فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۲

۲۸۸-۲۶۷

مقاله پژوهشی

اندازه‌گیری و ارزیابی تجمع آلودگی فلزات سنگین در خاک و برگ سه گونه‌ی درختی (چریش، کهور و کونوکارپوس) در شهر بندرعباس

سمانه حبیبی[۱]، محمود بهروزی[۲] و احمد نوحه‌گر[۳]*

[۱] گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

[۲] پژوهشکده علوم دریایی، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، کیش، ایران

[۳] گروه برنامه‌ریزی مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۳۰

حبیبی، س.، م. بهروزی و ا. نوحه‌گر. ۱۴۰۲. اندازه‌گیری و ارزیابی تجمع آلودگی فلزات سنگین در خاک و برگ سه گونه‌ی درختی (چریش، کهور و کونوکارپوس) در شهر بندرعباس. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۳): ۲۶۷-۲۸۸.

سابقه و هدف: انتشار ذرات معلق از اگزوز خودروها، سایش لاستیک و لنت، روان‌کننده‌های موتور و سایش حصار خیابانی، حاوی فلزات سنگینی است که سلامت اکوسیستم شهری را با خطر آلودگی مواجه می‌سازد؛ اما عمده‌ی ذرات بر اندام هوایی گیاه و خاک بستر آن رسوب نموده و جذب گیاه می‌شود. گونه‌های مقاوم به آلودگی و دارای ظرفیت بالا برای جذب ذرات معلق، می‌تواند برای حذف ذرات معلق از هوای محیط شهری به‌کار آیند. به‌همین دلیل در پژوهش حاضر، سعی در سنجش و ارزیابی غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی و خاک بستر گونه‌های درختی شهر بندرعباس است و گونه‌ای که بیشترین پتانسیل جذب فلزات سنگین را دارد، شناسایی گردد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور دستیابی به رهیافت پژوهش، ابتدا سه گونه‌ی درختی شامل: چریش (*Azadirachta indica*)، کونوکارپوس (*Conocarpus erectus L.*) و کهور (*Prosopis juliflora*) بعنوان گیاهان غالب شهر بندرعباس انتخاب گردید و در ۳۰ نقطه از میدان‌ها و خیابان‌های اصلی شهر به همراه پنج نقطه از محیط غیرآلوده در بیرون شهر (شاهد)، از خاک سطحی و برگ این گونه‌ها نمونه‌برداری شد و پس از آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها، غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، منگنز، روی و سرب) با استفاده از دستگاه جذب اتمی در نمونه‌های خاک و برگ درختان اندازه‌گیری شد. سپس اختلاف غلظت فلزات سنگین بین گونه‌های درختی با آزمون تحلیل واریانس و همچنین بین خاک و برگ و بین محیط شهری و شاهد با آزمون تی‌استیودنت بررسی شد. درنهایت برای تعیین گونه‌ی درختی با تجمع‌دهندگی بالای فلزات سنگین، از دو شاخص تجمع زیستی (BCF) و شاخص تجمع فلز (MAI) استفاده گردید.

* Corresponding Author: *Email Address*. nohegar@ut.ac.ir

http://dx.doi.org/10.48308/envs.2021.36989

http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.3.13.3

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که الگوی فلزات سنگین در خاک و برگ گونه‌های درختی به‌صورت Mn > Zn > Pb > Cd بود. بیشینه‌ی غلظت فلزات سنگین به‌ترتیب در خاک و برگ گونه‌ی کونوکارپوس، چریش و کهور بود. ازلحاظ مکانی، بیشترین غلظت فلزات سنگین در نقاط نمونه‌برداری مربوط به بلوار امام حسین بود که امتداد شرقی - غربی داشته و از شمال شهر بندرعباس عبور کرده و بلوارهای شمالی - جنوبی شهر نیز به آن متصل‌اند؛ اما کمینه‌ی غلظت فلزات سنگین در بلوار خلیج‌فارس مشاهده شد. غلظت فلزات منگنز و سرب در خاک گونه‌های گیاهی متفاوت بود و اختلاف آن‌ها در سطح ۹۵ درصد معنادار بود، اما غلظت کادمیوم و روی در خاک گونه‌های درختی اختلافی مشاهده نشد. در اندام هوایی گونه‌های درختی موردمطالعه، غلظت سرب، منگنز و روی تفاوتی مشاهده نشد و اختلاف آن‌ها در سطح ۹۵ درصد معنادار نبود؛ اما غلظت کادمیوم در اندام هوایی گونه‌ها (برگ درختان)، متفاوت بوده و اختلاف بین گونه‌ها در سطح ۹۵ درصد معنادار بود. اختلاف آماری غلظت فلزات سنگین بین خاک و برگ درختان در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار بود؛ همچنین غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ درختان بین محیط‌شهری و شاهد در سطح ۹۵ درصد اختلاف معناداری داشت. الگوی شاخص تجمع زیستی در همه‌ی گونه‌ها Zn > Pb > Mn > Cd بود و فلزات سنگین دارای انباشت‌گر متوسط برای گونه‌های درختی بودند. شاخص تجمع زیستی (MAI) نشان داد که کونوکارپوس دارای بیشترین پتانسیل جذب فلزات سنگین است و کمترین پتانسیل جذب نیز در گونه‌ی کهور مشاهده گردید. در توزیع مکانی این شاخص نیز، بلوار امام حسین و خیابان‌هایی که از آن انشعاب می‌گیرند، دارای بیشترین شاخص تجمع زیستی فلزات سنگین هستند.

