محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ٢، تابستان ١٣٩٤، صفحهٔ ٣٦٠-٣٥١

# زیست‌ردیابی آلودگی هوای مناطق شهری با استفاده از گونه‌های چنار و زبان گنجشک (مطالعهٔ موردی: شیراز)

**علی‌رضا پورخباز[1]*، زهره شیروانی[2]، محمدقادر قادری[3]**

۱. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند، z_shirvani@yahoo.com

۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بیرجند Ghaderi@yahoo.com

تاریخ وصول مقاله:۹۲/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۰/۸

## چکیده

گیاهان و جانوران به‌منزلهٔ زیست‌ردیاب در بسیاری از نقاط جهان استفاده شده‌اند. در این تحقیق، برگ و پوست درختان چنار و زبان گنجشک به‌منزلهٔ زیست‌ردیاب آلودگی هوا در شیراز ارزیابی شدند. نمونه‌های گیاه از سایت‌های چهارگانهٔ (آزادی، ولیعصر، خلدبرین و شهرک گلستان) در دو مرحله (اواخر خرداد و شهریور ۱۳۹۰) جمع‌آوری شدند. برای تعیین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های برگ و پوست، پس از هضم اسیدی، از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. میزان کادمیوم در همهٔ ایستگاه‌ها پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه و میانگین غلظت فلزات سرب و مس در نمونه‌های برگ و پوست بین ایستگاه‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بود. نتایج به صورت زیر بود:

– میانگین غلظت فلزات ($\mu g\ g^{-1}$) در برگ چنار: سرب ۱/۸۵، مس ۱۴/۸۸؛

– میانگین غلظت فلزات ($\mu g\ g^{-1}$) در برگ زبان گنجشک: سرب ۱/۱۸، مس ۷/۲۵.

نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در پوست بیشتر از برگ است. البته برگ درخت چنار، که مقادیر بالاتری از فلزات سنگین را در مقایسه با برگ زبان گنجشک جمع می‌کند، کارایی بیشتری به‌منزلهٔ بیواندیکاتور برای آلودگی شهری نشان می‌دهد. هر دو گونهٔ شاخص، در مطالعات مقایسه‌ای برای تعیین زیستی آلودگی هوای شهری مناسب‌اند.

## کلیدواژه

چنار، زیست‌ردیابی، زبان گنجشک، فلزات سنگین، مناطق شهری.

## ۱. سرآغاز

محیط‌زیست مجموعه‌ای بسیار عظیم و درهم پیچیده از عوامل گوناگونی است که در اثر روند و تکامل تدریجی موجودات زنده و اجزای سازندهٔ سطح زمین به وجود آمده و در فعالیت‌های انسان تأثیر گذاشته است و از آن متأثر می‌شود. طی تاریخ بشری رابطهٔ انسان با محیط‌زیست همواره به صورت تابعی از رفتار او با پیرامون طبیعی خود بوده به طوری که این رفتار طی قرون متمادی اشکال گوناگونی به خود گرفته و روز به روز بر گستردگی و پیچیدگی آن افزوده شده است (عباس‌پور، ۱۳۷۱). صنعتی‌شدن و نوگرایی سبب ورود مقدار زیادی از عناصر سنگین به اتمسفر شده است و این عناصر در نهایت به صورت فرونشت خشک و تر روی سطح خاک و گیاهان قرار می‌گیرند. در مقیاس جهانی فرونشت جوی مهم‌ترین عامل ورود عناصر سنگین به خاک و گیاهان محسوب می‌شود (عطاآبادی و همکاران، ۱۳۸۸). آلاینده‌ها به‌ویژه

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۱۶۰۹۰۶۶

Email: Apourkhabbaz@birjand.ac.ir

فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه‌بودن و آثار فیزیولوژیکی در موجودات زنده، حتی در غلظت‌های کم، حائز اهمیت بودند و به نوبهٔ خود مختل‌کنندهٔ اکوسیستم‌ها به شمار می‌روند (Diatta and Grzebisz, 2003). در کشور ما نیز با توجه به توسعهٔ صنعتی در نیمهٔ دوم قرن اخیر و برنامه‌ریزی‌های آتی و روند رو به رشد تعداد وسایط نقلیهٔ بنزین‌سوز، بررسی و بحث روی آلاینده‌ها و آثار آن‌ها در چرخهٔ زیست محیطی به صورت امری ضروری درآمده است. خودروها عموماً منابع اصلی تولید آلاینده‌های فلزات سنگین در شهرها به شمار می‌روند که این آلاینده‌ها به صورت ذرات از اگزوز یا دیگر اجزا خودرو وارد محیط می‌شوند. سرب و کادمیوم از دسته آلاینده‌های خودرویی‌اند که به دلیل سمّیت زیاد برای طبیعت و انسان و ایجاد عوارض متعددی همچون بیماری‌های خونی، عصبی و استخوانی مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته‌اند. سرب عموماً در نتیجهٔ استفاده از سوخت‌های بنزینی سرب‌دار و کادمیوم نیز از طریق استهلاک خودروها و انتشار ترافیکی به محیط شهری وارد می‌شود (تائبی و همکاران، ۱۳۸۶). مس نیز از طریق منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی منتشر می‌شود، بنابراین در محیط‌زیست گسترش فراوانی دارد. در هر صورت افزایش غلظت فلزات سنگین (به‌منزلهٔ یکی از آلاینده‌های اصلی) در محیط همچون مس، سرب، روی و غیره، سبب صدمه‌زدن به درختان و پوشش گیاهی می‌شود (Wang and schaap, 1988). بنابراین، انتخاب شاخص‌های زندهٔ[1] مناسب روشی مفید برای به دست آوردن اطلاعات تحلیلی مهم از آلودگی با فلزات سنگین است. زیست‌ردیابی با گیاهان روشی کم‌هزینه و باارزش برای بررسی تأثیر آلاینده‌های مختلف هوا و به طور کلی محیط است (Celik, et al., 2004). پورخباز و پورخباز (۱۳۸۷) میزان فلزات سنگین در هوای مشهد را با شاخص‌های زیستی گیاهی اندازه‌گیری کردند، نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین در برگ درختان به میزان ترافیک و موقعیت درختان در سطح شهر بستگی دارد.

