



شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2022.303169.1803
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20086113.1401.14.2.7.5

مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران
سال چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱
ص ۲۰۱-۲۱۲

مقاله پژوهشی

پوست درختان به‌عنوان پایشگر زیستی فلزات سنگین (مطالعه موردی: باغ‌های حاشیه جاده روستای حیدره بالاشهر همدان)

عیسی سلگی^{۱*}، فوزیه بیگ‌محمدی^۲، زهرا طاهری^۳ و فریبا آقایی^۳

^۱ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
^۲ دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
^۳ کارشناسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵)

چکیده

تحقیق درباره فلزات سنگین در گیاهان با دو هدف بررسی امنیت غذایی و کاربرد در پایش زیستی و حذف فلزات سنگین از محیط زیست انجام می‌گیرد. پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین مس، روی و سرب در پوست درختان صنوبر و گردو و خاک اطراف آنها در حاشیه جاده روستای حیدره بالاشهر همدان انجام گرفت. در مجموع ۴۰ نمونه خاک سطحی و پوست درخت از منطقه مذکور برداشت شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی اولیه، با استفاده از هضم تر برای آنالیز فلزات سنگین آماده شدند و با استفاده از دستگاه جذب اتمی، غلظت فلزات سنگین تعیین شد. به‌منظور تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری، محاسبه شاخص‌های آلودگی و نسبت شاخص‌ها استفاده شد. براساس نتایج، خاک منطقه از نظر فلزات سنگین تحت بررسی بنابر شاخص‌های CD (درجه آلودگی)، mCD (آلودگی اصلاح‌شده)، PER (ریسک اکولوژی بالقوه)، $\sum TU$ (پتانسیل سمیت) و IPI (آلودگی تجمعی) در طبقه آلودگی کم و براساس شاخص PLI (شاخص بار آلودگی) و $PI_{Nemerow}$ (شاخص نمر) به‌ترتیب در طبقه آلودگی متوسط و منطقه احتیاط قرار دارد. بیشترین سهم پتانسیل سمیت فلزات سنگین با ۴۳/۸ و ۳۸/۰۵ درصد به‌ترتیب در خاک اطراف گردو و صنوبر مربوط به مس بود. سرب به‌ترتیب با ۵۲/۳ و ۵۸/۰۸ درصد بیشترین ریسک محیط زیستی بالقوه را برای خاک اطراف گردو و صنوبر داشت. تنها بین غلظت روی در پوست دو گونه درختی اختلاف آماری معنی‌دار وجود داشت ($p < 0.05$). همچنین بین غلظت سرب در صنوبر با غلظت آن در خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.05$) که نشان می‌دهد با افزایش غلظت سرب در خاک غلظت آن در گیاه افزایش می‌یابد و صنوبر گونه مناسب‌تری به‌عنوان پایشگر و جمع‌دهنده سرب محسوب می‌شود. با وجود آلاینده‌های ناشی از ترافیک جاده‌ای، امنیت غذایی محصولات کشاورزی منطقه باید در پایش‌های مکانی و زمانی به‌ویژه در مورد سرب و مس بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: پایش زیستی، شاخص‌های آلودگی، صنوبر، فلزات سنگین، گردو.

مقدمه

فلزات سنگین مدت‌ها در محیط زیست باقی می‌مانند و تعادل اکوسیستم را به هم می‌زنند و موجب تهدید حیات موجودات زنده می‌شوند (Wang et al., 2013). با افزایش نیاز جوامع به جابه‌جایی و ارتباط‌ها، استفاده از وسایل نقلیه به‌ویژه خودروهای شخصی رو به فزونی

در سال‌های اخیر، توسعه صنعت و گسترش ترافیک شهری و برون‌شهری و همچنین افزایش جمعیت آلودگی شدید خاک، آب و هوا را در پی داشته است (Moezzi-pour et al., 2020). برخی آلاینده‌ها از جمله

زیستی آلاینده‌ها روشی مؤثر و مقرون به صرفه در بررسی محیط‌های آلوده است (Moreira et al., 2018). همچنین یکی از اصول ایجاد فضای سبز استفاده از درختان و درختچه‌های مقاوم به آلاینده‌های محیطی است که در تصفیه هوا، آب و خاک و جلوگیری از آلودگی صوتی تأثیر بسزایی دارند (Khosropour et al., 2018).

پوست درخت نوعی شاخص زیستی است که در مناطق آلوده به‌ویژه در مورد آلودگی هوا استفاده می‌شود (Solgi et al., 2020) و مزیت کاربرد آن بر دیگر بخش‌های درخت از جمله برگ و میوه این است که در سراسر طول سال در دسترس و قابل نمونه‌برداری است (Parzych et al., 2017). بر این اساس بسیاری از محققان در پژوهش‌های خود از پوست درخت به‌عنوان پایشگر زیستی استفاده کرده‌اند (Widom, 2019; Tabibian et al., 2019; Kousehlar &

استفاده از شاخص‌های آلودگی از جمله CD، $\sum TU$ ، PER، IPI، PLI و $PI_{Nemerow}$ ارزیابی مناسبی از وضعیت آلودگی خاک منطقه به فلزات سنگین ارائه خواهد داد (Solgi, 2016). بر این اساس در پژوهش حاضر در کنار بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک و پوست درختان صنوبر و گردو از شاخص‌های مختلف از جمله فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، شاخص آلودگی اصلاح‌شده، شاخص بار آلودگی، شاخص آلودگی تجمعی، شاخص نمره، شاخص خطر بالقوه محیط‌زیستی و پتانسیل سمیت حاد برای بررسی وضعیت آلودگی در منطقه پژوهش استفاده شد. برخلاف ظرفیت‌های گردشگری و ترافیک جاده‌ای ناشی از آن تا کنون هیچ‌گونه پژوهشی در زمینه غلظت فلزات سنگین در محیط زیست (آب، خاک، هوا و موجودات زنده) روستای حیدره بالاشهر انجام نگرفته و این پژوهش نخستین مورد در این زمینه است.

