بررسی وضعیت آلودگی درختان صنوبر (*Populous nigra*) اطراف کارخانه سرب و روی زنجان با استفاده از دوایر رویش سالیانه

توفیق احمدی[1*]، مریم میاحی[2]، ویلما بایرام‌زاده[3]، منوچهر زرین‌کفش[4] و وحیدرضا صفدری[3]

۱) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران. *یارانامه نویسنده مسئول: t1350a@gmail.com
۲) کارشناس‌ارشد رشته خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.
۳) استادیار گروه چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.
۴) استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۰

چکیده

یکی از جدیدترین راه‌ها جهت تعیین مقدار و نوع بسیاری از آلاینده‌های محیطی استفاده از زیست‌ردیابی طبیعی است. در مناطق معتدله هر ساله یک لایه چوب (حلقه رویشی) به درخت اضافه می‌شود که در آن حلقه، شرایط رویشگاهی همان سال ضبط شده و گزینه خوبی برای زیست‌ردیابی در طول زمان هستند. بنابراین در این پژوهش سعی شده است از درخت صنوبر که به فراوانی در اطراف کارخانه سرب و روی زنجان کشت می‌شود به‌عنوان زیست‌ردیاب استفاده کرده و روند آلودگی خاک اطراف نشان داده شود. به همین منظور ۲ پایه درخت صنوبر در فواصل ۵ و۱۰ کیلومتری کارخانه سرب و روی زنجان انتخاب شد و از خاک‌های مجاور هر درخت نمونه‌برداری انجام گرفت. در نمونه‌های چوب، دوایر سالیانه سن‌یابی و از هم جدا گردید و غلظت سرب و روی در هر یک از دوایر سالیانه و نمونه‌های خاک تعیین شد. نتایج حاصل نشان داد که میزان آلودگی هم در نمونه‌های خاک و هم در نمونه‌های چوب در نزدیک کارخانه بالاتر از نمونه دیگر بوده است. میزان سرب و روی در دوایر سالیانه درخت صنوبر در هر دو نمونه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ روند افزایشی را نشان داد، ولی این افزایش در درختی که به کارخانه نزدیک‌تر بود به میزان چشمگیرتری خود را نشان داد. در ضمن آنالیزهای آماری همبستگی معنی‌داری را بین میزان سرب و روی و سال‌های مورد مطالعه در سطح ۰/۰۱ نشان داد. این یافته نشان می‌دهد میزان سرب و روی خاک و در نتیجه میزان سرب و روی در گیاه مورد مطالعه هر ساله، افزایش داشته است. در ضمن بحث حرکت آلاینده‌ها بین دوایر هم با توجه به نتایج آماری (خودهمبستگی) نفی می‌شود، زیرا مقدار همبستگی در وقفه‌های مطالعه شده از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که صنوبر را می‌توان به‌عنوان زیست‌ردیاب برای خاک‌های آلوده به سرب و روی در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: درخت صنوبر، دوایر سالیانه، زیست‌ردیاب، فلزات سنگین.

مقدمه

آلودگی زیست‌محیطی یک مشکل اصلی در کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه است. در این جوامع هر یک از سه محیط آب، خاک و هوا میزبان عناصر شیمیایی و بیولوژیکی شده‌اند که اثر سوء بر سلامت انسان می‌گذارد (Nriagu & Pacyna, 1988).

از جمله این عناصر می‌توان از عناصر کمیاب و فلزات سنگین نام برد. آنها در عین کمیابی عناصر پایداری هستند که تا اندازه‌ای از طریق غذا، آب و تنفس وارد بدن می‌شوند. غلظت‌های بالای این عناصر موجب بروز مسمومیت‌های مختلفی می‌شود.

این ترکیبات وارد زنجیرهای غذایی شده و در بافت‌های دریافت‌کنندگان تجمع می‌یابند و منشاء یکسری از بیماری‌های خاص و خطرناک هستند. فاضلاب و پساب صنایع و کارخانه‌ها می‌توانند منشاء آلودگی خاک به این عناصر باشد. با توجه به خطری که آلاینده‌ها به حیات موجودات زنده وارد می‌سازند، اطلاع کافی از نوع و میزان هر یک از آنها در محیط بسیار حایز اهمیت است. یکی از جدیدترین راه‌های مطمئن جهت دسترسی به تعیین مقدار و نوع بسیاری از آلاینده‌های محیطی استفاده از زیست‌ردیابی طبیعی است. در گذشته از زیست‌ردیاب‌ها بیشتر به‌منظور تخمین آلودگی هوا استفاده شده، اما امروزه با شدت کمتری از آنها برای تخمین و اندازه‌گیری آلودگی آب و خاک استفاده می‌گردد (Soylak & Dogan, 2000).