سایر تحقیقات از جمله حبیبی (۱۳۷۸)، Lagerwerff و Specht (۱۹۷۰)، Rahn (۱۹۷۹) و Karakas (۲۰۰۴) نشان می‌دهند که منابع فلزات سرب، روی، کادمیوم و مس، فعالیت‌های بشری به ویژه وسایط نقلیه است. وسایط نقلیهٔ موتوری، به ویژه نزدیک مراکز پرترافیک و سیستم گرمایش مرکزی ساختمان‌ها مهم‌ترین منابع آلایندهٔ هوا به شمار می‌روند (Mudd, and Koslowski, 1975). Kocić و همکاران (۲۰۱۳) از درختان به‌منزلهٔ تجمع‌کننده‌های زیستی[2] فلزات سنگین سرب، نیکل، مس و روی در مناطق پرترافیک شهری استفاده کرده‌اند. شیراز از جمله شهرهای پرجمعیت است که دچار آلودگی هواست. به علت واقع‌شدن شهر بین دو رشته کوه انتهای جنوبی زاگرس، رشد به نسبت بالای جمعیت و روند رو به افزایش آلاینده‌ها، به نظر می‌رسد که مشکل آلودگی طی زمان روند صعودی و کمتر قابل پیشگیری را به خود بگیرد (واثقی، زیبایی، ۱۳۸۵). این تحقیق با هدف بررسی شدت آلودگی هوا به فلزات سنگین مانند مس، کادمیوم و سرب در مناطق ترافیکی شیراز با استفاده از دو گونهٔ درختی پهن برگ (چنار و زبان گنجشک) به‌منزلهٔ زیست‌ردیاب غیرفعال انجام شد.

## ۲. مواد و روش بررسی

در این تحقیق، برای بررسی غلظت آلاینده‌های موجود در گیاهان، چهار منطقهٔ فضای سبز در ترافیک‌های متفاوت در سطح شیراز به‌منزلهٔ ایستگاه‌های مورد نظر شامل پارک آزادی در منطقهٔ مرکزی با ترافیک زیاد (ایستگاه پرترافیک)، پارک ولیعصر (نزدیک به ترافیک متوسط)، پارک خلدبرین (نزدیک به ترافیک کم) و شهرک گلستان (دارای ترافیک جزئی و به‌منزلهٔ رویشگاه شاهد) انتخاب شدند. سپس، نمونه‌های برگ و پوست گونه‌های چنار و زبان گنجشک که به صورت غالب و مشترک در بین این رویشگاه‌ها وجود داشت به‌منزلهٔ گونه‌های درختی مورد مطالعه در دو زمان خرداد و شهریور انتخاب شدند.

### ۱.۲. نمونه برداری، آماده‌سازی و تجزیهٔ نمونه‌های گیاه

در هر ایستگاه نمونه برداری از برگ و پوست هر درخت در ۳ تکرار به طور تصادفی و به صورت دوترکیبی انجام شد. نمونه‌برداری از برگ از چهار سمت تاج هر درخت انجام گرفت و با هم مخلوط و به دو قسمت مساوی تقسیم شد. یک قسمت کاملاً با آب دوبار تقطیر شسته شد تا گرد و خاک و مواد ته‌نشست‌شده روی برگ زدوده شود و قسمت دیگر دست‌نخورده برای تجزیهٔ شیمیایی باقی ماند. نمونه‌های پوست از خارجی‌ترین بخش و با چاقوی استیل برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه جداسازی پوست از بخش چوبی برای تهیهٔ نمونه‌هایی به ضخامت ۲ میلی‌متر انجام شد. نمونه‌های گیاهی ابتدا روی ورقه‌های کاغذی تمیز خشک و کلیهٔ نمونه های برگ و پوست در آون در دمای ۶۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. سپس، نمونه‌ها به وسیلهٔ آسیاب برقی به صورت پودر درآمدند و برای انجام آزمایش‌های هضم اسیدی آماده شدند. برای تعیین فلزات سنگین در نمونه‌های برگ و پوست، نیم گرم نمونهٔ آماده‌شده و پودرشده (وزن خشک)[۳] در ارلن ۵۰ میلی‌لیتر ریخته و به آن ۳ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۶۵ درصد اضافه و به مدت یک شب در دمای اتاق نگهداری شد. سپس، ۱/۵ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۷۰- ۷۲ درصد به آن اضافه و به مدت ۶ ساعت روی حمام شن گذاشته شد تا نمونه‌ها بی‌رنگ شوند. پس از سردشدن به نمونه‌های گیاه آب مقطر اضافه و پس از عبور از کاغذ صافی وارد ارلن و به حجم ۵۰ میلی‌لیتری رسانده شد. غلظت عناصر سنگین کادمیوم، سرب و مس در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی تفاوت معنی‌دار بین ایستگاه‌های تحت بررسی از نظر میزان فلزات سنگین از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل استفاده شد. برای تعیین اهمیت شست وشوی برگ‌ها، آزمون t جفت‌شده برای مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین در گیاهان شسته‌شده و نشده برای هر ایستگاه به کار گرفته شد. در نهایت، آزمون F (ANOVA) برای مقایسهٔ مکان‌های مختلف و مقایسهٔ میانگین مقدار فلزات سنگین در برگ‌های شسته‌شده و خاک استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارهای لازم از نرم‌افزارهای SPSS و Excel استفاده شد.