است. خودروها منابع اصلی تولید آلاینده‌های فلزات سنگین در شهرها هستند. این آلاینده‌ها به‌صورت ذرات از آگروز یا دیگر اجزای خودرو وارد محیط می‌شوند و از طریق ترافیک در اطراف راه‌ها توزیع شده و سبب آلودگی خاک و گیاهان آن نواحی می‌شوند (Tabibian et al., 2019).

فلزات سنگین در دو دسته ضروری و غیرضروری قرار می‌گیرند. فلزاتی مانند مس و روی عناصر کم‌مصرف ضروری هستند که در غلظت‌های زیاد اثرهای سمی ایجاد می‌کنند (Dadar et al., 2016). تعدادی دیگر مانند سرب غیرضروری هستند و حتی در غلظت کم برای گیاهان و موجودات زنده سمی بوده و سرطان‌زا محسوب می‌شوند (Ozden et al., 2018). سرب از جمله فلزات سنگین است که توسط خودروها تولید شده و جریان ترافیکی موجب انتشار آن در محیط زیست می‌شود (Tabibian et al., 2019). کنترل آلودگی فلزات سنگین در سراسر جهان از مسائل مرتبط با ایمنی محیط زیست است، به‌ویژه در محصولات کشاورزی که به‌طور مستقیم امنیت محیط زیست منطقه و سلامت انسان را تهدید می‌کند (Hou et al., 2018). باغ‌های احداث‌شده در اطراف جاده‌ها با خطر شدید آلودگی به فلزات سنگین مواجه‌اند. این آلودگی از طریق ته‌نشست آلاینده‌ها از هوا یا از راه خاک قابل انتقال به گیاهان است.

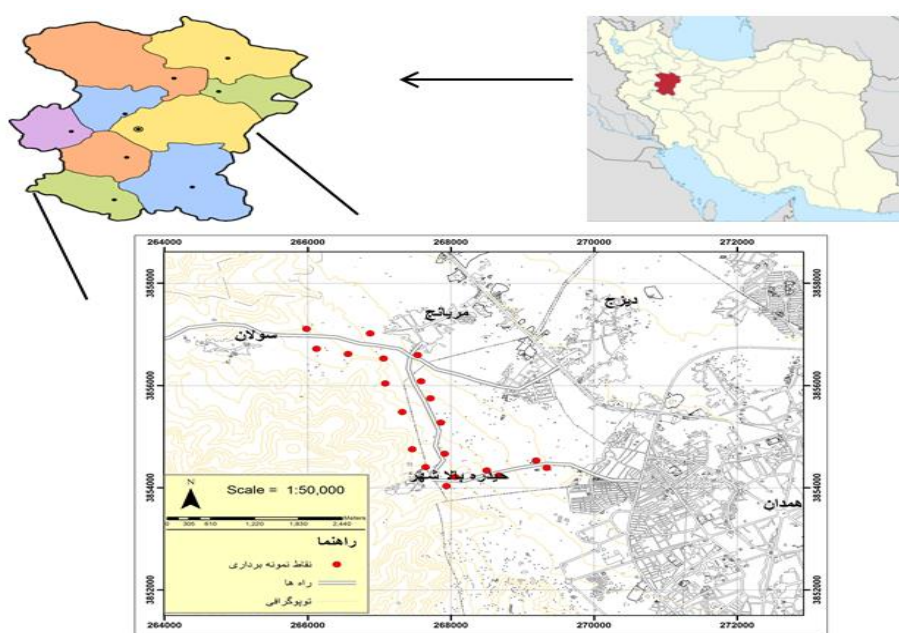
خاک نوعی بافر طبیعی کنترل‌کننده انتقال آلاینده‌ها به هوا، آب و موجودات زنده و از این نظر مؤثرترین بخش اکوسیستم در ذخیره و انتقال آلاینده‌هاست (Solgi & Parmah, 2015). در این بین گیاهان از اجزای اساسی در اکوسیستم‌ها هستند، زیرا انتقال عناصر از محیط زیست غیرزنده به بخش زنده اکوسیستم را بر عهده دارند (Martínez- Martínez- López et al., 2014). بر این اساس در پایش محیط‌های آلوده به فلزات سنگین مطالعه آلودگی گیاهان اطلاعات ارزشمندی در اختیار محققان قرار می‌دهد. استفاده از گیاهان و درختان به‌منظور پایش

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه پژوهش روستای حیدره بالاشهر در ۵ کیلومتری شهر همدان است که در ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۱ ثانیه طول شرقی واقع شده است. این روستا به دلیل وجود دره‌های متنوع با طبیعت بکر دارای ظرفیت خوبی از نظر گردشگری بوده (Ahmadi (Mehrz & Rahmani, 2018) و به دلیل فاصله کم از

شهر همدان در همه فصول پذیرای گردشگران است. وجود باغ‌های گردو و درختان متنوع از ویژگی‌های مطرح این روستاست. جاده دسترسی به روستا و باغ‌های آن در نزدیک‌ترین فاصله از باغ‌های روستا واقع شده است. این جاده راه دسترسی به امامزاده کوه است که از مکان‌های زیارتی منطقه و پذیرای گردشگران از نقاط مختلف استان و کشور است. بر این اساس جاده‌ای که از کنار باغ‌های منطقه می‌گذرد بسیار پرتردد است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری و منطقه پژوهش

شیوه اجرای پژوهش

نمونه‌برداری و آماده‌سازی

در بررسی اولیه از منطقه با توجه به فراوانی باغ‌های گردو (*Juglans sp.*) و درختان صنوبر (*Populus*) این دو گونه برای پژوهش حاضر انتخاب شدند. در منطقه پژوهش در طول مسیر ۱۰ کیلومتری نمونه‌برداری، فاصله جاده از باغ‌ها بین ۱۰ تا ۲۰ متر متغیر بود. با توجه به پراکنش باغ‌ها و درختان، نمونه‌برداری از هر دو سمت جاده انجام گرفت و فاصله بین یک نمونه قبل و بعد به‌طور تقریبی یک کیلومتر بود. به‌منظور نمونه‌برداری

