فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۱ شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۱۶۵-۱۵۴، (۱۳۹۲)

مقایسهٔ زیست‌پالایی فلزات سنگین توسط گونه‌های چوبی مورد استفاده در جنگلداری شهری سنندج

نقی شعبانیان[1*] و چنور چراغی[2]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج. پست‌الکترونیک: N.Shabanian@uok.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۰

چکیده

زیست‌پالایی گیاهی امروزه به‌عنوان یکی از ارزانترین، پاک‌ترین و کاربردی‌ترین روشها برای کاهش آلودگی فلزات سنگین محیط‌زیست شناخته شده است. در تحقیق حاضر، به‌منظور بررسی توان زیست‌پالایی گونه‌های چوبی مورد استفاده در جنگلداری شهری سنندج، میزان انباشت برخی فلزات سنگین از قبیل سرب، روی، کادمیوم و منگنز در برگ گونه‌های چنار شرقی، نارون، زبان‌گنجشک، سرو خمره‌ای و کاج سیاه کاشته شده در مرکز شهر سنندج (به‌عنوان منطقهٔ آلوده) و محوطهٔ دانشگاه کردستان (به‌عنوان منطقهٔ شاهد) اندازه‌گیری شد. همچنین تأثیر این فلزات روی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی گونه‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این کار از آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با دو عامل مکان در دو سطح (منطقهٔ آلوده و منطقهٔ شاهد) و عامل نوع گونه در پنج سطح (سرو خمره‌ای، کاج سیاه، زبان‌گنجشک، نارون و چنار شرقی) با پنج تکرار استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد و از آزمون چنددامنه‌ای دانکن برای مقایسهٔ میانگین‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که انباشت سرب، روی و کادمیوم در برگ بیشتر گونه‌ها در منطقهٔ آلوده با اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد بیشتر از منطقهٔ شاهد بوده است. در منطقهٔ آلوده بیشترین مقدار انباشت سرب و کادمیوم در سرو خمره‌ای، روی در زبان‌گنجشک و منگنز در نارون مشاهده شد. در مقایسه منطقهٔ آلوده با منطقه شاهد، در همه گونه‌ها مقدار کلروفیل کمتر، ولی مقدار پرولین بیشتر از منطقهٔ شاهد بود. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل در برگ‌های چنار شرقی و اسید آمینه و پرولین در نارون مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: سرو خمره‌ای، زبان‌گنجشک، نارون، چنار شرقی، پرولین، کلروفیل.

مقدمه

فلزات سنگین از آلاینده‌های خطرناک زیست‌محیطی هستند که بیشتر آنها حتی در مقادیر کم سمی و خطرناک می‌باشند. منابع اصلی ورود فلزات سنگین به بیوسفر شامل سوختهای فسیلی، معادن ذوب فلزات، فاضلابها و ترکیبهای شیمیایی است (Memon & Schroder, 2009). بسیاری از فلزات سنگین برای موجودات زنده مضر هستند و به همین دلیل انسان همواره به دنبال راه مناسبی برای کاهش آنها در طبیعت است. یکی از مناسب‌ترین، کاربردی‌ترین و ارزان‌ترین روش‌ها در این زمینه، اصلاح زیستی گیاهی (phytoremediation) یا به‌عبارت دیگر کاهش آلودگی محیط توسط گیاهان است (Burken *et al.*, 2011). گیاهان می‌توانند به‌طرق مختلف آلاینده‌ها را در محیط زیست کاهش دهند. توانایی بالای برخی گونه‌ها در جذب انتخابی عناصر و ترکیبهای آلوده کننده، امکان استفاده از گیاهان در پاک‌سازی محیط‌های آلوده را فراهم

Archive of SID

www.SID.ir

کرده است (Gosh & Singh, 2005).

در مورد زیست‌پالایی فلزات سنگین توسط گیاهان چوبی، گزارش اندکی در داخل و خارج از کشور وجود دارد که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

Piczak *et al.* (2003) با تحقیقی روی مقدار انباشت روی در برگهای درختان موجود در خیابانهای مرکزی پایتخت لهستان نشان دادند که گونهٔ بید در فصلهای مختلف سال از ۱۲۲ تا ۳۵٦ میلی‌گرم در کیلوگرم و گونهٔ افرا از ۳۷/۵ تا ٥٦/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم روی را از هوا در برگهای خود انباشته می‌کنند. نتایج تحقیقی روی توانایی زیست‌پالایی دو گونهٔ بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) و پستهٔ وحشی (*Pistacia atlantica*) از نظر انباشت دو عنصر سرب و کادمیوم نشان داد که مقدار انباشت سرب در دو گونهٔ بنه و بلوط ایرانی به‌ترتیب حدود ۲٦٤۸ و ۱۹٤۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک و بیشترین میزان کادمیوم ۱٦٤۸ و ۱۱۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک بوده است (Khodakarami *et al.*, 2009).