### ۳. نتایج

نتایج نشان می‌دهد توانایی گونه‌ها برای پایش آلاینده‌ها بر اساس نوع مکان فرق می‌کند. غلظت عنصر کادمیوم در تمامی نمونه‌ها از حد تشخیص دستگاه پایین‌تر بود. میانگین غلظت فلزات سنگین سرب و مس در برگ‌های شسته‌شده و نشده در دو گیاه چنار و زبان گنجشک در ایستگاه‌های مختلف در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. ایستگاه‌های مختلف مقادیر متفاوتی از میزان عناصر را نشان می‌دهند، اما نتایج نشان می‌دهد که برای میانگین فلز سرب اختلاف معنی‌داری بین برگ‌های شسته‌نشده و شدهٔ دو گونه وجود ندارد، این در حالی است که در خصوص میانگین فلز مس این اختلاف معنی‌دار است. غلظت عناصر سرب و مس در پوست و برگ درخت چنار در ایستگاه‌ها و زمان‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. حداکثر غلظت فلز سرب برگ و پوست درخت چنار در شهریور به ترتیب با مقدار ۲/۸۰ و ۴/۱۶ میکروگرم در گرم و برای فلز مس ۱۸/۲۷ و ۷/۸۵ میکروگرم بر گرم مشاهده شد. این مقدار برای فلز سرب در برگ و پوست درخت زبان گنجشک نیز به ترتیب در شهریور ۱/۷۹ و ۳/۵۰ و فلز مس ۱۴/۴۳ (شهریور) و ۷/۹۵ (خرداد) میکروگرم بر گرم محاسبه شد (جدول ۴). با توجه به نوع رویشگاه (مکان‌های نمونه‌برداری در شهر)، میزان تراکم پوشش گیاهی و حجم ترافیک، غلظت عناصر در درختان اندازه‌گیری شد. به دلیل اینکه بین مناطق مورد نظر از نظر تراکم پوشش درختان چنار و زبان گنجشک اختلاف چندانی دیده نمی‌شود، تراکم پوشش گیاهی یکسان فرض شد. میزان تردد وسایط نقلیه، که مهم‌ترین عامل آلودگی شیراز است، در مناطق یادشده بسیار متغیر است که خود فاکتور اصلی در تجمع فلزات سنگین در درختان به شمار

می‌رود. به طوری که حداکثر غلظت فلز سرب و مس در پوست درخت چنار در ایستگاه آزادی (با ترافیک سنگین) به ترتیب ۱۰ و ۱۱/۱۴ و برای درخت زبان گنجشک ۴/۳۳ و ۱۵/۵۸ میکروگرم بر گرم بود، در حالی که حداقل مقدار برای هر دو فلز در ایستگاه گلستان به‌منزلهٔ منطقهٔ شاهد مشاهده شد. مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین بین برگ و پوست گونهٔ چنار نشان داد که غلظت فلز مس بین برگ و پوست دارای اختلاف معنی داری است در صورتی که در خصوص فلز سرب هیچ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین بین برگ و پوست گونهٔ زبان گنجشک نشان داد که غلظت فلز مس و سرب بین برگ و پوست دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۵).

**جدول ۱. میزان حذف فلزات سنگین ($\mu g\ g^{-1}$ DW) در اثر شست‌وشو در برگ درختان چنار**

| ایستگاه | Cu | | | pb | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | T-Test | برگ شسته‌شده | برگ شسته‌نشده | T-Test | برگ شسته‌شده | برگ شسته‌نشده |
| ۱ | n.s | ۱۰/۵۶ | ۱۶/۸۳ | n.s | ۱ | ۴/۲۵ |
| ۲ | n.s | ۱۵/۵۱ | ۲۲/۸۳ | n.s | ۰ | ۰/۶۱ |
| ۳ | * | ۶/۰۸ | ۱۰/۶۸ | * | ۰/۶۶ | ۱/۵۸ |
| ۴ | * | ۵/۱ | ۹/۱۸ | n.s | ۰/۳۳ | ۱ |
| میانگین | * | ۹/۳۱ | ۱۴/۸۸ | n.s | ۰/۵۰ | ۱/۸۶ |

n.s، * و ** به ترتیب نشان‌دهندهٔ غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد است.