از خاک پس از تمیز کردن سطح زیر درخت به ابعاد 20×20 سانتی‌متر نمونه‌برداری از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک رویی صورت گرفت (Dinu et al., 2020) و نمونه‌های پوست از همان درخت در ارتفاع حدود دو متری و از اطراف تنه در این ارتفاع (Yousaf et al., 2020) انجام گرفت. همه نمونه‌های خاک و پوست درختان پس از برچسب‌گذاری به آزمایشگاه منتقل شدند. بیست نمونه خاک و بیست نمونه پوست درخت جمع‌آوری شد که یازده نمونه مربوط به درخت گردو و نه نمونه دیگر مربوط به درخت صنوبر بود. نمونه‌ها در دمای اتاق هواخشک

غلظت فلز سنگین و $C_{background}$ غلظت زمینه فلز سنگین در پوسته زمین است (Hakanson, 1980). برای فلزات سنگین روی، سرب و مس غلظت زمینه به ترتیب ۷۰، ۱۲/۵ و ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Taylor, 1964).

$$CD = \sum_{i=1}^n CF \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲، CD درجه آلودگی و CF شاخص فاکتور آلودگی است (Hakanson, 1980).

$$Eri = Tri \times Cfi \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه ۳ Eri فاکتور خطر بالقوه، CF شاخص فاکتور آلودگی و Tri فاکتور پاسخ سمی است (Venkatachalapathy & Gurumoorthi, 2016). برای فلزات سنگین روی، سرب و مس مقدار Tri به ترتیب ۱، ۵ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Niu et al., 2020).

$$RI = \sum_{i=1}^n Eri \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه ۴، RI شاخص خطر بالقوه محیط زیستی، n تعداد فلزات سنگین بررسی شده و Eri فاکتور خطر بالقوه است (Venkatachalapathy & Gurumoorthi, 2016).

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^n Cd}{n} \quad \text{رابطه ۵}$$

در رابطه ۵، mCd شاخص آلودگی اصلاح شده، n تعداد فلزات سنگین بررسی شده و Cd درجه آلودگی است (Abraham & Parker, 2008).

$$TU = \frac{Ci}{PELi} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه ۶، TU واحد سمیت، Ci غلظت فلز سنگین و PELi سطح اثر احتمالی است (Long et al., 1995). برای فلزات سنگین روی، سرب و مس مقدار PELi به ترتیب ۳۱۵، ۹۱/۳ و ۱۹۷ است (MacDonald et al., 2000).

$$\sum TU = TU_{Cu} + TU_{pb} + TU_{zn} + \dots \quad \text{رابطه ۷}$$

در رابطه ۷، $\sum TU$ پتانسیل سمیت حاد است (Long et al., 1995).

شدند. سپس نمونه‌های پوست با استفاده از آسیاب برقی آسیاب شدند و نمونه‌های خاک نیز پس از هواخشک شدن از الک مش ۱۰۰ عبور داده شده (Yousaf et al., 2020) و تا زمان هضم اسیدی و سنجش فلزات سنگین در آزمایشگاه نگهداری شدند.

آنالیزهای آزمایشگاهی

به منظور سنجش غلظت فلزات سنگین در خاک و پوست درخت از روش هضم تر استفاده شد. برای هضم اسیدی نمونه‌های پوست و خاک از ترکیب سه اسید HNO_3 ، HCl و $HClO_4$ استفاده شد. پس از پایان عملیات هضم، نمونه‌ها توسط کاغذ واتمن ۴۲ صاف شده و با آب دو بار تقطیر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند (Solgi et al., 2020). در نهایت غلظت فلزات سنگین روی، مس و سرب توسط دستگاه جذب اتمی (ContrAA 700 ساخت آلمان) تعیین شد. در کنار نمونه‌ها و ب کنترل کیفیت آنالیزهای انجام گرفته، نمونه شاهد که فقط شامل اسیدها بود نیز آنالیز شد.

روش تحلیل

پیش از آنالیزهای آماری، توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. در مورد داده‌هایی که از توزیع نرمال برخوردار نبودند با تبدیل داده‌ها از طریق محاسبه \log_{10} داده‌ها نرمال شدند و به منظور مقایسه غلظت فلزات سنگین روی، سرب و مس در خاک اطراف دو گونه گردو و صنوبر و همچنین مقایسه غلظت این فلزات سنگین در پوست دو گونه آزمون t مستقل به کار گرفته شد. رابطه بین غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه با استفاده از آزمون پیرسون بررسی شد. به منظور بررسی وضعیت آلودگی خاک منطقه از نظر فلزات سنگین از شاخص‌های CD ، mCD ، PER ، $\sum TU$ ، IPI ، PLI و $PI_{Nemerow}$ استفاده شد (رابطه‌های ۱ تا ۱۰).

$$CF = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، CF شاخص فاکتور آلودگی، C_{metal}

سنگین روی، سرب و مس در خاک و پوست درخت نشان می‌دهد که روی و مس از غلظت بیشتری در خاک و گیاه نسبت به سرب برخوردارند و متوسط مقادیر این فلزات سنگین در خاک از مقدار مرجع آنها در پوسته زمین کمتر است (جدول ۱).

براساس نتایج آزمون تی مستقل بین خاک اطراف دو گونه صنوبر و گردو، مقدار مس، روی و سرب هیچ اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$). این یافته‌ها در مورد مقدار فلزات سنگین در پوست درخت نشان داد که بین دو گونه صنوبر و گردو از نظر مقدار روی موجود در پوست درختان اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$) و در مورد مس و سرب این اختلاف معنی‌دار نیست ($P > 0.05$).

در جدول ۲ مقادیر شاخص‌های آلودگی و وضعیت آلودگی منطقه از نظر آلودگی فلزات سنگین نشان داده شده است. بر این اساس، منطقه پژوهش از نظر شاخص‌های CD ، mCD ، PER ، $\sum TU$ و PLI دارای آلودگی کم و خطر کم است و از نظر IPI و $IPI_{Nemerow}$ در محدوده احتیاط و آلودگی متوسط قرار دارد.