درختان شهری از اهمیت بالایی برای شهرنشینان برخوردارند، همچنین ممکن است با قرار گرفتن در معرض آلودگی، خود درختان در معرض خطر باشند. به‌عنوان مثال، در برگ گونه‌های درختی کنار جاده‌های شهری، آلودگی هوا سبب تغییراتی در میزان کلروفیل و فعالیت پراکسیداز چنار (*Platanus orientalis*) شده است (Baycu *et al.*, 2006). در درختان حرا (*Avicennia marina*)، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت افزایش غلظت فلز سرب در برگ درخت و نیز کاهش قابل توجه رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ تحت تأثیر فلزات مس و روی در این گونه مشاهده شده است (Macfarlane & Burchett, 2001). در *Populus cathayana* وجود فلز منگنز به‌طور معنی‌داری سبب کاهش کلروفیل و شاخصهای رشد مثل ارتفاع ساقه، قطر پایه، زیست‌توده، سطح کل برگ و همچنین افزایش اسید آبسیزیک، پلی‌آمین و اسیدهای آمینه آزاد مثل پرولین، هیستیدین و غیره شده است (Lei *et al.*, 2007). در تحقیقی که در چین انجام شده بود، مقدار کلروفیل در برگ نهالهای *Paulownia fortunei* تحت استرس روی و مس به‌شدت کاهش و مقدار تجمع پرولین تحت استرس سرب و کادمیوم، افزایش یافته بود (Wang *et al.*, 2010). Shariat *et al.* (2010) تأثیر کادمیوم روی برخی شاخصهای فیزیولوژیکی در گونه *Eucalyptus occidentalis* را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت تیمارهای کادمیوم، مقدار پرولین در برگ اکالیپتوس افزایش می‌یابد و مقدار رنگدانه‌های کلروفیل کاهش می‌یابد. آنها همچنین نشان دادند که اکالیپتوس توان انباشت عنصر آلایندهٔ کادمیوم را دارد بدون اینکه اختلال جدی در رشد آن به‌وجود آید.

هدف از تحقیق حاضر اولاً بررسی وجود فلزات سنگین در مرکز شهر سنندج به‌عنوان یک منطقه با ترافیک نسبتاً بالا و مقایسهٔ آن از این نظر با یک منطقه با ترافیک کمتر و ثانیاً بررسی و مقایسهٔ مقدار انباشت فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیوم و منگنز) در برخی از گونه‌های چوبی مورد استفاده در جنگلداری شهری سنندج مثل سرو خمره‌ای (*Biota orientalis*)، کاج سیاه (*Pinus nigra*)، چنار شرقی (*Platanus orientalis*)، زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia*) و نارون (*Ulmus carpinifolia*) و ثالثاً بررسی برخی شاخصهای فیزیولوژیکی این گونه‌ها مانند رنگدانه‌های کلروفیل و اسیدآمینهٔ پرولین در ارتباط با آلودگیهای محیطی به‌منظور انتخاب بهترین گونه‌های چوبی جنگلی برای استفاده در جنگلداری شهری سنندج و یا در دیگر شهرها با اقلیم و شرایط مشابه می‌باشد. برای رسیدن به اهداف مورد نظر، فرضیه‌هایی ازجمله اینکه «در مرکز شهر سنندج آلودگی فلزات سنگین وجود دارد و گونه‌های درختی کاشته شده

Archive of SID

www.SID.ir

در شهر سنندج توان زیست‌پالایی فلزات سنگین را دارند و از این نظر در بین آنها تفاوت معنی‌داری وجود دارد»، مورد توجه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق حاضر، دو منطقه یکی در مرکز شهر سنندج (میدان آزادی) که از ترافیک نسبتاً بالایی برخوردار است به‌عنوان منطقهٔ آلوده با ارتفاع ۱٤٦۲ متر از سطح دریا که مختصات آن در سامانهٔ مختصات UTM Zone 38n معادل ٦۸۱۱۵۸ =X و ۳۹۰۵۹٦۳ =Y می‌باشد و دیگری در محوطهٔ دانشگاه کردستان با ارتفاع ۱٤٦۸ متر از سطح دریا و مختصات ٦۸۱۹٦۹ =X و ۳۹۰۵۸۰۹ =Y واقع در اطراف شهر سنندج با ترافیک ناچیز که از نظر شرایط فیزیوگرافی تقریباً مشابه منطقهٔ آلوده می‌باشد به‌عنوان منطقهٔ شاهد انتخاب شدند. شهر سنندج، مرکز استان کردستان با مساحت ۳٦۸۸/٦ هکتار و ارتفاع ۱٤۰۰ متر از سطح دریا با مختصات جغرافیایی ۱٤ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ٤٦ درجهٔ طول شرقی در غرب ایران و در بخش جنوبی استان کردستان قرار دارد. این شهرستان بیشتر در منطقهٔ نیمه‌خشک واقع شده است. بارندگی سالیانه در شهر سنندج به‌طور متوسط ۵۰۰-٤۵۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۳/۱+ درجه - سانتی‌گراد تخمین زده شده است.

