EPA)	۱	۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱
آب تانکر (آب آشامیدنی) شهرک صنعتی مدرس	۰/۱۰٦۷	۰/۰۲۳۵	۰/۰۲۷۷	۰/۲۷۳
آب فاضلاب رنگی شهرک صنعتی مدرس	۰/۱۱۹۳	۰/۰۹۳۷	۰/۰	۰/۱۷۳
آب دریاچه عشق آباد	۰/۰٦۹۰	۰/۰۱۱۷	۰/۰	۰/۱۰۸

جدول ۵: مقدار حداقل و حداکثر عناصر سنگین در تمامی مناطق مورد بررسی (بر حسب $mg.kg^{-1}$ D.W.)

	حداقل در خاک	حداکثر در خاک	حداقل در گیاه	حداکثر در گیاه
مس	۰/۱٦±۲/٦	۱۷۳±۲/٦	۳/٦±۰/۷٦	۳۳±۰/۷٦
روی	۰/۷±۲/۷	۱۲۳±۲/۷	۲۳±٦/۳	۳۲۷±٦/۳
کادمیم	۰/۰۵±۰/۰۲۵	۱/٤٦±۰/۰۲۵	۰	۲/۹±۰/۰۵
سرب	۰	۱۵۱±۲/٦	۰	۲۲۰±٤/۱

میانگین خطای استاندارد به صورت X̄±SE نشان داده شده است.

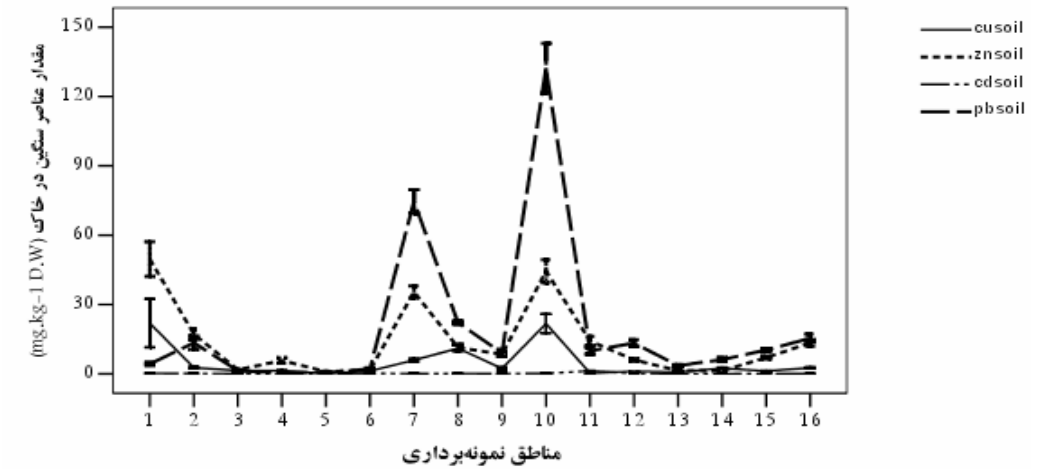
جدول ٦: همبستگی بین مقادیر عناصر مس،روی، کادمیم و سرب در داخل گیاه

عناصر	مس	روی	کادمیم	سرب
مس	۱	۰/۲۲*	-۰/۱۲ ns	-۰/۱۲ ns
روی	۰/۲۲*	۱	-۰/۲۱*	۰/۲۹**
کادمیم	-۰/۱۲ ns	-۰/۲۱*	۱	-۰/۱٦ ns
سرب	-۰/۱۲ ns	۰/۲۹**	-۰/۱٦ ns	۱