**جدول ۲. میزان حذف فلزات سنگین ($\mu g\ g^{-1}$ DW) در اثر شست‌وشو در برگ درختان زبان گنجشک**

| ایستگاه | cu | | | pb | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | T-Test | برگ شسته‌شده | برگ شسته‌نشده | T-Test | برگ شسته‌شده | برگ شسته‌نشده |
| ۱ | n.s | ۵/۸۸ | ۹/۶۸ | n.s | ۰ | ۰/۷۵ |
| ۲ | n.s | ۳/۹۵ | ۶/۳۶ | * | ۰/۵۸ | ۲/۵۸ |
| ۳ | n.s | ۳/۸۳ | ۷/۰۸ | n.s | ۰/۲۵ | ۱/۴۱ |
| ۴ | n.s | ۳/۳۵ | ۵/۹ | n.s | ۰ | ۰ |
| میانگین | ** | ۴/۲۵ | ۷/۲۵ | n.s | ۰/۲ | ۱/۱۸ |

n.s، * و ** به ترتیب نشان‌دهندهٔ غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد است.

**جدول ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین ($\mu g\ g\text{-}1$ DW) در چنار**

| ایستگاه | تعداد | Cu | | pb | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | پوست | برگ | پوست | برگ |
| | | میانگین±انحراف معیار | میانگین±انحراف معیار | میانگین±انحراف معیار | میانگین±انحراف معیار |
| ۱ | ۶ | ۱۰/۵۸±۱۱/۱۴ | ۵/۲۷±۱۶/۸۳ | ۱۲/۰۲±۱۰ | ۵/۰۶±۴/۲۴ |
| ۲ | ۶ | ۴/۴۷±۸/۹۹ | ۱۰/۲۲±۲۲/۸۳ | ۲/۷۱±۹/۵۸ | ۰/۷۷±۰/۶۱ |
| ۳ | ۶ | ۰/۸۲±۵/۶۱ | ۲/۵۷±۱۰/۶۸ | ۱/۲۹±۱/۹۱ | ۰/۳۵±۱/۵۸ |
| ۴ | ۶ | ۰/۴۷±۱/۰۶ | ۱/۱±۹/۱۸ | ۰/۵۸±۰/۴۱ | ۲/۵۲±۱ |
| میانگین | | ۵/۹۶±۶/۷ | ۷/۳۱±۱۴/۸۸ | ۶/۶±۵/۴۷ | ۲/۵۲±۱/۸۵ |
| خرداد | | ۷/۱±۵/۵۶ | ۵/۴۵±۱۱/۴۹ | ۶/۳۷±۳/۷ | ۱/۶۳±۰/۹۱ |
| شهریور | | ۱۲/۳۶±۷/۸۵ | ۹/۲۷±۱۸/۲۷ | ۶/۶±۴/۱۶ | ۳/۲۶±۲/۸ |

**جدول ۴. میانگین غلظت فلزات سنگین ($\mu g\ g^{-1}$ DW) در زبان گنجشک**

| ایستگاه | تعداد | Cu | | pb | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | پوست | برگ | پوست | برگ |
| | | میانگین± انحراف معیار | میانگین± انحراف معیار | میانگین ±انحراف معیار | میانگین±انحراف معیار |
| ۱ | ۶ | ۶/۱۱±۱۵/۵۸ | ۱/۹۲±۹/۶۸ | ۳/۱۳±۴/۳۳ | ۰/۸۲±۰/۷۵ |
| ۲ | ۶ | ۸/۲۹±۱۱/۱۳ | ۱/۴۲±۶/۳۶ | ۳/۶۴±۴/۰۸ | ۱/۶۲±۲/۵۸ |
| ۳ | ۶ | ۳/۲۲±۶/۸ | ۲/۲۴±۷/۰۸ | ۲/۴۱±۳/۹۱ | ۱/۴۱± ۰ |
| ۴ | ۶ | ۰/۰۴±۰/۰۸ | ۱/۳۱±۵/۹ | ۰± ۰ | ۲/۱۳± ۰ |
| میانگین | | ۶/۴۶±۱۰/۹۳ | ۲/۲۲±۷/۲۵ | ۳/۱±۳/۰۸ | ۱/۶۲±۱/۱۸ |
| خرداد | | ۶/۷۹±۱۴/۴۳ | ۲/۰۲±۷/۹۵ | ۲/۹±۲/۶۶ | ۰/۹±۰/۵۸ |
| شهریور | | ۳/۲۳±۷/۱۱ | ۲/۲۷±۶/۵۶ | ۳/۳۴±۳/۵ | ۱/۹۸±۱/۷۹ |

**جدول ۵. مقایسهٔ غلظت فلزات سنگین بین برگ و پوست گونه‌های چنار و زبان گنجشک**

| | Cu | | pb | |
|---|---|---|---|---|
| | F | P | F | p |
| چنار | ۷/۴۸ | **۰/۰۵ | ۱/۴۱ | n.s۰/۲۹ |
| زبان گنجشک | ۷/۴۲ | **۰/۰۵ | ۱۱/۰۹ | **۰/۰۲ |

n.s و ** به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ درصد است.

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان می‌دهد میزان سرب و مس جذب‌شده از طریق برگ و پوست در گونهٔ چنار بیشتر از زبان گنجشک است. این تفاوت دلایل چندی دارد از جمله می‌تواند ناشی از مسن بودن پایه های گونهٔ چنار نسبت به گونهٔ زبان گنجشک باشد که حقیقت‌خادم (۱۳۷۰) در تحقیقات خود این مطلب را تأیید و اعلام کرد که میزان سرب در اندام‌های پایه‌های مسن نسبت به پایه‌های جوان‌تر به مراتب بیشتر است. دلیل دیگر این است که سطح برگ‌ها در نگهداری فلزات سنگین از جمله سرب مؤثر است. پورخباز و پورخباز (۱۳۸۷) در تحقیق‌شان نشان دادند که اندازهٔ برگ (نسبت سطح به وزن) در برگ گونهٔ چنار نسبت به برگ گونهٔ زبان گنجشک در به دام انداختن فلزات سنگین نقش شایان توجهی دارد. به همین دلیل برگ‌های چنار که سطح پهن‌تری نسبت به زبان گنجشک دارند، میزان بیشتری از سرب و مس را در خود ذخیره می‌کنند.