به‌منظور بررسی توان زیست‌پالایی گونه‌های چوبی مورد استفاده در فضای سبز شهری سنندج، از آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی با دو عامل مکان در دو سطح (منطقهٔ آلوده و منطقهٔ شاهد) و عامل نوع گونه در ۵ سطح (سرو خمره‌ای، کاج سیاه، زبان‌گنجشک، نارون و چنار شرقی) با ۵ تکرار استفاده شد. برای نمونه‌گیری، در اواسط مردادماه ابتدا از تمام درختان از گونه‌های موجود در منطقهٔ مورد بررسی از چهار جهت جغرافیایی نمونهٔ برگ تهیه (از هر طرف حدود ۵۰ گرم) و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس به‌منظور تهیهٔ نمونهٔ ترکیبی برگهای مربوط به هر گونه در هر منطقه با همدیگر ترکیب و مخلوط شدند و در نهایت از نمونهٔ ترکیبی مربوط به هر گونه ۵ نمونه به‌عنوان تکرار آزمایش برداشت شد.

برای اندازه‌گیری مقدار عناصر آلاینده، ابتدا نمونه‌های برگ با آب مقطر شستشو و در دمای اتاق به‌مدت ٤۸ ساعت خشک شدند و بعد برای هضم آسان، آسیاب شدند. عصاره‌گیری نمونه‌ها توسط اسید نیتریک و اسید کلریدریک انجام شد و بعد قرائت نمونه‌ها به‌وسیلهٔ دستگاه جذب اتمی در طول موجهای مختلف برای عناصر مورد نظر انجام گردید (Westerma, 1990).

به‌منظور تعیین مقدار پرولین و کلروفیل برگ، برای هضم آسان آنها در مرحلهٔ عصاره‌گیری با آسیاب به صورت پودر درآورده شدند. استخراج کلروفیل با استفاده از استون و طبق روش تغییر یافته آرنون انجام شد(Arnon, 1949). قرائت نمونه‌ها با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ٦٤۵ و ٦٦۳ نانومتر انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری محتوای اسید آمینهٔ پرولین، از روش Bates *et al*. (1973) استفاده شد. قرائت نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر انجام شد. داده‌های جمع‌آوری شده در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی، پس از تست نرمال بودن آنها، تجزیه و تحلیل شدند. سپس با تأیید فرض همگنی واریانسها، برای مقایسهٔ میانگین‌های بدست‌آمده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به انباشت فلزات در برگ گونه‌های مورد مطالعه و همچنین داده‌های مربوط به مقدار تجمع رنگدانه کلروفیل و اسید آمینه پرولین در برگ آنها در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شدند. خلاصهٔ نتایج تجزیه واریانس داده-

Archive of SID

www.SID.ir

ها در جدول۱ و ۳ آمده است.

جدول۱- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به انباشت فلزات سنگین در برگ گونه‌های مورد بررسی

منبع تغییرات	درجه آزادی	سرب		روی		کادمیم		منگنز	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
مکان	۱	۰/۵۳۲	۹۷/۱۲۱**	/۷۸۳ ٤۹٥٤	۱٦۸/۰۰۸**	۸/۲٦۱	/۸٥۲** ۱٦۰	۳۳۲/٤۸٥	٦/٦۲۱*
گونه	٤	۰/۳٥۸	٦٥/٤٦۲**	۳۹٤/۳٤۰	۱۳/۳۷۱**	۹/۳۷۲	/٤٦۹** ۱۸۲	٦٥۹/۸٦٥	/٤۲٦** ۱۲
گونه × مکان	٤	۰/۳٤٥	٦۲/۹۲٥**	٤٥٥/٦۰۲	۱٥/٤٤۹**	۱/۲۷۷	۲٤/۸٦٦**	/٤۰٥ ۱۲۲۹	/۱٥۰** ۲۳
خطا	٤۰	۰/۰۰٥		۲۹/٤۹۱		۰/۰٥۱		٥۳/۱۰٦	
کل	٥۰								

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد

همان‌طور که در جدول۱ مشاهده می‌شود اثر گونهٔ درختی، مکان جمع‌آوری و نیز تأثیر متقابل این دو پارامتر بر روی مقدار انباشت فلزات سرب، روی، کادمیوم و منگنز در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بوده است.

به‌منظور بررسی وجود اختلاف معنی‌دار در بین میانگین‌های مربوط به انباشت فلزات در گونه‌های مختلف و همچنین در دو منطقه، تمام میانگین‌های مربوط به انباشت هر فلز در گونه‌های مختلف در مرکز شهر و در منطقهٔ شاهد، پس از تأیید همگنی واریانسها از طریق آزمون چنددامنه‌ای دانکن با همدیگر مقایسه شدند و معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها با حروف لاتین ناهمسان نشان داده شده است (جدول۲).

جدول ۲- مقایسهٔ میزان فلزات سنگین در گونه‌های مورد بررسی براساس میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک برگ (میانگین ± اشتباه معیار)