**: معنی‌دار در سطح ۱ درصد *: معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns: معنی‌دار نیست

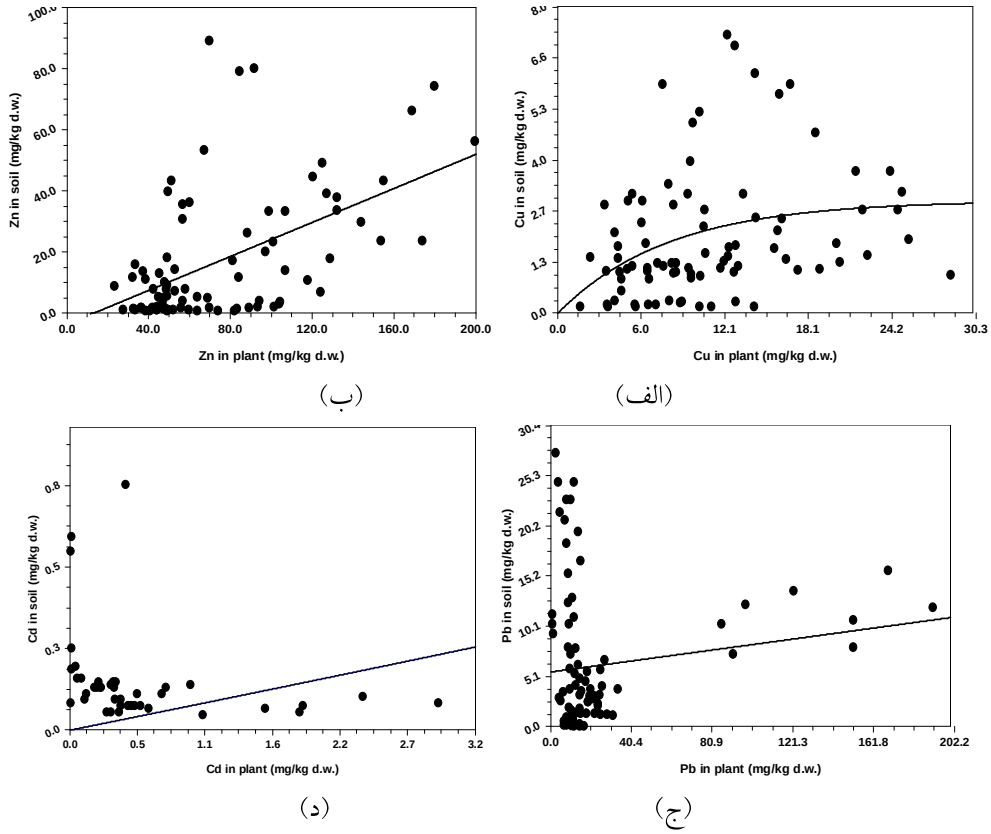
شکل ۱: مقدار عناصر مس، روی، سرب و کادمیم در برگهای گیاه اکالیپتوس در ١٦ منطقه نمونه‌برداری

(در جدول شماره ۱ نام مناطق ذکر شده است) (میانگین خطای استاندارد در بالای میله‌ها به صورت (I) نشان داده شده است).



شکل ۲: مقدار عناصر مس، روی، سرب و کادمیم در خاک ۱۶ منطقه نمونه‌برداری

(در جدول شماره ۱ نام مناطق ذکر شده است) (میانگین خطای استاندارد در بالای میله‌ها به صورت (I) نشان داده شده است).



شکل ۳: روابط بین جذب عناصر سنگین مس، روی، سرب و کادمیم در خاک و گیاه اکالیپتوس بر حسب .mg.kg-1D.W

الف) رگرسیون چند نمایی میان غلظت عنصر مس در خاک و گیاه: $Y= a= 2.92(1-e^{-0.124x})$ (S=0.65, r= 0.72)

ب) رگرسیون خطی میان غلظت عنصر روی در خاک و گیاه: Y=0. 278X-3.536 (S=2.21, r= 0.74)

ج) رگرسیون چند نمایی میان غلظت عنصر کادمیم در خاک و گیاه: $Y=-6.39\ (1-e^{0.013x})$ (S=0.31, r= 0.81)

د) رگرسیون خطی میان غلظت عنصر سرب در خاک و گیاه: Y=0.027X+5.52 (S=1.81, r= 0.64)