در شکل ۲ مقدار شاخص فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین به تفکیک خاک اطراف دو گونه آورده شده است که بر این اساس، سرب از مقدار بیشتری از نظر شاخص فاکتور آلودگی برخوردار است.

درصد نسبت Eri/PER برای فلزات سنگین سرب، روی و مس در شکل ۳ آورده شده است. از بین این فلزات سنگین در خاک اطراف دو گونه صنوبر و گردو، سرب بیشترین درصد را در ریسک محیط زیستی بالقوه برای خاک اطراف هر دو گونه در منطقه پژوهش دارد.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad \text{رابطه ۸}$$

در رابطه ۸، PLI شاخص بار آلودگی، n تعداد فلزات سنگین تحت بررسی و CF شاخص فاکتور آلودگی است (Angulo, 1996).

$$IPI = \left(\sum_{i=1}^n PI \right)^{\frac{1}{n}} \quad PI = \frac{Ci}{Bi} \quad \text{رابطه ۹}$$

در رابطه ۹، IPI شاخص آلودگی تجمعی، Ci غلظت فلزات سنگین، Bi غلظت زمینه فلز سنگین و n تعداد فلزات سنگین تحت بررسی است (He et al., 2019).

$$PI = \sqrt{\frac{(Cf_{average})^2 + (Cf_{max})^2}{2}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در رابطه ۱۰، PI شاخص نمره، $Cf_{average}$ میانگین شاخص فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین و Cf_{max} بزرگ‌ترین شاخص فاکتور آلودگی از بین فلزات سنگین است (Nemerow, 1991).

همچنین از درصد نسبت Eri/PER و $TU/\sum TU$ به ترتیب برای تفکیک و تعیین درصد، سهم نسبی هر کدام از فلزات سنگین در ریسک محیط زیستی بالقوه و پتانسیل سمیت فلزات سنگین (Niu et al., 2020) در منطقه پژوهش استفاده شد. همه آزمون‌های آماری t مستقل، پیرسون و توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20 و رسم نمودارها و محاسبه شاخص‌ها با استفاده از اکسل ۲۰۱۳ انجام گرفت.

نتایج

غلظت فلزات سنگین روی، مس و سرب خاک و پوست درخت به تفکیک دو گونه و نتایج آزمون t مستقل برای مقایسه دو گونه از نظر غلظت فلزات

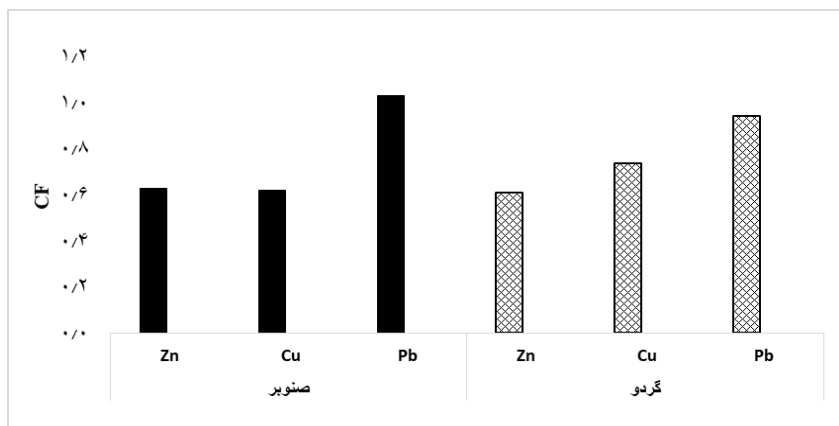
جدول ۱- آمار توصیفی فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بررسی‌شده

سرب	مس	روی	گونه
۱۲/۹±۶/۲a	۳۴/۰۳±۱۰/۱۷ a	۴۴/۰۵±۳/۵a	صنوبر
۱۱/۸±۸/۲a	۴۰/۵±۱۱/۷ a	۴۲/۷±۴/۲ a	گردو
۰/۹±۰/۶۱ a	۱۴/۱±۱۰/۱ a	۲۸/۹±۱۵/۴a	صنوبر
۱/۴±۰/۶۸ a	۱۳/۷±۵/۷ a	۱۶/۲±۸/۵ b	گردو

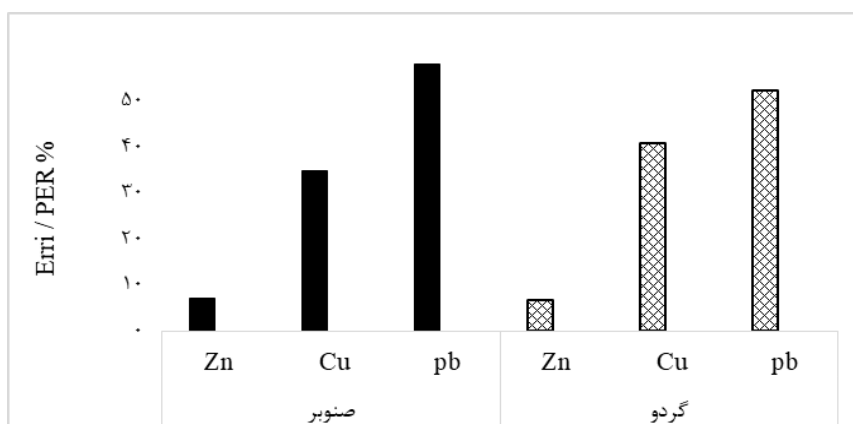
حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو گونه است