از طرفی، برگ‌های زبر و خشن میزان بیشتری از این فلزات را نسبت به برگ‌های صاف نگهداری می‌کنند، زیرا این برگ‌ها با شست‌وشو میزان کمتری از فلزات را از دست می‌دهند (Smith, 1976). در هر صورت فلز مس به‌منزلهٔ عنصر فرعی (میکروالمان) ضروری است که به نظر می‌رسد غلظت آن در بافت‌های گیاهی تابع مقدارش در خاک باشد (Gonzalez soto, 1996). غلظت مس در گونه‌های گیاهی از ۵ تا ۲۰$\mu g\ g^{-1}$ متغیر است و مقدار بالاتر از ۲۰ $\mu g\ g^{-1}$ برای گیاهان سمی است (Kabata-Pendias, and Pendias, 1984). مقدار حد مجاز این عنصر در شاخ و برگ گونه‌های درختی بین ۲ تا ۳ $\mu g\ g^{-1}$ است (Mancovska, et al., 2004)، البته مقدار طبیعی سرب در گیاهانی که در نواحی غیرآلوده (پاک) رشد و نمو می‌کنند ثابت و حدود ۰/۱ تا ۱۰ $\mu g\ g^{-1}$ است (Alaimo, et al., 2000).

### ۱.۴. غلظت عناصر در برگ

برگ‌های درختان مخزن مهمی برای آلاینده‌های فلزی محسوب و به طور وسیعی برای پایش آلودگی فلزات استفاده می‌شوند، بنابراین نسبت به سایر اندام‌های گیاه

بسیار حساس‌ترند (Madejon, et al., 2004). بنابراین، با توجه به نوع رویشگاه (مکان‌های نمونه‌برداری) و حجم ترافیک در این رویشگاه‌ها، غلظت عناصر سرب و مس در برگ درختان چنار و زبان گنجشک اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد که غلظت این عناصر به طور معنی‌داری در ایستگاه‌های با ترافیک کمتر گلستان و خلدبرین، پایین‌تر از مکان‌های با ترافیک سنگین مانند پارک آزادی و ولی‌عصر است. پورخباز و پورخباز (۱۳۸۷) در تحقیقات خود نشان دادند که مقادیر سرب، روی، مس و کروم در برگ درختان چنار و زبان گنجشک مشهد با افزایش فاصلهٔ محل نمونه‌برداری از مرکز ترافیک کاهش می‌یابد. Sawidis و همکاران (۱۹۹۵) نیز ارتباط مثبت بین غلظت فلزات و تراکم ترافیک در گیاهان مختلف را یافتند. kabata و Pendias (۱۹۸۴) گزارش کردند که تجمع سرب در بسیاری از گیاهان در ریشه اتفاق می‌افتد، اما انتقال آن‌ها به اندام‌های بالا بسیار محدود و در حد ۳ درصد است. Kocić و همکاران (۲۰۱۳) نیز این موضوع را تأیید می‌کنند و بیان می‌دارند که کمتر از ۲ درصد میزان سرب موجود در برگ درختان از طریق جذب ریشه و تقریباً ۹۸ درصد آن از طریق اتمسفر است. بنابراین، مهم‌ترین آلودگی سرب برگ درختان به‌ویژه در نواحی شهری ناشی از حمل و نقل وسایط نقلیه است. جداول ۱ و ۲ میزان حذف فلزات سنگین را در اثر شست‌وشو در دو گونهٔ چنار و زبان گنجشک نشان می‌دهد. میزان فلزات سنگین استخراج‌شده در برگ‌های شسته‌شده تفاوت زیادی با برگ‌های شسته‌نشده دارد، غلظت سرب ۱۷- ۱۰۰ درصد و مس ۵۴- ۶۸ درصد، بسته به میزان آلودگی در منطقهٔ مطالعاتی کاهش نشان داد. همان‌طور که Little و Martin (۱۹۷۲) و Chamberlain (۱۹۸۳) گزارش کردند آلودگی گیاهان به وسیلهٔ فلزات به طور اساسی با نگهداری مواد ویژه اتفاق می‌افتد. آلودگی فلزات به میزان فراوانی بر اساس شدت و جهت باد، ترکیب غبار و مقادیر pH متغیر است (Al-Khashman, et al., 2011). نتایجی که از سوی حقیقت‌خادم (۱۳۷۰) انجام شد نیز با مطالعهٔ حاضر مطابقت دارد، اما غلظت فلز مس از نظر آماری به طور معنی‌داری در برگ‌های شسته‌نشده بالاتر از برگ‌های شسته‌شده در هر دو درخت زبان گنجشک و چنار بود، هرچند نسبت به فلز سرب درصد حذف کمتری را نشان داد. Celik و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعهٔ خود روی اقاقیا اعلام کردند که میزان فلزات سنگین به وسیلهٔ روند شستن حذف می‌شود که این میزان به سطح آلودگی نمونه‌ها و ارزش ضرورت عناصر در گیاه بستگی دارد. تحقیقات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد مقداری از ته‌نشست‌های اتمسفری قابلیت شست‌وشو دارند به‌ویژه زمانی که مقدار عناصر در سطح برگ در حد بالا باشد. در هر صورت Al-Khashman و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که شست‌وشوی برگ‌ها با آب دوبار تقطیر تا ۵۰ درصد از فلز سرب را از سطح برگ پاک می‌کند، هرچند این مقدار بسته به نوع برگ و غلظت عناصر می‌تواند افزایش یابد. Guala و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که شست‌وشوی برگ تا ۴۰ درصد فلز مس را از سطح برگ‌های *Lantana camara* می‌زداید. غلظت فلزات برگ در دورهٔ رشد درختان در ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییراتی را نشان می‌دهد. این اختلاف از نظر آماری برای هر دو فلز سرب و مس در برگ گیاه چنار در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود که به دلیل وجود برگ‌های در حال رشد در خرداد و برگ‌های بالغ و پیر در شهریور است، زیرا طی دورهٔ رشد و به دلیل سطح برگ چنار میزان قابل توجهی از عناصر در سطح برگ ته‌نشست می‌کند (Monaci, et al., 2000).