بحث

مس و روی جز عناصر ضروری برای گیاه محسوب می‌شوند و هر دو عنصر در مناطقی که به وفور وجود دارند بیشتر جذب می‌شوند. مقدار جذب Zn در چند مکان از جمله منطقه شهرری بیشتر از ۱۵۰ $mg.kg^{-1}$ خاک و در حقیقت در حد سمیت گیاهان بود (بر طبق جدول شماره ۷ اگر مقدار روی بیش از ۱۰۰ppm باشد در گیاه باعث ایجاد سمیت می‌کند) ولی از آنجائیکه هیچگونه علائم سمیت در این گیاهان وجود نداشت در نتیجه بیانگر این موضوع است که اکالیپتوس توانسته است این عنصر را در خود انباشته نماید. تجمع زیستی یک عنصر متاثر از حضور عناصر دیگر می‌باشد که منتج به جلوگیری از افزایش تجمع زیستی می‌گردند (An et al., 2004). مطالعات زیادی بیانگر اثرات حضور یک فلز بر فلزات دیگر می‌باشد (Peralta et al., 2002). این تحقیق نشان داد که عناصر روی و سرب بر یکدیگر اثر می‌گذارد، همچنین در حضور مقادیر سرب از مقدار کادمیوم جذب شده کاسته می‌شود. تحقیقات دیگر محققین نیز مبین این موضوع می‌باشد که افزایش مقادیر مس، روی، سرب و کادمیم همبستگی معنی‌داری با یکدیگر دارند به این معنا که افزایش یکی از عناصر در شاخ و برگها باعث کاهش جذب و یا عدم جذب عناصر دیگر و یا افزایش جذب می‌شود (John et al., 2008; Pugh et al., 2002; An et al., 2004; Grytsyuk et al., 2006). همچنین همبستگی بالایی نیز بین مقدار عناصر سنگین در خاک و در گیاه در محصولات علوفه‌ای، غلات و بقولات دیده شده است (Grytsyuk et al., 2006; Golovaty, 2002; Ovcharenko et al., 1996).

جدول ۷: دامنه عمومی برای عناصر کمیاب سرب، کادمیم و عناصر غذایی کم مصرف مس و روی در گیاهان بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

عنصر	نرمال	کمبود	سمیت
سرب	۰/۵-۱۰۰ [a]	-	۳۰-۳۰۰[a]
کادمیم	۰/۰۵-۲[a]	-	۵-۷۰۰ [a]
			۳-۱۰[c]
مس	۳-۳۰[a]	<۱-۵ [a]	۲۰-۱۰۰[a]
		۱ -۳/۵[b]	>۱۵-۳۰[b]
			۱۵-۲۰[c]
روی	۱۰-۱۵۰[a]	<۱۰[a]	>۱۰۰[a]
		۱۵-۳۰[b]	۲۰۰-۵۰۰[b]
			۲۰۰-۳۰۰[c]

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

از آنجائی که سرب و کادمیم جز عناصر ضروری برای گیاهان نمی‌باشند و معمولا به مقدار کمی در خاک وجود دارند در نتیجه سطوحی که در اندامهای هوایی وجود دارد نشانگر خوبی از دسترسی گیاه به این فلزات می‌باشد (Webber, 1981; Pugh et al., 2002). کادمیم و روی هر دو رفتارهای شیمی خاک یکسانی دارند بنابراین سنگ معدنی که مقادیر بالایی از روی دارد معمولا کادمیم بالایی نیز دارد (Pierzynski, 1994). در حقیقت افزایش محیطی سطوح کادمیم نیز باعث افزایش روی نیز می‌شود. این موضوع به خوبی در گروه ملی نورد اهواز در نمونه‌های جمع‌آوری شده در این پژوهش بررسی گردید. همچنین بر طبق تحقیقی که در مورد گیاه *Salix* انجام شد (Kwong et al., 1997)، نشان داد که این گیاه توان جذب کادمیم را دارد و از طرفی گونه غالب در اکوسیستم می‌باشد در نتیجه باعث افزایش کادمیم در وحوش (به طور مثال گوزنها، باقرقره، خرگوش، گرگ) شده است. در نتیجه از نظر زیست محیطی نگران کننده می‌باشد.