عناصر		سرو خمره‌ای	کاج سیاه	چنار شرقی	زبان گنجشک	نارون
سرب	شاهد	۰/۲۷^{cd}±۰/۰۱	۰/۱٥^{d}±۰/۰۲	۰/۲٤^{cd}±۰/۰٤	۰/۲۳^{cd}±۰/۰۳	۰/۲٦^{cd}±۰/۰۳
	آلوده	۱/۰۸^{a}±۰/۰۳	۰/۱۷^{d}±۰/۰۲	۰/۲^{cd}±۰/۰۱	۰/۳^{bc}±۰/۰٥	۰/۳۸^{b}±۰/۰۱
روی	شاهد	۲۳/۰۳^{c}±۱/۳٦	۲٥/٤۸^{c}±۱/۲٤	۲۰/٥٤^{c}±۲/۳٦	۲۳/۲^{c}±۱/۸۹	۲۲/۳۸^{c}±۱/۱
	آلوده	٤۳/۲^{b}±۰/٦٦	۲۷/٤۹^{c}±۰/۹٦	۳۹/٤٦^{b}±۱/٦۸	٦۳/۲۳^{a}±٦/۰٥	٤۰/۸^{b}±۲/۰۹
کادمیوم	شاهد	۳/۹۲^{b}±۰	۲/۳٦^{f}±۰/۱	۲/۳۲^{f}±۰/۱	۲/۷۳^{de}±۰	۲/٥٥^{ef}±۰/۱۳
	آلوده	٥/۹۰^{a}±۰/۱۲	۳/۱۹^{c}±۰/۱۱	۲/۹۹^{cd}±۰/۱۳	۲/۷۸^{de}±۰/۱	۳/۰۹^{c}±۰/۱
منگنز	شاهد	٤٤/٥٥^{cd}±٤/٤۰	٥٦/٦^{b}±۳/۱۷	۲۰/٥٥^{e}±۲/٦٥	٤۹/۲٦^{bc}±۳/۲۹	٥۰/٦٤^{bc}±٥/٥۰

Archive of SID

www.SID.ir

آلوده	۵۶/۲۲^{b}±۱/۷۵	۳٤/۷٦^{d}±۲/٦۳	۵۳/۳٦^{bc}±۳/۳۹	۳٦/٦^{d}±۱	٦٦/٤۵^{a}±۲/۷٦

حروف لاتین یکسان نشان‌دهندهٔ عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

با توجه به جدول۲، انباشت سرب، روی و کادمیوم در بیشتر گونه‌های منطقهٔ آلوده به‌طور معنی‌داری در سطح پنج درصد بیشتر از منطقهٔ شاهد است، اما مقدار منگنز از این روند پیروی نمی‌کند؛ به‌طوری‌که مقدار آن در برخی از گونه‌ها مثل کاج سیاه و زبان‌گنجشک در منطقهٔ شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقهٔ آلوده است، در حالی که در گونه‌های دیگر مورد بررسی مقدار آن در منطقهٔ آلوده بیشتر می‌باشد. در منطقهٔ آلوده با اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد، بیشترین مقدار انباشت فلزات سرب و کادمیوم در سرو خمره‌ای، فلز روی در زبان‌گنجشک و فلز منگنز در نارون مشاهده شده است.

همان‌طور که در جدول۳ مشاهده می‌شود، اثر گونهٔ درختی، مکان جمع‌آوری و نیز تأثیر متقابل این دو عامل روی مقدار رنگدانه‌های کلروفیل و اسیدآمینهٔ پرولین برگ گونه‌های مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. خلاصهٔ نتایج این مقایسه‌ها در شکلهای۱ و ۲ نشان داده شده است.

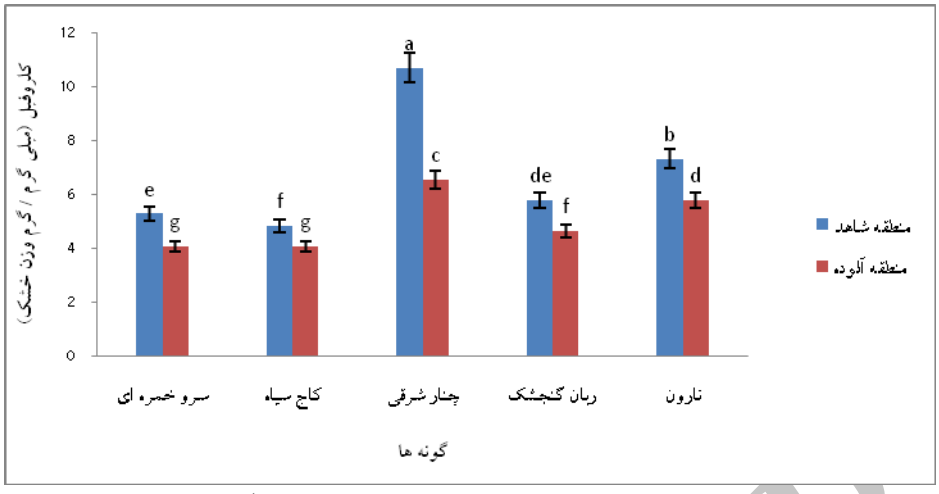
جدول۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به کلروفیل و پرولین در گونه‌های مورد بررسی

منبع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل		پرولین	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
گونه	٤	۳۳/۲٦۳	۵۵/۷۱٦**	٤/۲٤٦	٤۰/٦۸۳**
مکان	۱	۲۷/٤۵٤	٤۵/۹۸٦**	۰/۳۸۲	۳/٦٦۱**
گونه × مکان	٤	٦/۹۵۹	۱۱/٦۵٦**	۰/۸٦۰	۸/۲٤٤**
خطا	٤۰	۰/۵۹۷		۰/۱۰٤	
کل	۵۰				

**: اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱- مقایسهٔ میزان کلروفیل در گونه‌های مختلف در دو منطقهٔ آلوده و شاهد شهر سنندج

شکل۲- مقایسهٔ میزان پرولین در گونه‌های مختلف در دو منطقهٔ آلوده و شاهد شهر سنندج

همان‌طور که در شکلهای۱ و ۲ مشاهده می‌شود، مقدار کلروفیل برگ تمامی گونه‌های مورد بررسی در منطقهٔ آلوده با اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد کمتر از منطقهٔ شاهد است و در منطقهٔ آلوده بیشترین مقدار کلروفیل مربوط به گونهٔ چنار شرقی است. همچنین مقدار پرولین در کاج سیاه، زبان‌گنجشک و نارون در منطقهٔ آلوده به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه شاهد بوده و بیشترین مقدار پرولین با اختلاف معنی‌داری مربوط به گونهٔ نارون و کاج سیاه است.