با توجه به اینکه جذب عناصر در گیاهان پدیدهٔ فعال فیزیولوژیک است، لذا در ماه‌های گرم سال با افزایش دما و تنفس، میزان جذب افزایش می‌یابد. مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته است که نقش فصول و ماه‌های مختلف را در میزان جذب در گیاهان بررسی کردند و اظهار داشتند که بیشترین میزان جذب فلزات مخصوصاً سرب در تابستان و در شهریور صورت می‌گیرد. همچنین، به دلیل شرایط جوی از جمله کاهش وزش باد و بارندگی طی فصل گرم در این منطقه، میزان جذب از طریق گیاه در تابستان بیشتر از بهار است. تحقیقاتی که در استانبول ترکیه در دو زمان مختلف در سال ۲۰۰۶ روی درختان منطقه

انجام شده است با مطالعات حاضر مطابقت می‌کند (Baycu, et al., 2006; Monaci, et al., 2000). مقایسهٔ مستقیم نتایج تحقیق با سایر مطالعات همیشه به دلیل نوع درختان، شرایط آب و هوایی، نمونه‌برداری، تکنیک‌های آزمایشگاهی و منابع آلودگی متفاوت است.

## ۲.۴. غلظت عناصر در پوست

پوست درختان همچنین برای پایش زیست‌محیطی استفاده می‌شود، اما انتقال عناصر سنگین از ریشه به پوست درختان به نظر بسیار ناچیز است (Madejon, et al., 2004). غلظت فلزات سنگین در پوست تنهٔ درختان به مراتب بیشتر از برگ‌های آن‌هاست. این ممکن است به علت خشن و ناصاف‌بودن پوست تنهٔ درختان باشد که در نتیجه فلزات روی آن به مقدار کمتری از طریق باد جدا می‌شوند. همچنین، به علت چندساله‌بودن پوست تنهٔ درختان احتمالاً ذخیرهٔ فلزات سنگین داخل بافت آن‌ها بیشتر است. این نتیجه با تحقیقات Huhn و همکاران (۱۹۹۵)، Schulz و همکاران (۱۹۹۹) و Saarelaa و همکاران (۲۰۰۵) در خصوص پوست درخت مطابقت دارد. سایر تحقیقات (Zhang and Wang, 2009) نشان می‌دهد که به دلیل موقعیت تنهٔ درختان نسبت به برگ‌ها از سطح جاده امکان ته‌نشست ذرات فلزی جاده روی پوست بیشتر است. علاوه بر این، در خصوص برگ‌ها، احتمالاً برخی از آن‌ها روی درخت مانعی برای فرونشینی ذرات روی برگ دیگر است، اما در خصوص تنهٔ درختان چنین نیست. در هر صورت، مطالعات ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که غلظت این فلزات ارتباط مستقیمی با حجم ترافیک دارد. علاوه بر خودروها، اتوبوس‌های درون‌شهری که گازوئیل‌سوزند نیز به میزان غلظت فلزات سنگین در این ایستگاه‌ها افزوده‌اند، با کاهش حجم بار ترافیکی غلظت فلز سرب و مس در نمونه‌های پوست درخت چنار و زبان گنجشک به طور آماری کاهش می‌یابد. خادم‌حقیقت (۱۳۷۰) و حبیبی (۱۳۷۸) بار آلودگی سرب در برگ گیاهان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان سرب درختان در مناطق پرترافیک شهری بالاست. به طور کلی، داده‌های عناصر سرب و مس در پوست درختان چنار و زبان گنجشک مورد مطالعه در شیراز نشان می‌دهد که بسیار پایین‌تر از مطالعات انجام‌شده از سوی El-Hassan و همکاران (۲۰۰۲) و استاندارد ارائه‌شده در این مطالعه است.