جذب سرب و کادمیم در بعضی از گیاهان متاثر از یکدیگر می‌باشد به این معنی که زمانیکه هر دو آنها به مقدار قابل توجهی در خاک هستند متاثر از یکدیگر می‌باشند. این تاثیر در صورتی که باعث کاهش جذب فلز گردد مفید است ولی زمانی که باعث افزایش جذب عنصر گردد مضر است. در مطالعه‌ای که بر روی اثر متقابل سرب و کادمیم در خاکهای شنی در گیاه *Cynodon nlemfluensis* انجام شد نشان داده شد که حضور هر دو عنصر سرب و کادمیم باعث اثرات زیان‌آور در افزایش جذب کادمیم در این گیاه می‌شود (Madyiwa et al., 2004). در مناطق مورد بررسی مقدار سرب در اکالیپتوس‌های بزرگراه آزادگان (جنوب تهران) و شهرک صنعتی مدرس (جنوب تهران) در حد سمیت گیاه بود در حالی که گیاهان این مناطق سرحال بودند، معیار سرحال بودن این گیاهان خصوصیات مورفولوژیکی و صفات ظاهری از جمله سطح برگ‌ها، شادابی و سرسبزی و عدم وجود برگ‌های خشکیده می‌باشد، در نتیجه می‌توان *Eucalyptus camaldulensis* را به عنوان گیاه انباشته‌ساز سرب نیز معرفی نمود. در مورد کادمیم تنها در شنزارهای خسرج مقدار کادمیم موجود در گیاه اکالیپتوس بیشتر از حد سمیت گیاه بود.

نتیجه‌گیری نهایی

از نتایج این تحقیق ارزیابی امکان احیای مناطق آلوده به عناصر سنگین توسط اکالیپتوس بود که با توجه به وسعت مناطق آلوده صنعتی، پتروشیمی، نیروگاهها و مناطق آلوده وسیع شهری نیازمند به کاشت گیاهان سریع الرشد و مقاومی چون اکالیپتوس می‌باشیم. از طرفی با توجه به آلودگی بسیار بالای شهرهای بزرگی چون تهران، اصفهان، شیراز و ...لزوم استفاده از گیاه همیشه سبز اکالیپتوس کاملاً مشخص است. از نتایج دیگر این تحقیق بدست آوردن روابط بین جذب عناصر سنگین در محیط و گیاه به منظور ارزیابی توان بالقوه ریسک کاشت اکالیپتوس در مناطقی با خطر افزایش آلاینده‌ها می‌باشد.

References

An, Y.J., Kim Y.M., Kwon T.I. and Jeong S.W. (2004) Combined effects of copper, cadmium, and lead upon *Cucumis sativus* growth and bioaccumulation. Sci. Total Environ., *326*: 85–93.

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

Blaylock, M.J. and Huang, J.W. (2000) Phytoextraction of metals, In: Raskin, I. and Ensley, B.D. phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment, John Wiley and Sons, Inc, Torento, Canada, 303 p.

Bucheim, K., Stoltenburg-Didinger, G., Lilienthal, H. and Winnike, G. (1998) Miopathy: a possible effect of chronic low level lead exposure, Neurotoxicology, 19: 539-546.

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

EPA (2003) Environmental protection agency, 816-F-03-016, June 2003.

Golovaty, S.Y. (2002) Heavy metals in agroecosistems, Minsk, Russia, pp: 92-119.

Grytsyuk, N., Arapis, G., Perepelyatnikova, L., Ivanova, T. and Vynogradska, V. (2006) Heavy metals effects on forage crops yields and estimation of elements accumulation in plants as affected by soil. Science of Total Environment, 354: 224-231.

Hulme, K. A. and Hill, S. M. (2004) Seasonal element variations of Eucalyptus camaldulensis biogeochemistry and implications for mineral exploration: an example from teilta, Curnamona Province, Western NSW. Regolith. CRC LEME, pp: 151-156.

Illera V, Garrido F, Serrano S and Garc?a-Gonz?lez M.T. (2004) Immobilization of the heavy metals Cd, Cu and Pb in an acid soil amended with gypsumand lime-rich industrial by-products. European Journal of Soil Science 55, 135–145.

John R., Ahmad, P., Gadgil, K. and Sharma, S. (2008) Effect of cadmium and lead on growth, biochemical parameters and uptake in *Lemna polyrrhiza* L. PLANT SOIL ENVIRON., *54* (6): 262–270

Kwong, Y.T.J., Roots, C.F., Roach, P. and Kettley, W. (1997) Post-mine, metal transport and attenuation in theb Keni Hill mining district,

central Yukon, Canada. Environ. Geol, 30(2):98-107.

Lai, J.C., Minski, M.J., Chan, A.W., Leung, T.K. and Lim, L. (1999) Manganese mineral interactions in brain, Neurotoxicology, 20:433-444.

Levy, D.B., Redente, E.F. and Uphoff, G.D. (1999) Evaluating the phytotoxicity of Pb-Zn tailings to big bluestem (Andropogon gerardii vitman) and swichgrass (Panicum virgatum L.),. Soil Science, 164(6):363-375.