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های آلودگی برای منطقه پژوهش

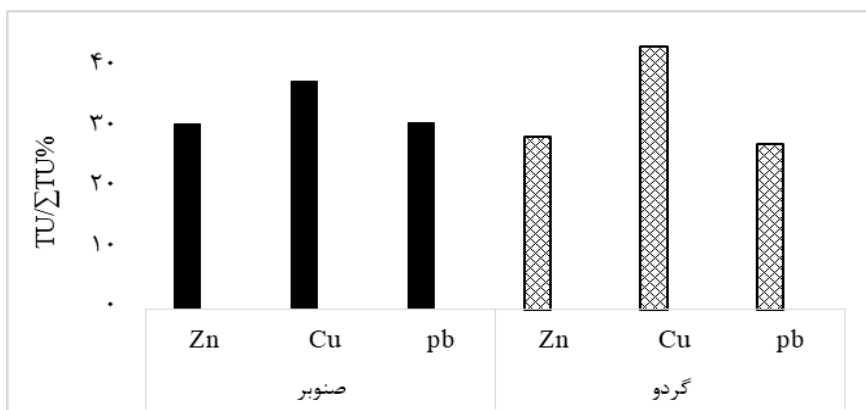
$PI_{Nemerow}$	PLI	IPI	$\sum TU$	PER	mCD	CD	
۰/۸۵	۰/۷۳	۱/۳۱	۰/۴۵	۸/۸۸	۰/۷۶	۲/۲۸	صنوبر
۰/۸۶	۰/۷۵	۱/۳۱	۰/۴۷	۹/۰۱	۰/۷۶	۲/۲۰	گردو
	محدوده احتیاط	نبود آلودگی	آلودگی متوسط	سمی نبودن	خطر کم	آلودگی بسیار کم	آلودگی کم



شکل ۲- مقادیر شاخص فاکتور آلودگی برای فلزات سنگین مس، روی و سرب در خاک



شکل ۳- درصد نسبت Eri / PER برای فلزات سنگین سرب، روی و مس



شکل ۴- درصد نسبت $TU/\sum TU$ برای فلزات سنگین سرب، روی و مس

در جدول ۳ نتایج آزمون اسپیرمن برای بررسی همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه آورده شده است. بر این اساس، بین غلظت سرب در صنوبر و خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد ($p < 0.05$).

درصد نسبت $TU/\Sigma TU$ برای فلزات سنگین سرب، روی و مس در شکل ۴ آورده شده است. از بین فلزات سنگین بررسی‌شده در خاک اطراف دو گونه صنوبر و گردو، بیشترین درصد سهم پتانسیل سمیت را مس به خود اختصاص داده است.

جدول ۳- نتایج همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در خاک و گونه‌های بررسی‌شده

Zn خاک	Cu خاک	Pb خاک	Zn گیاه	Cu گیاه	Pb گیاه	
۱	۰/۰۸۳	۰/۲۴۲	-۰/۲۷۹	-۰/۳۶	۰/۲۴۸	Zn خاک
	۱	۰/۳۱۹	۰/۰۵۲	۰/۴۸۲	۰/۴۰۸	Cu خاک
		۱	۰/۴۵۷	۰/۵۲۴	۰/۶۴۲*	Pb خاک
			۱	۰/۴۲۷	۰/۵۳۵	Zn گیاه
				۱	۰/۵۹۰	Cu گیاه
					۱	Pb گیاه
۱	۰/۷۳۴*	۰/۸۵۷**	۰/۰۰۳	۰/۵۱۷	۰/۴۱۶	Zn خاک
	۱	۰/۷۲۶*	-۰/۰۳۵	۰/۵۹۹	۰/۱۶۵	Cu خاک
		۱	-۰/۱۶۹	۰/۶۳۰	۰/۳۰۳	Pb خاک
			۱	-۰/۱۲۲	-۰/۳۹۷	Zn گیاه
				۱	۰/۶۰۶	Cu گیاه
					۱	Pb گیاه

(Kousehlar & Widom, 2018). بر این اساس در پژوهش حاضر مقدار جذب گردوغبار حامل فلزات سنگین روی پوست درخت گردو که زبرتر است در مقایسه با پوست صنوبر باید بیشتر می‌بود. درحالی که اختلاف بین مقدار فلزات سنگین روی، سرب و مس در پوست صنوبر و گردو تنها در مورد عنصر روی اختلاف آماری معنی‌داری داشت ($p < 0.05$) و مقدار روی در پوست صنوبر بیشتر از پوست گردو بود. با توجه به اینکه اصلی‌ترین منشأ روی در محیط زیست، طبیعی و زمین‌زاد است (Noulas et al., 2018)، احتمالاً اختلاف ایجادشده بین دو گونه به‌دلیل جذب بیشتر روی، توسط صنوبر از خاک و تجمع آن در ساقه و در نهایت انتقال به پوست درخت است (Romeo et al., 2014). براساس یافته‌ها مشاهده شد که غلظت روی در خاک اطراف صنوبر بیشتر از گردو است، اگرچه این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). همچنین با توجه به غیرمثمر بودن صنوبر، کاشت آن به‌منظور جذب فلزات سنگین و همچنین به‌عنوان پایشگر زیستی در محیط‌های آلوده بسیار مناسب خواهد بود.

بحث

پایش غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاهان منطقه پژوهش به‌دلیل ظرفیت‌های گردشگری و ترافیک جاده‌ای و حضور باغ‌های گسترده در حاشیه جاده اهمیت زیادی دارد و همواره باید صورت گیرد. براساس یافته‌های پژوهش حاضر، اختلاف آماری معنی‌داری بین خاک اطراف دو گونه تحت بررسی از نظر تجمع فلزات سنگین وجود نداشت ($p > 0.05$). مقدار روی تجمع‌یافته در پوست درخت صنوبر (۲۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از گردو (۱۶/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$). همچنین مقدار مس در پوست درخت صنوبر بیشتر از گردو بود، اگرچه این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$).

یکی از عوامل مؤثر بر مقدار جذب ذرات بر پوست درختان، نوع سطح و میزان تخلخل است؛ به‌طوری که درختان دارای پوست خشن، سطح ویژه بیشتری نسبت به درختان دارای پوست صاف برای جذب ذرات گردوغبار حاوی فلزات سنگین از هوا دارند (2019)

منبع ترافیک جاده‌ای باشد. سرب در کنار مشکلات عصبی، خونی، استخوانی و ... برای انسان و موجودات زنده (Li et al., 2020)، از کشیدگی ریشه و ساقه، گسترش برگ در گیاهان و جوانه‌زنی بذر جلوگیری می‌کند (Madhu & Sadagopan, 2020).