زیست‌ردیابی با گیاهان روشی کم‌هزینه و با ارزش جهت بررسی تاثیر آلاینده‌های مختلف هوا، آب و خاک است. در این میان درختان در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند، این توجه از آن جهت است که هر ساله به تنه درختان منطقه معتدله یک لایه چوب اضافه می‌شود و پس از چند سال مجموع لایه‌ها در مقطع عرضی تنه درختان به شکل دوایر متحدالمرکز درآمده و به آنها دوایر رویشی یا حلقه‌های سالیانه اطلاق می‌شود (پارساپژوه و همکاران، ۱۳۸۰) و در طول زمان هر حلقه رویشی شرایط رویشگاهی سالی را که در آن تشکیل یافته ضبط می‌نماید.

مجموعه این حلقه‌ها می‌توانند به‌عنوان نمایشگرهای زیست‌محیطی معرف گذشته درختان باشند (Devall *et al.*, 1991; Fritts, 1991; Schweingruber, 1987). شیمی‌نگاری درختی یا شیمی حلقه‌های رویشی، مطالعه همین عناصر شیمیایی داخل حلقه‌های رویشی است که در طول زمان در اثر فاکتورهای فیزیولوژیکی و محیطی تغییر می‌نماید. بسیاری از مطالعه‌ها نشان داده است که شیمی حلقه‌های رویشی درخت می‌تواند وسیله خوبی در جهت ارزیابی تغییرات آلودگی در طول زمان یا در بین رویشگاه‌های مختلف باشد (Baes & McLaughlin, 1984; Bondietti *et al.*, 1990; Guyette *et al.*, 1991; Long & Davis, 1989).

اعتبار مطالعه‌های شیمی‌نگاری درختی در انعکاس وقایع گذشته بستگی به چگونگی جذب فلزات سنگین به وسیله ریشه درختان و عدم حرکت آنها در حلقه‌های رویشی دارد. گاهی حرکت فلزات از سمت برون چوب به درون چوب باعث می‌شود تا وقایع زمانی مربوط به آلاینده‌ها در محیط‌زیست با غلظت عناصر حلقه‌های رویشی هم‌خوانی نداشته باشد (Cutter & Guyette, 1993) که کمک گرفتن از روش‌های آماری خودهمبستگی بین حلقه‌های رویشی درختان و استفاده از روشی که در این مطالعه برای درختان پراکنده آوند توصیه می‌شود، می‌تواند این مشکل را رفع نماید (Liu, 2009).

اکنون مشخص شده فعالیت‌های انسانی منجر به تجمع قابل توجهی از فلزات سنگین در مقیاس جهانی شده است. فلزات سنگین و عناصر کمیاب از جمله آلاینده‌های محیط‌زیست هستند که در صورت تجمع در خاک و جذب توسط گیاه وارد زنجیره غذایی شده و مسمومیت‌هایی را برای انسان و حیوانات ایجاد می‌کنند (Gee & Bauder, 1986). تجمع عناصر در خاک می‌تواند در نتیجه کاهش فعالیت‌های میکروبی، تنوع‌زیستی و باروری خاک، تلفات محصولات کشاورزی و حتی آسیب در حیوانات و بهداشت و درمان انسان از طریق زنجیره مواد غذایی ایجاد کند (صفدری، ۱۳۸۳). اطلاع از ماهیت فلزات سنگین، رفتار شیمیایی آنها در خاک و هوا