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که اثر نوع گونهٔ درختی، منطقهٔ رویشی و نیز تأثیر متقابل دو جانبهٔ این دو پارامتر روی مقدار انباشت فلزات سنگین سرب، روی، کادمیوم و منگنز در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بوده است (جدول۱). به‌عبارت دیگر، می‌توان گفت که توانایی انباشت فلزات در گونه‌های مختلف چوبی مورد بررسی متفاوت است، همچنین از نظر مقدار انباشت فلزات در

Archive of SID

www.SID.ir

گونه‌های مشابه در دو منطقهٔ مورد بررسی یعنی در مرکز شهر سنندج به‌عنوان یک منطقه با ترافیک بیشتر و در محوطهٔ دانشگاه کردستان به‌عنوان یک منطقه با ترافیک کمتر تفاوت معنی‌داری وجود دارد. مطالعهٔ مقدار رنگدانهٔ کلروفیل و اسیدآمینهٔ پرولین در گونه‌های مختلف چوبی در دو منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که اثر گونهٔ درختی، منطقهٔ رویشی و نیز تأثیر متقابل آنها بر روی مقدار این دو مشخصه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول۳).

مقایسهٔ میانگین انباشت فلزات سنگین در گونه‌های درختی (جدول۲) نشان می‌دهد که انباشت سرب، روی و کادمیوم در بیشتر گونه‌های مورد بررسی در منطقهٔ آلوده (مرکز شهر سنندج) با اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بیشتر از منطقه شاهد است. در مورد فلز سرب، سرو خمره‌ای در مقایسه با دیگر گونه‌ها توانسته است مقدار بیشتری (۱/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) از این فلز را در منطقهٔ آلوده در خودش انباشته کند و این مقدار نسبت به مقدار جذب آن در منطقهٔ شاهد حدود ۳ برابر بیشتر است. در گونهٔ کاج و چنار از نظر انباشت سرب تفاوت معنی‌داری بین منطقهٔ آلوده و شاهد مشاهده نمی‌شود. در زبان‌گنجشک و نارون نیز مقدار انباشت سرب در منطقهٔ آلوده به‌ترتیب ۳۰ و ٤٦ درصد بیشتر از منطقهٔ شاهد است. مقدار فلز روی در برگ گونه‌های مورد بررسی در منطقهٔ شاهد با یکدیگر تفاوت قابل توجهی را نشان نمی‌دهد (جدول۲)، ولی در همهٔ آنها بجز گونهٔ کاج در منطقهٔ آلوده مقدار انباشت این فلز به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از منطقهٔ شاهد بوده است و بیشترین مقدار انباشت این فلز با تفاوت معنی‌داری در گونهٔ زبان‌گنجشک (٦٣/٢٣ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پس از آن به‌ترتیب در گونه‌های سرو خمره‌ای، نارون، چنار و کاج سیاه (٢٧/٤٩ میلی‌گرم در کیلوگرم) اتفاق افتاده است. در گونهٔ زبان‌گنجشک مقدار انباشت روی در منطقهٔ آلوده ۱/۷۳ برابر بیشتر از منطقهٔ شاهد بوده است. از نظر فلز کادمیوم نیز سرو خمره‌ای بیشترین مقدار جذب (۵/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) را در منطقهٔ آلوده داشته است و در همهٔ گونه‌ها به‌استثنای زبان‌گنجشک مقدار کادمیوم در منطقهٔ آلوده به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقهٔ شاهد بوده است. در مورد فلز منگنز این روند برای همهٔ گونه‌ها حاکم نبود، به‌طوری که مقدار این فلز در گونه‌های نارون، چنار و سروخمره‌ای در منطقهٔ آلوده به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر بود، ولی در گونه‌های کاج سیاه و زبان‌گنجشک در منطقهٔ شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقهٔ آلوده بود. بیشترین مقدار جذب منگنز در منطقهٔ آلوده توسط گونهٔ نارون (٦٦/٤٥ میلی‌گرم در کیلوگرم) انجام شده است. با مقایسه مقدار انباشت فلزات در گونه‌های مورد بررسی در مرکز شهر سنندج، به‌طور خلاصه می‌توان گفت که با اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد، بیشترین مقدار انباشت فلزات سرب و کادمیوم در سرو خمره‌ای، فلز روی در زبان‌گنجشک و منگنز در نارون اتفاق افتاده است. این نتیجه‌ها ضمن به‌اثبات رساندن وجود مقدار بیشتر فلزات سنگین در محیط مرکز شهر سنندج نسبت به منطقهٔ شاهد، نشان می‌دهد که اولاً گونه‌های گیاهی در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین می‌توانند بخشی از این فلزات را جذب کنند و به این طریق تا حدی از آلودگی محیط بکاهند و ثانیاً قابلیت و توانایی انباشت فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Burken *et al*., 2011) که این پدیده به احتمال زیاد به صفات فیزیولوژیک گونه‌ها مربوط می‌باشد، به‌طوری‌که برخی از گونه‌های گیاهی به-