نتایج مربوط به $TU/\Sigma TU$ نشان داد که مس بیشترین سهم را از پتانسیل سمیت فلزات سنگین در منطقه دارد. این درصد برای خاک اطراف گردو و صنوبر به ترتیب $43/8$ و $38/05$ درصد است. اثرهای احتمالی (PEL) برای مس کمتر از روی است (MacDonald et al., 2000). بنابراین مس در غلظت کمتری از روی اثرهای احتمالی خود را نشان خواهد داد. مقدار PEL برای سرب کمتر از مس است (MacDonald et al., 2000)، اما در نتایج این پژوهش غلظت مس بیش از دوبرابر سرب برآورد شده است. در نتیجه مس نسبت به سرب و روی سهم بیشتری از پتانسیل سمیت فلزات سنگین در منطقه پژوهش دارد. کاهش زیست‌توده گیاهی معمول‌ترین نشانه در گیاهان تحت تنش شدید مس است (Nazir et al., 2019). استرس اکسیداتیو ناشی از جذب بیش از حد مس توسط گیاهان، از طریق پراکسیداسیون لیپیدها سبب اختلال در مسیرهای متابولیکی متعدد و آسیب رساندن به ماکرومولکول‌های اساسی می‌شود (Kumar et al., 2020). به‌طور معمول مقدار ۵ تا ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم مس در بافت‌های گیاهی مناسب و پاسخگوی نیاز گیاه است (Wuana & Okieimen, 2011). مصرف بیش حد از مس در انسان بر فشار خون و بیماری‌های قلبی عروقی مؤثر است، به‌طوری که مقدار توصیه‌شده رژیم غذایی (RDA) برای بزرگسالان $0/9$ میلی‌گرم در روز و مقدار سطح بالای مصرفی قابل تحمل (UL) 10 میلی‌گرم در روز است (Wang et al., 2020).

براساس نتایج آزمون همبستگی بین غلظت سرب در پوست صنوبر و خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.05$) که نشان می‌دهد با افزایش غلظت سرب در خاک غلظت آن در گیاه

نتایج محاسبه شاخص‌های آلودگی CD، mCD، PER، ΣTU و PLI نشان داد که خاک منطقه پژوهش در طبقه آلودگی پایین و خطر کم از نظر آلودگی فلزات سنگین و از نظر $PI_{Nemerow}$ و IPI در محدوده احتیاط و آلودگی متوسط قرار دارد. اما با توجه به خاصیت تجمع‌پذیری فلزات سنگین در خاک (Raj & Maiti, 2019)، وجود ترافیک در منطقه پژوهش به‌عنوان منبع مهم در آلودگی فلزات سنگین در حاشیه جاده‌ها (Tabibian et al., 2019) و امنیت غذایی محصولات کشاورزی در منطقه پایش مکانی و زمانی آلودگی فلزات سنگین در خاک و گیاهان منطقه باید مدنظر قرار گیرد.

براساس نتایج مقادیر شاخص فاکتور آلودگی (CF) برای فلزات سنگین روی، مس و سرب در خاک منطقه پژوهش، سرب در طبقه آلودگی متوسط قرار داشت و از بیشترین مقدار شاخص فاکتور آلودگی برخوردار بود که با یافته‌های Dastgoshadeh et al. (2014)، (Behraves et al., 2015) و (2018) Taspınar & Bozkurt همخوانی دارد، چنانکه سرب در اطراف جاده بیشترین مقدار شاخص CF را به خود اختصاص داده بود (Taspınar & Bozkurt, 2018). با توجه به ترافیک جاده‌ای در منطقه پژوهش انتشار سرب در منطقه وجود دارد و نتیجه کاملاً منطقی است. در واقع سرب منتشرشده ناشی از خودروهایی است که در منطقه تردد دارند.

نتایج درصد نسبت Eri/PER نیز نشان داد که سرب بیشترین سهم را در ریسک محیط زیستی بالقوه برای خاک منطقه دارد. این درصد برای خاک اطراف گردو و صنوبر به ترتیب $52/3$ و $58/08$ است. بنابراین سرب در پایش فلزات سنگین در منطقه پژوهش باید با توجه بیشتری مدنظر قرار گیرد. این درحالی است که منبع اصلی انتشار سرب در اطراف جاده‌ها حمل‌ونقل خودروهاست (Nazariyat et al., 2017) و به‌نظر می‌رسد در روستای حیدره بالاشهر عامل انتشار سرب در خاک و گیاهان منطقه همین

پرترفدار برای کاشت در کشور محسوب می‌شود، به‌طوری که تنوع گونه‌های این جنس، امکان کاشت آن را در مناطق مختلف فراهم آورده است (Alizadeh et al., 2015). آلودگی خاک منطقه به فلزات سنگین بررسی شده کم بود. با این حال، به‌دلیل توجه به امنیت غذایی محصولات کشاورزی باید پایش‌های زمانی و مکانی بیشتری انجام گیرد. سرب و مس به‌ترتیب بیشترین سهم را در ریسک اکولوژیک و پتانسیل سمیت داشتند و در پژوهش‌های بعدی باید با دقت بیشتری بررسی شوند. به‌طور کلی پیشنهاد می‌شود که دیگر فلزات سنگین و همچنین دیگر محصولات کشاورزی در روستای حیدره بالا شهر بررسی شوند.

سپاسگزاری

ین مقاله حاصل پروژه‌ی دانشجویی مقطع کارشناسی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر بوده و با حمایت مالی دانشگاه ملایر انجام گرفته است.

افزایش می‌یابد و صنوبر گونه مناسب‌تری به‌عنوان پایشگر و تجمع‌دهنده سرب محسوب می‌شود. بنابراین به‌نظر می‌رسد صنوبر به‌منظور کاشت در حاشیه جاده‌های پرترافیک، گونه مناسب‌تری باشد. با توجه به خوراکی نبودن میوه درخت صنوبر، بررسی درباره تجمع دیگر فلزات سنگین و تعیین عوامل مؤثر در این زمینه پیشنهاد می‌شود. همچنین این نتایج حاکی از آن است که گونه صنوبر پایشگر زیستی مناسب‌تری نسبت به گردو است. این گونه به‌عنوان شاخص زیستی مناسب برای آلودگی فلزات سنگین در اروپا توصیه شده است (Barbes et al., 2014).