و پیدا کردن راهکارهای مدیریتی در جهت پاکسازی یا خنثی‌سازی آنها در محیط امری مهم و حیاتی است (Soylak & Dogan, 2000). در این پژوهش سعی شده است که از غلظت سرب و روی در دوایر سالیانه درخت صنوبر که به فراوانی در اطراف کارخانه سرب و روی زنجان کشت می‌شود و جزء درختان بیش‌اندوز[1] می‌باشد، استفاده گردد و روند آلودگی خاک را به این عناصر از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ در اطراف کارخانه نشان داد. چون صنوبر جزء درختان پراکنده آوند است و در درختان پراکنده آوند چندین حلقه با محیط در تماس است (Bayramzadeh *et al.*, 2008)، بنابراین در این پژوهش به جای استفاده از غلظت آلایندها در یک حلقه از مجموع آلاینده‌ها در ۵ حلقه برای ردیابی زیستی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اطراف کارخانه سرب و روی زنجان که در ۱۰ کیلومتری شرق زنجان واقع شده است، صورت گرفت. نمونه‌های گیاهی مورد استفاده شامل دو درخت صنوبری بود که در فواصل ۵ و ۱۰ کیلومتری اطراف کارخانه واقع شده بودند. از درختان دیسک‌های ۱۰ سانتی‌متری در ارتفاع ۵ سانتی‌متری از سطح خاک تهیه شد. نمونه‌های چوب به آزمایشگاه منتقل و در هوای آزاد خشک شدند و سپس دوایر سالیانه شماره-گذاری شده و ۵ تا ۵ تا از هم جدا گشتند. بعد از آماده-سازی نمونه‌ها با کمک دستگاه جذب اتمی غلظت سرب و روی در هر یک از دوایر سالیانه تعیین شد. برای تعیین غلظت فلزات سنگین در گیاه ۰/۲ گرم از هر نمونه در بشر ۱۲۵ میلی‌لیتری ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر از مخلوط اسید (اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت ۳ به ۱) به نمونه اضافه شد. سپس بشر بر روی اجاق گذاشته شده و به مدت ۳۰ دقیقه تا دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد بدون جوشش حرارت داده شد (رفلاکس کردن). پس از سرد شدن دوباره ۵ میلی‌لیتر مخلوط اسید به نمونه اضافه شد و دوباره رفلاکس گردید. افزایش مخلوط اسید یک میلی‌لیتر به یک میلی‌لیتر ادامه یافت و به آن گرما داده شد تا واکنش به حداقل ممکن رسیده و نمونه بدون تغییر باقی ماند. پس از آن محتویات بشر بعد از سرد شدن با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱ در داخل بالن ۵۰ میلی‌لیتری صاف شد و کاغذ صافی با مقدار کمی آب مقطر شسته و داخل بالن ریخته و پس از آن به حجم رسانده شد. محلول حاصله برای سنجش میزان سرب و روی با دستگاه جذب اتمی مورد بررسی قرار گرفت (Pydtt, 1999).

تعداد ۴ نمونه خاک از اطراف نمونه‌های گیاهی و از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری و از عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری تهیه شدند. در آزمایشگاه نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک گردید و سپس با چکش چوبی کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. مقداری از نمونه‌ها جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی استفاده شد و مقدار دیگری از نمونه‌های خاک جهت اندازه‌گیری میزان عناصر کل به روش مخلوط اسید عصاره‌گیری شد. پس از آماده شدن عصاره خاک، عنصر مورد نظر با کمک دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. در ضمن برای تعیین برخی از خصوصیات خاک از روش‌های زیر بهره گرفته شد. با استفاده از روش هیدرومتری درصد رس، شن و سیلت تعیین گشت (Gee & Bauder, 1986). pH خاک در گل اشباع با استفاده از آب مقطر و KCL به وسیله pH متر اندازه‌گیری شد (Allison & Moodie, 1965). ماده آلی با استفاده از روش والکی و بلاک تعیین شد (Nelson & Sommers, 1982) و مقدار کل ازت موجود در خاک بر حسب درصد و به روش کجدال تعیین گردید (Bremner & Mulvaney, 1982).

[1] Hyper Accumulator

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آماری Spss و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. برای نشان دادن همبستگی بین سرب و روی در دوره مطالعه از همبستگی پیرسون و از خودهمبستگی برای نشان دادن عناصر مورد مطالعه در حلقه‌های رویشی استفاده گردید.

نتایج

نتایج مربوط به آنالیز خاک

برخی از ویژگی‌های نمونه‌های خاک که از ۵ و ۱۰ کیلومتری کارخانه تهیه شده بودند، در جدول ۱ ارایه شده است. خاک منطقه مورد مطالعه در نمونه نزدیک به کارخانه (۵ کیلومتری به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری) از نوع قلیایی با pH برابر با ۸/۱۶ است. درصد ماده آلی ۱/۲۲ و درصد ازت کل ۰/۱۲ می‌باشد و بافت خاک منطقه مورد مطالعه شنی‌لومی است. خاک منطقه مورد مطالعه در نمونه دورتر از کارخانه (۱۰ کیلومتری به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری) از نوع قلیایی با pH برابر با ۸/۲۲ است. همچنین درصد ماده آلی ۱/۶۲ و درصد ازت کل ۰/۱۶ می‌باشد و بافت آن نیز شنی‌لومی است.

بررسی میزان آلاینده‌های موجود در خاک

غلظت کل سرب و روی در نمونه‌های خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. غلظت سرب و روی کل در نمونه‌های نزدیک به کارخانه (۵ کیلومتری) در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب ۶۵ و ۱۶۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب ۵/۲۵ و ۸/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. غلظت سرب و روی کل در نمونه‌های دورتر از کارخانه (۱۰ کیلومتری) در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب ۲۷/۵ و ۸۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک به‌ترتیب ۱/۹ و ۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. طبق طبقه‌بندی Prasad (۲۰۰۴) که حد مجاز سرب و روی را برای خاک‌های لومی به‌ترتیب ۵۰ و ۱۵۰ ذکر کرده است، خاک سطحی این منطقه که در ۵ کیلومتری کارخانه واقع شده است، آلوده می‌باشد. با افزایش عمق خاک غلظت آلاینده کاهش می‌یابد، ولی در فاصله دورتر از کارخانه آلودگی خاک قابل اغماض است.