Archive of SID

www.SID.ir

عنوان گیاهان سوپرجاذب تا حد زیادی می‌توانند فلزات سنگین را از محیط جذب کنند بدون اینکه خودشان دچار آسیب جدی شوند، در حالی که بعضی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب پایین‌تری داشته و ممکن است در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین در اثر مسمومیت آسیب دیده و از بین بروند (Gosh & Singh, 2005; Baycu *et al*., 2006). این نتیجه‌ها درخصوص تفاوت در مقدار انباشت فلزات سنگین در گونه‌های مختلف مورد بررسی با بسیاری از تحقیقات انجام شده در این خصوص همخوانی دارد. Khademi & kord (2010) نشان دادند که انباشت سرب در برگ چنار بیشتر از زبان‌گنجشک بوده، به‌نحوی‌که اظهار داشتند این تفاوت می‌تواند ناشی از مسن بودن پایه‌های گونه چنار نسبت به زبان‌گنجشک باشد. Vahabi & Ghodsi (1985) در تحقیقات خود این مطلب را تأیید کرده و اعلام کردند که مقدار سرب موجود در اندام‌های پایه‌های مسن نسبت به پایه‌های جوان نسبتاً بیشتر است. در تحقیقی مشخص شد که مقدار انباشت سرب و روی در افرای سیاه با اختلاف معنی‌داری بیشتر از چنار شرقی بوده است، ولی انباشت کادمیوم در چنار شرقی بیشتر بوده است (Atmaca & Doganlar, 2011). در تحقیق دیگری غلظت فلزات سرب، روی، کادمیوم و نیکل در برگ هفت گونه از درختان خزان‌کننده (شاه‌بلوط هندی، افرا، آسمان‌دار، زبان‌گنجشک، چنار شرقی، صنوبر و اقاقیا) در مناطق شهری استانبول، اندازه‌گیری گردید که بالاترین مقدار انباشت کادمیوم و روی در صنوبر، سرب در شاه‌بلوط هندی و اقاقیا، نیکل در اقاقیا و زبان‌گنجشک گزارش شد (Baycu *et al*., 2006).

مقایسهٔ مقدار رنگدانهٔ کلروفیل و اسیدآمینهٔ پرولین در گونه‌های مورد بررسی در دو منطقهٔ آلوده و شاهد (شکلهای۱ و ۲) نشان می‌دهد که نخست مقدار کلروفیل برگ تمامی گونه‌های مورد بررسی در منطقهٔ آلوده با اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد کمتر از منطقهٔ شاهد است، در حالی که از نظر مقدار پرولین عکس این روند حاکم بود، به‌طوری که مقدار آن در برگ همهٔ گونه‌ها در منطقهٔ آلوده بیشتر از منطقهٔ شاهد بود و درثانی در بین گونه‌های مورد بررسی از نظر مقدار کلروفیل کل برگ و همچنین از نظر مقدار پرولین تفاوت معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری که در منطقهٔ آلوده بیشترین میزان کلروفیل مربوط به گونهٔ چنار شرقی (حدود ۳۹ درصد کمتر از منطقهٔ شاهد) و کمترین مقدار آن مربوط به کاج سیاه و سرو خمره‌ای است. مقدار پرولین در کاج سیاه، زبان‌گنجشک و نارون در منطقهٔ آلوده به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقهٔ شاهد است و بیشترین مقدار پرولین مربوط به گونهٔ نارون است. البته بین نارون و سرو خمره‌ای از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

روند تغییر رنگدانه‌های کلروفیل و اسیدآمینهٔ پرولین در این تحقیق با بسیاری از تحقیقات انجام شده در این خصوص تا حد زیادی مطابقت دارد. البته لازم به ذکر است که در این خصوص روی گونه‌های چوبی گزارش چندانی وجود ندارد، ولی روی گونه‌های علفی گزارش زیادی وجود دارد که نشان می‌دهند حضور فلزات سنگین در محیط سبب کاهش رنگدانه‌های گیاهی و افزایش پرولین در برگ گیاهان می‌شود. همان‌طور که اشاره شد نتیجه‌های این تحقیق بیانگر کاهش قابل توجه رنگدانهٔ کلروفیل در محیط آلوده به فلزات سنگین است. دلیل این کاهش کلروفیل را تا حد زیادی می‌توان تجمع یون‌های فلزات در سلول‌های برگ دانست که موجب تنش در برگ می‌شوند (Bergmann, 2004). در چغندرقند کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