به‌طور کلی در پژوهش حاضر ترافیک جاده‌ای در منطقه به‌دلیل ظرفیت زیاد گردشگری و وجود باغ‌های گسترده در حاشیه جاده‌ها موجب بررسی غلظت فلزات سنگین روی، مس و سرب در پوست دو گونه صنوبر و گردو و خاک اطراف آنها شد. براساس نتایج، صنوبر پایشگر زیستی مناسب‌تری نسبت به گردو است. جنس صنوبر یکی از جنس‌های درختی

References

- Abraham, G.M., & Parker, R.J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1), 227-38.
- Ahmadi Mehrz, M., & Rahmani, M. (2018). Investigation of tourism capacities of Heidareh village above Hamadan city, *2nd International Conference on Tourism, Geography and Clean Environment, Hamadan*. 1-14.
- Alizadeh, S.M., Zahedi Amiri, G.h., Shirmardi, M., & Shahriari, M.H. (2015). Effect of heavy metals (lead, cadmium and chromium) on some root morphological characteristics of *Populus alba* L. and *Populus nigra* L. seedlings. *Iranian Journal of Forest*, 6(3), 267-277.
- Angulo, E. (1996). The Tomlinson's pollution load index applied to heavy metal "Mussel-Watch" data: a useful index to assess coastal pollution. *Science of the Total Environment*, 187, 19-56.
- Barbes, L., Barbulescu, A., Radulescu, C., Stihi, C., & Chelarescu, E.D. (2014). Determination of heavy metals in leaves and bark of *Populus nigra* L. by atomic absorption spectrometry. *Romanian Reports in Physics*, 66(3), 877-86.
- Behraves, F., Mahmudy Gharaie, M., Ghassemzadeh, F., & Avaz Moghaddam, S. (2015). Determination of Heavy Metals Pollution in Traffic dust of Mashhad City, and its Origin by Using "Selective Sequential Extraction" (SSE) Procedure. *Journal of Geoscience*, 24(95), 141-150.
- Dadar, M., Adel, M., Saravi, H.N., & Dadar, M.A. (2016). Comparative study of trace metals in male and female Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) from the southern basin of Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24), 24540-24546.

- Dastgoshadeh, F., Tooni, O., Moghadam Sheikhjan, S., Taghinejad, G., Hemmatian, N., & Hatami, R. (2014). Contamination Assessment of Heavy Metals in Dust of Selected Roads in Karaj, Iran. *Journal of Environmental Studies*, 40(2), 331-344.
- Dinu, C., Vasile, G.G., Buleandra, M., Popa, D.E., Gheorghe, S., & Ungureanu, E.M., (2020). Translocation and accumulation of heavy metals in *Ocimum basilicum* L. plants grown in a mining-contaminated soil. *Journal of Soils and Sediments*, 20(4), 2141-2154.
- Gurumoorthi, K., & Venkatachalapathy, R. (2016). Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India. *Pollution*, 2, 269-287.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001.
- He, J., Yang, Y., Christakos, G., Liu, Y., & Yang, X. (2019). Assessment of soil heavy metal pollution using stochastic site indicators. *Geoderma*, 337, 359-367.
- Hou, Y.X., Zhao, H.F., Zhang, Z., & Wu, K.N. (2018). A novel method for predicting cadmium concentration in rice grain using genetic algorithm and back-propagation neural network based on soil properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35682-35692.
- Khosropour, E., Attarod, P., Shirvany, A., Bayramzadeh, V., Moeinaddini, M., Hakimi, L. (2018). Morphological and physiological properties of *Patanus orientalis* and *Pinus eldarica* leaves to urban pollution in Tehran, *Iranian Journal of Forest*, 10(2), 123-137.
- Kousehlar, M., & Widom, E. (2019). Sources of metals in atmospheric particulate matter in Tehran, Iran: Tree bark biomonitoring. *Applied Geochemistry*, 104, 71-82.
- Kumar, V., Pandita, S., Sidhu, G.P., Sharma, A., Khanna, K., Kaur, P., Bali, A.S., & Setia, R. (2020). Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: a comprehensive review. *Chemosphere*. 262, 127810.
- Li, L., Zhang, Y., Ippolito, J.A., Xing, W., Qiu, K., & Yang, H. (2020). Lead smelting effects heavy metal concentrations in soils, wheat, and potentially humans. *Environmental Pollution*, 257, 113641.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., & Calder, F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental management*, 19(1), 81-97.
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1), 20-31.
- Madhu, P.M., & Sadagopan, R.S. (2020). Effect of heavy metals on growth and development of cultivated plants with reference to cadmium, chromium and lead—a review. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 16(3), 84-102.
- Martínez-López, S., Martínez-Sánchez, M.J., Pérez-Sirvent, C., Bech, J., Martínez, M.D., & García-Fernandez, A.J. (2014). Screening of wild plants for use in the phytoremediation of mining-influenced soils containing arsenic in semiarid environments. *Journal of Soils and Sediments*, 14(4), 794-809.
- Moezzi-pour, A., Pourtahmasi, K., Motesharezadeh, B., Oladi, R., & Ramezani, A. (2020). Effect of irrigation with municipal landfill leachate on the chemicals content of the tree shoots of *Populus* (*Populus deltoides*) and *Fraxinus* (*Fraxinus excelsior*), *Iranian Journal of Forest*, 11(4), 458-475.
- Moreira, T.C., Amato-Lourenco, L.F., da Silva, G.T., Saldiva de Andre, C.D., de Andre, P.A., Barrozo, L.V., Singer, J.M., Saldiva, P.H., Saiki, M., & Locosselli, G.M. (2018). The use of tree barks to monitor traffic related air pollution: a case study in São Paulo—Brazil. *Frontiers of Environmental Science*, 6, 1-12.
- Nazariyat, S., Hodaji, M., & Besalatpour, A. (2017). Modeling the Pb Distribution Using Support Vector Machines in Surface Soil of the Lands Surrounding the Dezful-Ahvaz Road. *Iranian Journal of Soil Research*, 31(1), 143-153.