جدول ۱: مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه

عنوان نمونه	pH	درصد ماده آلی (OM%)	درصد ازت کل (N%)	تجزیه اندازه ذرات			بافت
				شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	
نمونه نزدیک به کارخانه (فاصله ۵ کیلومتری)							
(۰-۱۵ سانتی‌متر)	۸/۳۵	۱/۳۱	۰/۱۳	۵۹	۲۶	۱۵	شنی - لوم
(۱۵-۳۰ سانتی‌متر)	۷/۹۸	۱/۱۳	۰/۱۱	۶۷	۱۵	۱۸	شنی - لوم
میانگین	۸/۱۶	۱/۲۲	۰/۱۲	۶۳	۲۰/۵	۱۶/۵	شنی - لوم
نمونه دورتر از کارخانه (فاصله ۱۰ کیلومتری)							
(۱۵- ۰ سانتی‌متر)	۸/۲	۱/۹۳	۰/۱۹	۴۸	۳۸	۱۴	شنی - لوم
(۱۵-۳۰ سانتی‌متر)	۸/۲۵	۱/۳۲	۰/۱۳	۵۵	۲۹	۱۶	شنی - لوم
میانگین	۸/۲۲	۱/۶۲	۰/۱۶	۵۱/۵	۳۱/۵	۱۵	شنی - لوم

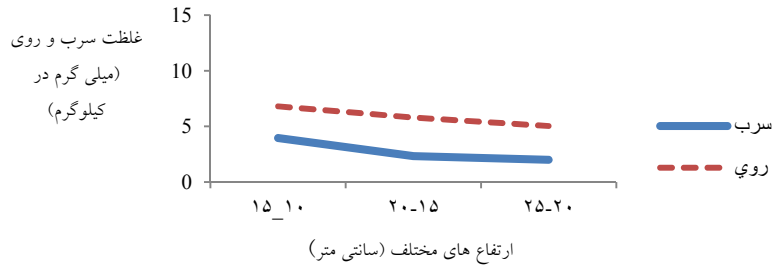
جدول ۲: میزان سرب و روی در نمونه‌های خاک

عناصر میکرو (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)		
نمونه نزدیک به کارخانه ۵ کیلومتری		
عنوان نمونه	سرب کل	روی کل
(۱۵-۰ سانتی‌متر)	۶۵	۱۶۲/۵
(۳۰-۱۵ سانتی‌متر)	۵/۲۵	۸/۵
نمونه دورتر از کارخانه ۱۰ کیلومتری		
عنوان نمونه	سرب کل	روی کل
(۱۵-۰ سانتی‌متر)	۲۷/۵	۸۲/۵
(۳۰-۱۵ سانتی‌متر)	۱/۹	۷/۵

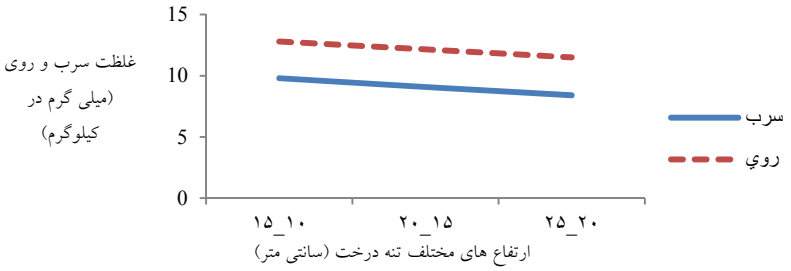
نتایج مربوط به آنالیز گیاه

بررسی روند تغییرات میزان سرب و روی در تنه درخت (ارتفاع‌های مختلف درخت)

نمودارهای ۱ و ۲ نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع درخت میزان آلاینده جذب شده کاهش پیدا کرده است، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آلاینده در ارتفاع ۱۵-۱۰ سانتی‌متری درخت مشاهده شده به نظر می‌رسد این پدیده می‌تواند مربوط به حمل‌آلاینده‌های جذب شده همراه آب باشد که باید از ریشه به قسمت‌های بالای تنه انتقال یابد و به همین خاطر در نزدیکی ریشه جذب آلودگی بیشتر شده است.