مقدار کلروفیل در اثر افزایش غلظت کادمیوم گزارش شده است (Greger *et al*., 1991). همچنین در دو علف هرز *Cyperus* و *Digitaria* نیز در اثر وجود فلزات سنگین مثل سرب و کادمیوم مقدار رنگدانهٔ کلروفیل به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است (Ewaise, 1997). بعضی شاخصهای فیزیولوژیکی گیاهان مانند اسیدآمینهٔ آزاد پرولین و رنگدانهٔ کلروفیل تحت تأثیر استرسهای محیطی از قبیل استرس خشکی، شوری، آلودگی به فلزات سنگین مختلف و غیره دچار تغییراتی می‌شوند (Ashraf & Foolad., 2007). فلزات سنگین به‌عنوان مثال سرب، روی، کادمیوم و مس سبب کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها می‌شوند (Radotic *et al*., 2000). Shariat *et al*. (2010) نشان دادند که افزایش غلظت کادمیوم در خاک سبب کاهش رنگدانهٔ کلروفیل و افزایش پرولین در برگ اکالیپتوس می‌شود.

در تحقیقی کاهش قابل توجه رنگدانه‌های فتوسنتزی در برگ *Avicennia marina* تحت تأثیر فلزات مس و روی مشاهده شد (Macfarlane & Burchett, 2001). در تحقیق دیگری که غلظت فلزات سرب، روی، کادمیوم و نیکل در برگ هفت گونه از درختان خزان‌کننده در مناطق شهری استانبول اندازه‌گیری شدند، داده‌های بدست‌آمده نشان دادند که مقدار کلروفیل و فعالیت پراکسیداز، می‌توانند به‌عنوان نشانگر زیستی برای بیان مقدار استرس وارد شده توسط فلزات سنگین در درختان سطح شهر محسوب شوند (Baycu *et al*., 2006). در تحقیقی وجود فلز منگنز در محیط به‌طور معنی‌داری سبب کاهش کلروفیل و افزایش اسیدهای آمینه آزاد مثل پرولین برگ در *Populus cathayana* شده است (Lei *et al*., 2007). در برگ *Paulownia fortunei* مقدار کلروفیل در نهالهای تحت استرس روی و مس بشدت کاهش یافته بود، اما در تیمارهای تحت استرس سرب و کادمیوم، مقدار این شاخص کاهش کمتری را نشان داد، در حالی که مقدار تجمع پرولین تحت استرس سرب و کادمیوم، افزایش قابل توجهی داشت (Wang *et al*., 2010). فلزات سنگین می‌توانند روی ساختار رنگدانه‌های گیاهی و آنزیم‌ها و همچنین عملکرد آنها تأثیر گذاشته و بنابراین می‌توانند بر رشد گیاهان و کاهش تنوع زیستی تأثیر منفی داشته باشند (Henry, 2000). در گونه آرابیدوبسیس افزایش غلظت پرولین و گلوتانیول در اثر افزایش غلظت کادمیوم در محیط گزارش شده است (Xu *et al*., 2010). در حقیقت می‌توان گفت که سازوکار متابولیک برای مقابله با تنش فلزات سنگین منجر به افزایش مقدار این اسیدآمینه در برگ گیاهان می‌شود (Shariat *et al*., 2010) دلیل افزایش تجمع پرولین در هنگام تنش‌های محیطی را می‌توان تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، کاهش صادرات آن از طریق آوند آبکش، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش و تخریب و اختلال در فرایند سنتز پروتئین دانست (Llamas *et al*., 2000).

از مهمترین نتایج تحقیق حاضر توانایی و مقایسهٔ گونه‌های چوبی مورد استفاده در جنگلداری شهر سنندج از نظر جذب فلزات سنگین و تغییرات فیزیولوژیک در آنها بوده است که تاکنون گزارش نشده بود. از نتایج دیگر این تحقیق بیان وجود مقدار قابل توجه فلزات سنگین در محیط مرکز شهر سنندج در مقایسه با محیط شاهد با ترافیک کمتر است. بنابراین با توجه به احتمال توسعهٔ بیشتر شهر و به‌تبع آن ترافیک بیشتر، باید در جنگلداری شهری با توجه به نوع آلودگی آن از گونه‌های مناسب استفاده شود. در این تحقیق چند گونهٔ چوبی که در فضای

Archive of SID

www.SID.ir

سبز بیشتر شهرهای ایران کاربرد فراوانی دارند با یکدیگر از نظر توانایی جذب فلزات سنگین مقایسه شدند، ولی برای اینکه مشخص شود هر یک از آنها تا چه اندازه برای پاک‌سازی محیط مناسب هستند، نیاز به تحقیق گسترده‌تری در شرایط مختلف می‌باشد.