پوست درختان می‌تواند پایش مناسبی برای آلودگی هوا در نواحی خشک در طولانی مدت محسوب شود، در حالی که برگ‌های یکسالهٔ درختان می‌توانند شاخص زیستی خوبی برای مطالعات در محیط‌های شهری به دلیل ظرفیت تجمعی آن‌ها طی دورهٔ رشد باشند. در هر دو گونهٔ مطالعاتی در دو فصل انتخاب شده میزان غلظت فلز مس و سرب در محدوده مجاز قرار دارد و تغییرات در ایستگاه‌های ۱ و ۲ برای این گونه‌ها به دلیل افزایش حجم ترافیک در ایستگاه‌های مذکور نسبت به سایر ایستگاه‌هاست. ایستگاه ۱ و ۲، ایستگاه‌های پرترافیک در محدودهٔ شهرند که علاوه بر تردد خودروها، اتوبوس‌های درون‌شهری به تعداد زیاد از این مناطق عبور و مرور می‌کنند. علاوه بر تراکم ترافیک، خودروهای فرسوده دلیل دیگری برای افزایش فلزات سنگین‌اند. به هر حال آلودگی ناشی از وسایط نقلیه مهم‌ترین منبع آلودگی فلزات در هوای شیراز است هرچند که میزان عناصر در برگ و پوست درختان در مقایسه با سایر مطالعات بیشتر نیست. به طوری که داده‌های تجربی مشابه در مشهد (پورخباز و پورخباز، ۱۳۸۷) نشان می‌دهند که غلظت مس در برگ درختان مورد نظر از ۱۳/۲۱ تا ۲۲/۴۱ در چنار و ۳/۵۳ تا $\mu g\ g^{-1}$ ۱۰/۱۲ در زبان گنجشک نوسان دارد و مقدار سرب بین ۱/۴۹ تا $\mu g\ g^{-1}$ ۴/۳۸ است و بالاترین مقادیر این فلزات در مرکز ترافیک شهر یافت شد. در هر صورت میانگین فلزات سرب و مس در برگ درختان چنار و زبان گنجشک در شیراز مشابه با مطالعات انجام‌گرفته در برگ‌های چنار در پالرمو ایتالیا (Alaimo, et al., 2000) بود، در حالی که مقدار این فلزات از میزان آن در درختان چنار استانبول ترکیه (Baycu, et al., 2006)، *Quercus ilex*

در ناپل ایتالیا (Alfani, et al., 2000)، *Ligstrum lucidum* (Oliva and Valdes, 2004) در ورشو لهستان به طور قابل توجهی پایین‌تر بودند. در این بررسی، غلظت بالایی از مس در برگ درختان چنار ایستگاه ۱ ($16/83 \mu g\ g^{-1}$) مشاهده شد، اما برگ درختان زبان گنجشک همان محل دارای مقادیر کم مس ($9/68\ \mu g\ g^{-1}$) است.

در هر صورت بر اساس نتایج این تحقیق در رویشگاه‌های (مکان‌های) مچختلف شهری با تراکم پوشش گیاهی تقریباً مشابه و حجم ترافیک متغیر، هر دو گونه توانایی‌های قابل توجهی در تجمع زیستی دارند و در مطالعات مقایسه‌ای برای تعیین زیستی آلودگی هوای شهری مناسب‌اند. اما گونهٔ چنار به دلیل مورفولوژی ویژهٔ برگ‌ها، به‌منزلهٔ یک تجمع‌کنندهٔ زیستی از فلزات سنگین با کارایی بالاتری نسبت به گونهٔ زبان گنجشک معرفی می‌شود. بنابراین، غلظت بالای فلزات سنگین در برگ نشانهٔ آلودگی هوای نواحی مختلف شیراز از طریق عناصر مذکور است. در خاتمه پیشنهاد می‌شود در تحقیقات مشابه عواملی همچون تراکم پوشش گیاهی و منابع متعدد آلودگی منطقه مدنظر قرار گیرد.

## تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد خانم زهره شیروانی با راهنمایی استاد مربوطه جناب آقای دکتر علی‌رضا پورخباز در دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه بیرجند است. بدین‌وسیله از حمایت مالی دانشگاه بیرجند در انجام این پایان‌نامه تشکر می‌شود.

## یادداشت‌ها

1. Bioindicator
2. Bioaccumulator
3. Dry Weight

## منابع

پورخباز، ح. ر.، پورخباز، ع. ر. ۱۳۸۷. مطالعهٔ آلودگی هوای شهر مشهد با تعیین غلظت فلزات سنگین در برگ درختان، مجلهٔ علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۰: ۱۴۴– ۱۵۲.

تائبی، ا.، سامانی‌مجد، س.، ابطحی، س. م. ۱۳۸۶. ارتباط عوامل ترافیکی با غلظت سرب و کادمیوم در خاک حاشیهٔ خیابان‌های شهری، پژوهش‌نامهٔ حمل و نقل، ۳، ۱۹۵– ۲۰۵.

حبیبی، م. ۱۳۷۸. بررسی میزان سرب موجود در خاک و نباتات حاشیهٔ جادهٔ سراسری مازندران (بهشهر– آمل)، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس.

حقیقت‌خادم، ح. م. ۱۳۷۰. توزیع سرب در برگ‌های چنار نسبت به مراکز تردد خودروها در مناطق مختلف تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی تهران، ۶۳ صفحه.

حقیقت‌خادم، ح. م. ۱۳۷۰. توزیع سرب در برگ‌های چنار نسبت به مراکز تردد خودروها در مناطق مختلف تهران، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد محیط‌زیست دانشگاه تهران.

عباس‌پور، م. ۱۳۷۱. مهندسی محیط‌زیست، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۱۰۷ ص.

عطاآبادی، م.، هودجی، م. نجفی، پ. ۱۳۸۸. زیست‌ردیابی فلزات سنگین به وسیلهٔ گیاهان رویش‌یافته در منطقهٔ صنعتی فولاد مبارکه، مجلهٔ محیط‌شناسی، شمارهٔ ۵۲، صفحهٔ ۸۳– ۹۲.