نمودار ۱: روند تغییرات میزان سرب و روی در نمونه دورتر از کارخانه (۱۰ کیلومتر) در ارتفاع‌های مختلف

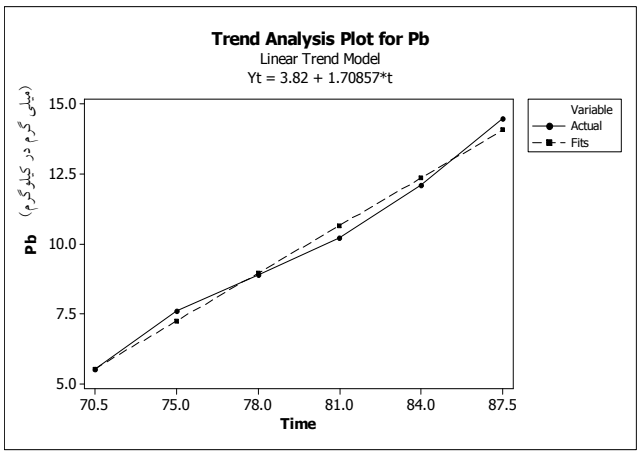


نمودار ۲: روند کاهشی میزان سرب و روی در نمونه نزدیک‌تر از کارخانه (۵ کیلومتر) در ارتفاع‌های مختلف

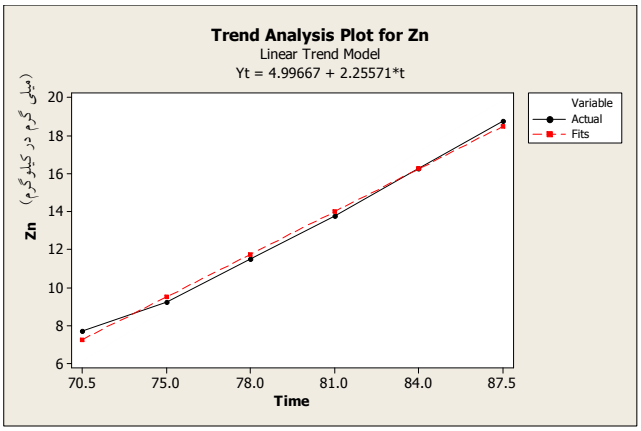
بررسی روند تغییرات سرب و روی در طول زمان

نمودارهای ۳ و ۴ روند تغییرات سرب و روی را در نمونه تهیه شده در نزدیکی کارخانه نشان می‌دهد. برای بررسی روند تغییرات آلاینده‌ها در طول زمان از دوایر سالیانه سن‌یابی شده استفاده گردید. از آنجایی که درخت مورد نظر پراکنده آوند بود، از قطعات به جای تک حلقه استفاده شد و برای هر قطعه یک‌سال در نظر گرفته شد. این نمودار نشان می‌دهد که غلظت سرب و روی با افزایش سن درخت افزایش

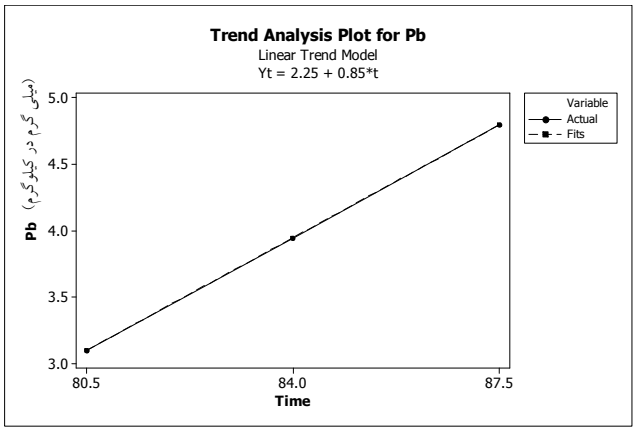
نشان می‌دهد. نمودارهای ۵ و ۶ به درختی اشاره دارد که از فاصله دورتر از کارخانه تهیه شده است و نتیجه آن نیز مشابه نمودار قبلی است. بنابراین می‌توان گفت میزان آلودگی خاک از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ روند افزایشی داشته و درخت صنوبر نیز این آلودگی را جذب کرده است.



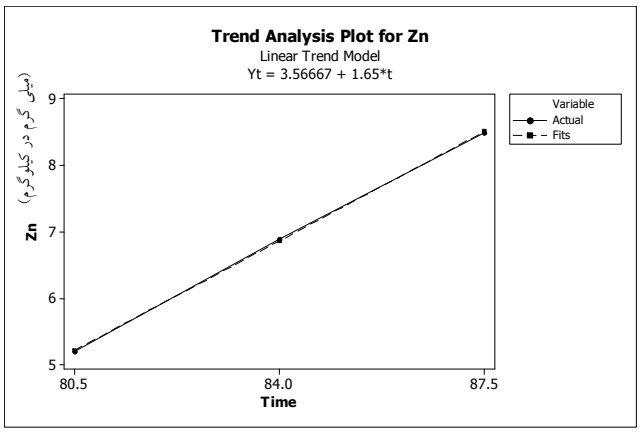
نمودار ۳: روند تغییرات میزان سرب در سال‌های نمونه‌گیری (۵ کیلومتر)