Leyval, C., Singh, V.B.R. and Joner, E.J. (1995) Occurrence and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in some Norwegian soils influenced by heavy metals and soil properties. Water and Air Soil Pollut, 84:201-216.

Madyiwa, S., Chimbari, M.J. and Schutte, F. (2004) Lead and cadmium interactions in Cynodon nlemfuensis and sandy soil subjected to treated wastewater application under greenhouse conditions, Physics and Chemistry of the Earth, 29: 1043-1048.

McLaughlin, M.J., Parker, D.R. and Clarke, J.M. (1999) Metals and micronutrients- food safety tissues, Field crops Research, 60:143-163.

Orlic, I., Siegele, R., Menon, D.D., Markich, S.J., Cohen, D.D., Jefree, R.A., McPhail, D.C., Sarbutt, A. and Stelcer, E. (2002) Heavy metal pathways and archives in biological tissue. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 190: 439-444.

Ovcharenko, M.M., Grafskaja, G.A., Shilnikov, I.A. (1996) Soil fertility and content of heavy metals in plants. Chem Agric, 5:40-43.

Peralta-Videa J.R., Gardea-Torresdey J.L., Gomez E., Tiermann K.J., Parson J.G., Carrillo G. (2002) Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pH upon alfafa growth and heavy metal uptake. Environ. Pollut., 119: 291–301.

Pierzynsky, G.M., Sims, J.T. and Vance, G.W. (1994) Soils and environmental quality. Lewis CRC Press, Boca Raton, FL.

Pugh, R.E., Dick, D.G. and Fredeen, A.L. (2002) Heavy metal (Pb, Zn, Cd, Fe and Cu) contents of plant foliage near the Anvil Range lead/zink mine, Faro, Yukon Territory. Ecotoxicology and Environmental Safety, 52: 273-279.

Taiz, L., and Zeiger, E. (1988) Mineral nutrition. In: Plant physiology, second edition, Sinauer Associates Inc, Suderland, pp: 103-124.

Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B., Beyersmann, D. (2003) Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. Toxicology, 192:95-117.

Webber, J. (1981) Trace metals in agriculture. In: Lepp, N.W. editor. Effect of heavy metal pollution on plants: Metals in the environment, vol.II. London and New Jersey: Applied Science Publication, pp:159-184.

Westerma., R.E.L. (1990) Soil testing and plant analysis. SSSA. Madison wisconsin, USA.

Yang, X.E., Long, X.X., Ni, W.Z. and Fu, C.X. (2002) Sedum alfredii H- a new zinc hyperaccumulating plant species native to China, Chinese Sience Bulletin, 47: 1003-1006.

The Study of Phytoremediation Potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. to Lead, Cadmium, Copper and Zinc

Shariat, A., Asareh, M.H., and Ghamari-Zare, A.

Forests and Rangelands Research Institute of Iran.

Abstract

Heavy metals such as cadmium, lead, copper and zinc generated from municipal, industrial and agricultural activities lead to extent pollution of soil and water in the world. Regard to custom methods of removing heavy metals from water and soil are so expensive, difficult and insuccessful, so using of plants that can diminish pollution, is necessary. In the other hand importance of extending silviculture in Iran leads us to study adsorbing heavy metals by *Eucalyptus camaldulensis*. This study were carried out with samples of leaves and soils that gathered from pollutant area of south of Tehran and Khozestan provenance and copper, zinc, cadmium and lead were estimated with inductively coupled plasma. Results were analyzed with combined analysis design. Content of zinc, lead and cadmium in all places were significantly different also all samples and interaction of samples and place for zinc and lead were significant. Maximum amount of copper, zinc, lead and cadmium in soil were respectively 173±2.6, 123±2.7, 151±2.6, 1.46±0.025 and in plant were 33±0.76, 327±6.3, 220±4.4, 2.9±0.05 $mg.kg^{-1}$D.W. that confers *Eucalyptus camaldulensis* can accumulate lead and zinc. In the other hand lead and zinc are greatly generate from traffic and industrial activities so this plants can use for diminish of environmental pollution.

Key words: Cadmium, Cupper, *Eucalyptus*, Lead, Phytoremediation, Zinc