واثقی، ا.، زیبایی، م. ۱۳۸۵. پیش‌بینی آلودگی هوای شیراز، مجلهٔ محیط‌شناسی، ۴۷: ۶۵– ۷۲.

Alaimo, M.G., Lipani, B., Lombardo, M.G., Orecchio, S., Turano, M., and Melati, M.R. 2000. The mapping of stress in the predominant plants in the city of Palermo by lead dosage, Aerobiologia, 16, 47-54.

Alfani, A., Batroli, G., Rutigliano, F.A., Maisto, G., and Virzo De Santo, A. 2000. Trace metal biomonitoring in the soil and the leaves of trees in the urban area of Naples, Biological Trace Research, 51(1): 117-131.

Al-Khashman, O.A., A.H., Al-Muhtaseb, and K.A., Ibrahim. 2011. Date palm (*Phoenix dactylifera L.*) leaves as biomonitors of atmospheric metal pollution in arid and semi-arid environments, Environmental Pollution, 159, 1635-1640.

Baycu, G., Tolunay, D., özden, H., and Günebakan, 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.

Celik, A., Kartal, A., Akdogan, A., and Kaska, Y. 2004. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using robinia pseudo acacial L., Enviroment International 31, issue 1, 105-112.

Chamberlain, A.C. 1983. Fallout of lead and uptake by crops, Atmos. Environ., 17, 693-706.

Diatta, J.B., and Grzebisz, W. 2003. A study of soil pollution by heavy metals in the city of Poland using Dandelion (*Taraxacum officinale* Web) as a bioindicator, Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 6, 1-12.

El-Hasana, T., Al-Omaria, H., Jiriesb, A., and Al-Nasir, F. 2002. Cypress tree (*Cupressus semervirens L.*) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan, Environment International, 28, 513– 519.

Gonzalez Soto, E. 1996. Determination of trace elements in tree leaves, Annali di Chimica, 86, 181-191

Guala, S.D., Vega, F.A., and Covelo, E.F. 2010. Heavy metal concentrations in plants and different harvestable parts: a soil - plant equilibrium model, Environ. Pollut., 158, 2659-2663.

Huhn, G., Schulz, H., Stark, H.J., and Schuurmann, G. 1995. Evaluation of regional heavy metal deposition by multivariate analysis of element contents in pine tree barks, Water, Air, Soil Pollut., 84, 67– 83.

Kabata-Pendias, and Pendias, H. 1984. Trace elements in Soils and Plants. CRC Press Inc., Boca Rathon, Florida.

Karakas, D. 2004. Trace and major element compositions of Black Sea aerosol, Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry, 259, 187-192.

Kocić, K., Spasić, T., Aničić Urošević, M., and Tomašević, M. 2013. Trees as natural barriers against heavy metal pollution and their role in the protection of cultural heritage, Journal of Cultural Heritage, 1-7.

Lagerwerff, J.V., and Specht, A.W. 1970. Contamination of road soil and vegetation with cadmium, nickel, lead, and zinc, Environmental Science and Technology, 4, 583-586.

Little, P., and Martin, M.E. 1972. A survey of zinc, lead and cadmium in soil and natural vegetation around a smelting complex, Environ. Pollut., 3, 241-254.

Madejon, P., Marann, T., Murillo, J.M., and Robinson, B. 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests, Environmental Pollution, 132, 145-155.

Mancovska, B., Godzik, B., Badea, O., Shparyk, Y., and Moravcik, P. 2004. Chemical and morphological characteristics of key tree species of the Carpathian Mountains, Environmental pollution, 130, 41-54.

Monaci, F., Moni, F., Lanciotti, E., Grechi, D., and Bargagli, R. 2000. Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead, Environmental Pollution, 107, 321-327.

Mudd, J.B., and Koslowski, T.T. 1975. Responces of plants to air pollution, Physiol Ecol Ser., Academic Press,NY.

Oliva, S.R., and Valdes, B. 2004. *Licustrum lucidum* Ait.F. leaves as a bioindicator of the Air-quality a Mesiterranean city, Environmental Monitoring and Assessment, 96, 221-232.

Rahn, K.A. 1979. Long-range impact of desert aerosol on atmospheric chemistry: two examples, In: Morales, C., (ed), Scope 14: Saharan Dust (Mobilization, transport, deposition, pp. 243-266), John Wiley, Chechester.

Saarelaa, K.-E., Harjua, L., Rajandera, J., Lillb, J.-O., Heseliusb, S.-J., Lindroosd, A., and Mattsson, K. 2005. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study, Science of the Total Environment, 343, 231– 241.

Sawidis, T., Marnasidis, A., Zachariadis, G., and Stratis, J. 1995. A study of air pollution with heavy metals in Thesssaloniki city (Greece) using trees as biological indicators, Arch. Environt. Contam. Toxicol., 28, 118-124.

Schulz, H., Popp, P., Huhn, G., Stark, H.J., and Schuurmann, G. 1999. Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks, I. Temporal and spatial variations, Sci. Total Environ., 232, 49– 55.

Smith, W.H. 1976. Lead contamination of the roadside ecosystem, J. of the air pollution control association, 26/8, 753-762.

Wang, D., and Schaap, W. 1988. Air pollution impacts on plants: current research challenges, ISI Atlas Sci, Anim Plant Sci., 1 (1), 33-39.

Zhang, M., and Wang, H. 2009. Concentrations and chemical forms of potentially toxic metals in road-deposited sediments from different zones of Hangzhou, China, Journal of Environmental Sciences, 21, 625–631.