نمودار ۴: روند تغییرات میزان روی در سال‌های نمونه‌گیری (۵ کیلومتر)



نمودار ۵: روند تغییرات میزان سرب در سال‌های نمونه‌گیری (۱۰ کیلومتر)



نمودار ۶: روند تغییرات میزان روی در سال‌های نمونه‌گیری (۱۰ کیلومتر)

جدول ۳، همبستگی بین میزان روی و سرب و دوره مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان سرب و روی با همدیگر و مقدار سرب و روی با زمان در سطح آماری ۰/۰۵ درصد ارتباط معنی‌داری را نشان می‌دهد.

جدول ۳: همبستگی پیرسون بین میزان روی و سرب در دوره مطالعه

		سرب	روی
سرب	همبستگی پیرسون	۱	۰/۹۹۳
	سطح معنی‌داری (دوطرفه)		——
	تعداد	۶	
روی	همبستگی پیرسون	۰/۹۹۳*	۱
	سطح معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۰۰۰	
	تعداد	۶	۶
زمان	همبستگی پیرسون	۰/۹۹۴*	۰/۹۹۱*
	سطح معنی‌داری (دوطرفه)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	تعداد	۶	۶

بررسی حرکت آلاینده‌ها در بین دوایر سالیانه

نگرانی اکثر پژوهشگرها از حرکت عرضی آلاینده‌ها بین دوایر سالیانه است که به‌طور غالب در درختان پراکنده آوند مثل صنوبر به فراوانی اتفاق می‌افتد.

به‌منظور بررسی این موضوع راه‌حلی توسط Liu (۲۰۰۹) بر مبنای استفاده از روش خودهمبستگی بین حلقه‌ها ارایه شده تا نشان داده شود که حرکت بین کدام حلقه‌ها اتفاق افتاده است. جدول ۴، میزان خودهبستگی بین مقادیر سرب و روی با وقفه‌های ۱ تا ۳ را برای سرب و روی نشان می‌دهد. اگرچه در وقفه ۱، میزان همبستگی در حدود ۰/۴۴ برای سرب و ۰/۵۱ برای روی است، اما این همبستگی معنی‌دار نمی‌باشد.

بنابراین می‌توان گفت که حرکت آلایندها بین قطعات تهیه شده (۵ سال به ۵ سال) صورت نگرفته است.

جدول ۴: خودهمبستگی بین سرب و روی در قطعات تهیه شده

سرب					
وقفه	خود همبستگی	انحراف معیار[a]	Box-Ljung Statistic		
			ارزش	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
۱	۰/۴۴۱	۰/۳۲۳	۱/۸۷۰	۱	۰/۳۸۶
۲	۰/۰۵۴	۰/۲۸۹	۱/۹۰۵	۲	۰/۱۷۱
۳	-۰/۲۸۳	۰/۲۵۰	۲/۶۳۲	۳	۰/۴۵۲
روی					
وقفه	خود همبستگی	انحراف معیار[a]	Box-Ljung Statistic		
			ارزش	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
۱	۰/۵۱۳	۰/۳۲۳	۲/۵۳۰	۱	۰/۱۱۲
۲	۰/۰۵۱	۰/۲۸۹	۲/۵۶۱	۲	۰/۲۷۸
۳	-۲/۸۳	۰/۲۵۰	۳/۸۴۴	۳	۰/۲۷۹