- Nazir, F., Hussain, A., & Fariduddin, Q. (2019). Hydrogen peroxide modulate photosynthesis and antioxidant systems in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants under copper stress. *Chemosphere*, 230, 544-58.
- Nemerow, N.L. (1991). Stream, lake, estuary, and ocean pollution. in L. Nelson (Eds). *Environmental Engineering Series: Vol. 13, Van Nostrand Reinhold Publishing Co*, (pp 472). New York: Wiley Online Librara.
- Niu, Y., Jiang, X., Wang, K., Xia, J., Jiao, W., Niu, Y., & Yu, H. (2020). Meta analysis of heavy metal pollution and sources in surface sediments of Lake Taihu, China. *Science of the Total Environment*, 700, 134509.
- Noulas, C., Tziouvalekas, M., & Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49, 252-60.
- Ozden, B., Guler, E., Vaasma, T., Horvath, M., Kiisk, M., & Kovacs, T. (2018). Enrichment of naturally occurring radionuclides and trace elements in Yatagan and Yenikoy coal-fired thermal power plants, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 188, 100-107.
- Parzych, A., Mochnacký, S., Sobisz, Z., Kurhaluk, N., & Polláková, N. (2017). Accumulation of heavy metals in needles and bark of Pinus species. *Folia forestalia Polonica. Series A. Forestry*, 59(1), 34-44.
- Raj, D., & Maiti, S.K. (2019). Bioaccumulation of potentially toxic elements in tree and vegetable species with associated health and ecological risks: a case study from a thermal power plant, Chandrapura, India. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 30(3), 649-65.
- Romeo, S., Francini, A., Ariani, A., & Sebastiani, L. (2014). Phytoremediation of Zn: identify the diverging resistance, uptake and biomass production behaviours of poplar clones under high zinc stress. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(1), 1-12.
- Solgi, E. (2016). Contamination of two heavy metals in topsoils of the urban parks Asadabad, Iran 2013. *Archives of Hygiene Sciences*, 5(2), 92-101.
- Solgi, E., & Parmah, J. (2015). Analysis and assessment of nickel and chromium pollution in soils around Baghejar Chromite Mine of Sabzevar Ophiolite Belt, Northeastern Iran. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(7), 2380-7.
- Solgi, E., Keramaty, M., & Solgi, M. (2020). Biomonitoring of airborne Cu, Pb, and Zn in an urban area employing a broad leaved and a conifer tree species. *Journal of Geochemical Exploration*, 208, 106400.
- Tabibian, S., Bidarigh, S., & Torabian, S. (2019). Investigation on the adsorption of heavy metal in lead in a plane species in traffic areas in Rasht. *Human & Environment*. 17(4), 39-46.
- Taşpınar, F., & Bozkurt, Z. (2018). Heavy metal pollution and health risk assessment of road dust on selected highways in Düzce, Turkey. *Environmental Forensics*, 19(4), 298-314.
- Taylor, S.R. (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28(8), 1273-85.
- Wang, S., Sun, H., Ang, H.M., & Tadé, M.O. (2013). Adsorptive remediation of environmental pollutants using novel graphene-based nanomaterials. *Chemical Engineering Journal*, 226, 336-347.
- Wang, S., Wang, N., Pan, D., Zhang, H., & Sun, G. (2020). Effects of Copper Supplementation on Blood Lipid Level: a Systematic Review and a Meta-Analysis on Randomized Clinical Trials. *Biological Trace Element Research*, 199(8), 2851-2857.
- Wuana, R.A., & Okieimen, F.E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *International Scholarly Research Notices*, 2011, 1-20.
- Yousaf, M., Mandiwana, K.L., Baig, K.S., & Lu, J. (2020). Evaluation of Acer rubrum Tree Bark as a Bioindicator of Atmospheric Heavy Metal Pollution in Toronto, Canada. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(8), 1-9.



Research Article

Tree Bark as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution (Case study: Roadside Gardens of Heidareh Balashahr Village in Hamadan)

E.Solgi¹, F. Beigmohammadi^{2*}, Z. Taheri³, and F. Aghaie³

¹ Associate Prof., Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

² Ph.D. student of Environmental Pollution, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Hamedan, Iran

³ BSc of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University

(Received: 6 September 2021; Accepted: 4 February 2024)

Abstract

The study of heavy metals in plants is done with two objectives of studying food safety and application in biological monitoring and elimination of heavy metals from the environment. The aim of this study was to investigate the concentration of heavy metals zinc, copper and lead in the bark of poplar and walnut trees and surrounding soil samples from road of Heidareh Balashahr village in Hamadan. A total of 40 topsoils and tree barks samples were collected from this area. After initial preparation, the samples were prepared using wet digestion method to analyze the heavy metals and the concentration of heavy metals were determined by using an atomic absorption spectrometer (ASS). In order to data analysis, statistical methods, pollution indices and ratio of indices were used. According to the results the Degree of Contamination (CD), Modified Degree of Contamination (mCD), Potential Ecological Risk (PER), Potential acute Toxicity (Σ TU) and Integrated Pollution Index (IPI) indices showed low pollution and Pollution Load Index (PLI) and PINemerow indices showed moderate pollution and precautionary zone, respectively. The highest contribution to potential toxicity was 43.8 and 38.05 percent in the soil around walnut and poplar was related to copper. Also, the highest potential environmental risk was related to lead with 52.3 and 58.08 percent, respectively for the surrounding soil of walnut and poplar. Based on these results, there was only a statistically significant difference between zinc concentrations in the two species ($p < 0.05$). Also, significant positive correlations were observed between the Pb contents in soils and those of poplar bark ($p < 0.05$) that indicated Pb in plant increased with increasing Pb in soil and, so poplar is a more suitable species as a biomonitor and lead accumulator. Despite the contaminants caused by road traffic, food safety of the region's agricultural products should be checked in spatial and temporal monitoring, especially for lead and copper.

Keywords: Heavy metals, Biomonitoring, Pollution indices, Walnut, Poplar.