منابع مورد استفاده

References

- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, 24:1–15.
- Ashraf, M. and Foolad, M.N., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59(2):206-216.
- Atmaca, M. and Doganlar, Z.B., 2011. Influence of airborne pollution on Cd, Zn, Pb, Cu, and Al accumulation and physiological parameters of plant leaves in Antakya (Turkey). Water Air Soil Pollution, 214: 509-523.
- Bates, L.S., Waldren, P.R. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of fro proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.
- Baycu, G., Ozden, H., Tolunay, D. and Gunebakan, S., 2006. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. Environmental Pollution, 143: 545-554.
- Bergmann, D.C., 2004. Integrating signals in stomatal development. Current Opinion in Plant Biology, 7(1): 26–32.
- 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.
- Ewaise, E.A., 1997. Effects of cadmium nickel and lead on growth, chlorophyll content and proteins of weed. Biologica Plantarum, 39(3):403-410.
- Gosh, M. and Singh, S.P., 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its hypoducts. Applied ecology and environmental research, 3(1): 1-18.
- Greger, M. and Ogren, E., 1991. Direct and indirect effects of Cd on photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*). Physiologia Plantarum, 83: 129-135.
- Henry, J.R., 2000. An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury. National Network of Environmental Management Studies Report, U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation office Washington, D.C.: 3-9.
- Khademi, A. and kord, B., 2010. The role of Broad Leaf tree species (the Plane tree and the ash) in reducing pollution from lead. Journal of Sciences and Techniques in Natural, 1:1-12.
- Khodakarami, Y., Shirvany, A., Zahedi amiri, Gh., Matinizadeh, M. and Safari, H., 2009. Comparison of lead absorption in organisms (root, stem and leaf) of Oak (*Quercus brantii*) and Pistachio (*Pistacia atlantica*) seedlings by spraying. Iranian Journal of Forest, 1(4):313-320.
- Lei, Y., Korpelainen, H. and Li, CH., 2007. Physiological and biochemical responses to high Mn concentrations in two contrasting *Populus cathayana* populations. Chemosphere, 68(4):686-694.
- Llamas, A., Ullrich, C.I. and Sanz, A., 2000. Cadmium effects on transmembrance electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryzasativa*) roots. Plant and Soil, 219: 21-28.
- Macfarlane, G.R. and Burchett, M.D., 2001. Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activity as Indicators of Heavy Metal Stress in the Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Marine Pollution Bulletin, 42(3): 233-240.
- Memon, A.R. and Schroder, P., 2009. Metal accumulation in plants and its implication in phytoremediation. Environmental Science and Pollution Research International, 16(2): 162-175.
- Piczak, K., Lesniewic, A. and Zyrnicki, W., 2003. Metal concentration in deciduous tree leaves from urban Arasin Poland. Environmental monitoring and assessment, 86: 273-287.
- Radotic, K., Ducic, T. and Mutavdzic, D., 2000. Changes in peroxidase activity and isoenzymes in spruce needles after exposure

Archive of SID

www.SID.ir

to different concentrations of cadmium. Environmental and Experimental Botany, 44:105–113.
- Shariat, A., Assareh, M.H. and Ghamarizare, A., 2010. Effect of cadmium on some physiological characteristics of *Eucalyptus occidentalis*. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 14(53):145-153.
- Vahabi, A. and Ghodsi, J., 1985. Distribution of lead in the plant and soil of the Lahijan tea fields in relation to distance of the Road. Jehad of Tehran University, 127p.
- Wang, J., Zhang, CH., Ke, SH. and Li, W., 2010. Physiological responses and detoxific mechanisms to Pb, Zn, Cu and Cd in young seedlings of *Paulownia fortunei.* Journal of Environmental and Experimental Botany, 22(12): 1916-1922.
-Westerma, R.E.L., 1990. Soil testing and plant analysis, SSSA, Madison wisconsin, USA.
- Xu, J., Yin, H., Liu, X. and Li, X., 2010. Salt affects plant Cd-stress responses by modulating growth and Cd accumulation. Planta, 231(2): 449–459.

Archive of SID

www.SID.ir

Comparison of phytoremediation of heavy metals by woody species used in urban forestry of Sanandaj city

N. Shabanian[1*] and CH. Cheraghi[2]

[1*]- Corresponding author, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, I.R. Iran. E-mail: N. Shabanian@uok.ac.ir

2- M.Sc. Student, Department of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, I.R. Iran.

Received: 18.09.2012 Accepted: 10.03.2013

Abstract

Phytoremediation is an emerging, safety, cost-effective and potentially effective technology applicable for restoration of heavy metals contaminated environment. In order to study the remediation ability of woody plants used in Sanandaj urban forestry, we measured accumulation of Pb, Zn, Cd and Mn in five woody species, including *Platanus orientalis, Ulmus carpinifolia, Fraxinus rotundifolia, Biota orientalis* and *Pinus nigra*, planted in the center of Sanandaj, capital of Kurdistan province of I.R. Iran (as a pollutant area) and Kurdistan university court (as a control area) as well. Impact of the metals on some physiological traits of the species were also studied. For this reason, a completely randomized factorial experiment design with two factors, including 1- site at two levels (control and pollutant area) and 2- species at five levels (crock cypress, black pine, ash, elm and plane) with five replications, was used. Results showed that the accumulation of Pb, Zn and Cd in most species in the pollutant area was significantly higher than that of the control area ($\rho<0.05$). Maximum accumulation of Pb and Cd was observed in *B. orientalis*, Zn in *F. rotundifolia* and Mn in *U. carpinifolia*. The chlorophyll pigment in the leaves of all species in the pollutant area was lower than in the control area, while proline was higher. The highest amount of chlorophyll and proline was observed in *P. orientalis* and *U. carpinifolia*, respectively.

Keywords: *Biota orientalis, Fraxinus rotundifolia*, *Ulmus carpinifolia*, *Platanus orientalis,* Proline, Chlorophyll

Archive of SID

www.SID.ir