بحث و نتیجه‌گیری

صنوبر به‌عنوان یک درخت بیش‌اندوز در خاک قلیایی توانسته است به خوبی آلاینده‌ها را جذب کند. میزان آلاینده‌های سرب و روی با افزایش سن درخت روند افزایشی نشان می‌دهد که این امر بیانگر افزایش آلاینده‌ها از سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۷۰ می‌باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده با افزایش آلودگی در خاک مقدار آلاینده در درخت هم افزایش نشان داده است و می‌توان گفت که از درخت صنوبر می‌توان به عنوان یک زیست‌ردیاب استفاده گردد. با توجه به مشکل حرکت عرضی آلاینده‌ها و همین‌طور ارتباط چندین حلقه رویشی محیط با خاک در درختان پراکنده آوند، بهتر است به جای یک حلقه رویشی از چندین حلقه رویشی برای مطالعه‌های دیگر استفاده شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در درختان صنوبر سرب و روی بیشتر در ریشه و اندام‌های پایین گیاه تجمع پیدا می‌کند، همین امر باعث می‌شود که بقیه اندام‌های گیاه و تولید ماده خشک از خطر تاثیر سرب و روی در امان باشند که این نتایج با نتایج اسماعیل‌پور و همکاران (۱۳۹۱) و نتایج Xiong (۱۹۹۸) هماهنگی دارد. طبق نتایج به‌دست آمده میزان سرب و روی در لایه‌های سطحی خاک و در فاصله ۵ کیلومتری از کارخانه بیش از حد مجاز طبق طبقه‌بندی Prasad (۲۰۰۴) می‌باشد. در تحقیقی که توسط Lepp (۱۹۸۱) صورت گرفته تجمع فلزات سنگین به میزان ppm ۷۰۰۰ در سطح خاک جاده‌ها گزارش شده است که نتایج این بررسی با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد و میزان تجمع فلزات سنگین مس و روی بیشتر در لایه های سطحی خاک می‌باشد. طبق نظر همین محقق (Lepp) گیاهانی که ریشه‌های آنها در معرض آلودگی عناصر سنگین از جمله سرب و روی قرار دارند، میزان سرب و روی در ریشه-های میانی به‌طور چشمگیری زیادتر از سایر بافت‌ها است.

در این منطقه نیز بیشترین میزان سرب در بافت ریشه بیشتر از سایر بافت‌ها می‌باشد. به‌دلیل سنگین نبودن بافت خاک مورد آزمایش (شنی‌لومی) امکان تحرک فلزات سرب و روی در لایه‌های سطحی و اندام-های تحتانی گیاه زیاد است. این عامل نیز با نتایج اسماعیل‌پور و همکاران (۱۳۹۱) تطبیق دارد.

پیشنهادها

با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام یافته، به‌منظور کاهش میزان انتشار آلودگی و جلوگیری از تاثیر سوء

فلزات سنگین بر اکوسیستم و حفظ سلامت عمومی موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. شناسایی و کاشت گونه‌های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین در جهت جذب و تثبیت فلزات سنگین وارده به خاک؛

۲. شناسایی گیاهان بومی که توانایی زیست بالایی دارند؛

۳. افزایش کاشت درخت صنوبر در اطراف کارخانه سرب و روی به‌دلیل اینکه درخت صنوبر یک زیست-ردیاب و یک درخت بیش‌اندوز می‌باشد.

منابع

اسماعیل‌پور، س.، بایرام‌زاده، و. و احمدی، ت. (۱۳۹۱) اثر کادمیوم خاک بر برخی خصوصیات روزنه برگ بلوط بلند مازو (Quercus Castanefoila C.A. Mey). فصلنامه تخصصی علوم و فنون منابع طبیعی، ۷(۲): ۲۶-۱۷.

پارساپژوه، د.، فائزی‌پور، م. و تقی‌یاره، ح.ر. (۱۳۸۰) فرهنگ ۴ زبانه گاه‌شناسی درختی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، شماره ۲۵۸۴، ۳۲۰ صفحه.

صفدری، و.ر. (۱۳۸۳) مطالعه گاه‌شناسی درختی به‌منظور بررسی اثرات آلودگی و تغییرات آب و هوا بر روی رویش شعاعی دو گونه *Fraxinus excelsior* و *Pinus eldarica*. رساله دوره دکتری صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.

Allison, L.E. and Moodie, C.D. (1965) Carbonate. In: C.A. Black (Eds.). Methods of soil analysis (Part 2). Monograph, No. 9, Agron, Madison, WI, 1396p.

Baes, C.F. and McLaughlin, S.B. (1984) Trace elements in tree rings: Evidence of recent and historical air pollution. Science, 224(1): 494-497.

Bayramzadeh, V., Funda, R. and Kubo, T. (2008) Relationships between vessel element anatomy an physiological as well as morphological trains of leaves in Fagus crenata seedings originating from different provenacos. Trees, 22(1): 217-274.

Bondietti, E.A., Momoshima, N., Shortle, W.C. and Smith, K.T. (1990) A historical perspective on divalent cation trends in red spruce stem wood and the hypothetical relationship to acid deposition, Canadian. Journal of Forest Research, 20(12): 1850-1858.

Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982) Nitrogen - Total. In: A.L. Page (Ed.). Methods of soil analysis. Agronomy monograph 9, Part 2 (2nd Ed.). American society of agronomy, Madison, WI, pp. 595-624.

Cutter, B.E. and Guyette, R.P. (1993) Anatomical, chemical, and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemistery studies. Journal of Environment Quality, 22(1): 611-619.

Devall, M.S., Myers, J.M. and Koretz, J. (1991) Dendroecological analysis of a longleaf pine *Pinus palustris* forest in Mississipi. Vegetatio, 93(1): 1-8.

Fritts, H.C. (1991) Reconstrcting large-scale climatic patterns from tree –ring data: A diagonstic approch. The University of Arizona Press, Tucson, AZ, pp. 7-28

Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986) Particle-size analysis (383-411). In: A. Klute (Ed.). Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods. Agronomy monograph, No. 9 (2nd Ed.). American society of agronomy/soil science society of America, Madison, WI.

Guyette, R.P., Cutter, B.E. and Henderson, G.S. (1991) Long-term correlations between mining activity and levels of lead and cadmium in tree- rings of Eastern red-cedar. Journal of Evironmental Quality, 20(2): 146-150.

Lepp, N.W. (1981) Effect of heavy metal pollution plants. Vol 1, 2, Great Britain press, pp. 257-262.

Liu, Y.T.W. (2009) Trance elements in tree rings and their environmental effects: A case study in Xi an City. Science in china series D: Earth sciences, 52(4): 504-510.

Long, R.P. and Davis, D.D. (1989) Major and trace element concentration in surface organic layers, mineral soil, and white oak xylem downwind from a coal-fired power plant, Canadiam Journal of Forest Resarch, 19(12): 1603-1603.

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. (1982) Total carbon, organic carbon and organic matter (539-579). In: A.L. Page, D.H. Miller and Keeney, D.R. (Eds.). Methods of soil analysis, ASA, SSSA, Madison, Wis.

Nriagu, J.O. and Pacyna, J.M. (1988) Quantitative assessment of worldwide

contamination of air, water and soils by trace metals. Nature, 333(6169): 134-139.

Prasad, M.N.V. (2004) Heavy metal stress in plants (2nd Eds.). Norosa Publishing House, USA, pp. 460-461.

Pydtt, F.B. (1999) Comparison of foliar and stem bioaccumulation of heavy metals by Corsican pines in the Mount Olympus area of Cyprus. Ecotoxicology of Environment, 1(42): 57-61.

Schweingruber, F.H. (1987) Tree rings: Basics and applications of dendrochronology. Kluwer Academic, Dordecht, Holland. In: B. E. Cutter and R. P. Guyette (Eds.), 1993. Anatomical, chemical, and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemistery studies. Journal of Environmental Quality, 22(3): 611-619.

Soylak, M. and Dogan, M. (2000) Lead concentration of dust sample from Nigde city Turkey. Fresenius Environment Bulletin, 9(2000): 36-40.

Xiong, Z.T. (1998) Lead up take and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator brassica pekinensis ruper. Bulletin of Environmental Contamination Toxicology, 60(1998): 285-291.

Investigation on Pollution Status of Poplar Trees (*Populous nigra*) around the Zanjan's Lead and Zinc Factory using Annual Growth Ring

Tofigh Ahmadi[1*], Maryam Mayahi[2], Vilma Byramzadeh[3], Manucher Zarinkafsh[4] and Vahidreza Safdari[3]

1) Assistant Professor, College of Agriculture, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran. *Corresponding Author Email Address: t1350a@gmail.com
2) Graduate of M.Sc., Soil Science Department, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
3) Assistant Professor, Department of Wood and Paper, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
4) Professor, Department of Soil Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Date of Submission: 2015/04/19 Date of Acceptance: 2017/01/29

Abstract

One of the newest methods to determine the amount and type of many environmental pollutants is the use of natural bio-detector method. In the temperate regions a layer of wood (growth ring) is yearly added to the tree, in which the growth ring, habitat conditions recorded in the same year are a good option for bio-detector over time. In this research, the poplar trees which are abundantly cultivated around the Zanjan's lead and zinc factory were used as a bio-detector to illustrate the process of surrounding soil pollution. For this purpose, 2 trees were selected and cut from 5 and 10 km intervals of Zanjan's lead and zinc factory as well as was sampled from the surrounding soil of each tree. The age of the trees was determined through the annual rings (growth rings). The concentration of lead and zinc was determined in each of the annual ring and also soil samples. The results demonstrated that the amount pollution of soil and wood samples near to the mentioned factory was higher than other samples. The amount of lead and zinc in the annual growth rings of poplar tree showed an increasing trend from 1991 to 2010, but this increase was significantly observed in the trees close to the factory. The statistical analysis demonstrated a significant correlation between the amount of lead and zinc with the aforementioned years ($p<0.01$). The amount of lead and zinc in the studied soils and trees were also increased per year. Furthermore, the statistical analysis (correlation analysis) indicated that there is no significant pollutants movement between the annual rings. Therefore, it can be concluded that poplar trees can be used as a bio-detector for the polluted soils to lead and zinc metals in the study area.

Keywords: Bio- detector; annual ring, heavy metals, poplar tree.