نتیجه‌گیری: گونه‌ی کونوکارپوس با جذب آلاینده‌های ناشی از ترافیک شهری، موجب پالایش هوای آلوده‌ی شهر بندرعباس می‌شود. کهور یا سُمُر که یکی از درختان مهاجر در شهر بندرعباس می‌باشد، با ریشه‌های قوی و عمیق موجب خشکیدن آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه می‌شود. از طرف دیگر، پتانسیل آن برای جذب آلاینده‌های هوای شهری بسیار ضعیف است. بنابراین کونوکارپوس و دیگر گیاهانی که علی‌رغم مقاومت در برابر خشکی و گرما، پتانسیل بالایی در پالایش آلودگی شهری دارند، می‌تواند جایگزین کهور گردد.

واژه‌های کلیدی: کونوکارپوس، بندرعباس، کادمیوم، شاخص تجمع فلز، شاخص تجمع زیستی.

مقدمه

افزایش ترافیک و تردد خودروهای درون‌شهری یکی از منابع اصلی آلودگی به‌شمار می‌رود. این خودروها با مصرف سوخت‌های فسیلی موجب انتشار ذرات معلق و گازهای سمی وارد محیط می‌شوند (Houston *et al.*, 2004) البته سایش لاستیک خودرو و غبار ناشی از لنت ترمز نیز از منابع اصلی آلودگی خودرو می‌باشد. ذرات معلقی که از اگزوز خودروها، سایش لاستیک و لنت خودرو منتشر می‌شود، حاوی فلزات سنگینی است که بدلیل سمی‌بودن، تجمع‌پذیری و ماندگاری طولانی، بر اکوسیستم‌های محیطی خسارت‌های زیادی وارد می‌کند. چگالی فلزاتی که بیشتر از پنج گرم در سانتی‌متر مکعب باشد، بعنوان فلزات سنگین شناخته می‌شوند که می‌توان به فلزات سنگین ضروری (کروم، کبالت، روی، مس، منگنز و آهن) و غیرضروری (سرب، کادمیوم، جیوه و آرسنیک) اشاره نمود (Nasir *et al.*, 2015). ذرات معلق ناشی از ترافیک شهری عمدتاً بر روی برگ گیاه و یا سطح خاک رسوب می‌شود. گیاهان که مواد غذایی خود را از خاک تأمین می‌نمایند، فلزات سنگین در خاک را از طریق ریشه جذب نموده و در اندام خود ذخیره می‌کند (Turkyilmaz *et al.*, 2020). برخی از گونه‌های گیاهی در مقابل تنش آلودگی فلزات سنگین مقاوم بوده و توانایی رشد در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین را دارند که این گیاهان برای پالایش زیستی خاک به‌روش گیاه‌پالایی می‌توانند مفید واقع گردند (Zhang *et al.*, 2012).

میزان جذب فلزات سنگین به‌وسیله‌ی گونه‌های گیاهی نیز متفاوت است و پژوهشگران جهت ارزیابی آن از شاخص تجمع فلز(MAI)[1] و شاخص تجمع زیستی(BCF)[2] استفاده می‌نمایند. فلزات سنگین و جذب آن بوسیله‌ی درختان بومی در اطراف کارخانه سیمان نهاوند بررسی و گونه‌ی سنجد بعنوان جاذب‌ترین گونه‌ی گیاهی معرفی شد که موجب پالایش هوای محیطی اطراف کارخانه سیمان می‌گردد (Solgi *et al.*, 2020). گیاه نی بعنوان یکی از گونه‌های جاذب فلزات سنگین معرفی شده است که فلز کادمیوم و سرب در ریشه و نیکل

در ساقه‌ی آن دارای ضریب تجمع زیستی بالایی هستند (Mahmoud and Ghoneim, 2016). درختان اکالیپتوس و بُرهان توانایی بالایی در جذب کادمیوم ناشی از صنایع فولاد دارند که پژوهشگران برای پالایش فلزات سنگین در اطراف صنایع فولاد، اکالیپتوس را پیشنهاد می‌دهند (Torkashvand *et al*., 2018).

گونه‌ی کونوکارپوس که بعنوان گیاه غالب در فضای شهری بویژه در استان خوزستان شناخته می‌شود، می‌تواند یک زیست‌ردیاب در پایش غلظت فلزات سنگین در محیط‌های شهری و یا صنعتی محسوب گردد به‌گونه‌ای که غلظت فلزات سنگین در برگ کونوکارپوس را در شهر آبادان بررسی نموده و نشان دادند که غلظت آلاینده‌های فلزی در محیط‌های صنعتی نسبت به محیط‌های غیرصنعتی بیشتر است و این گیاه به‌خوبی توانایی پایش غلظت فلزات سنگین و آلودگی محیط را دارد. گونه‌های سوزنی برگ *Juniperus formosana* که در خیابان‌های شهر گوانگژو چین بعنوان کمربند سبز جاده‌ای شناخته می‌شود، نقش مهمی در جذب فلزات سنگین و پالایش هوای شهر دارد و مدیران هرساله بر تراکم کاشت شهری آن می‌افزایند (Chen *et al*., 2019). پژوهشگران تجمع زیستی فلزات سنگین در خیابان‌های شهر یان در کشور چین را از طریق شاخص MAI در ۱۴ گونه‌ی درختی بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که گونه‌های *Sabina chinensis*, *Juniperus formosana*, *Ailanthus altissima* و *Salix matsudana var. matsudana* بیشترین توانایی تجمع و انباشت فلزات سنگین را دارند (Hu *et al*., 2014). کاشت جنگل‌های مانگرو با گونه‌ی حرا در منطقه‌ی شنژن در جنوب کشور چین، یکی از روش‌های زیست‌پالایی آلودگی ناشی از فلزات سنگینی است که از رودخانه‌های صنعتی نشأت می‌گیرد؛ به‌طوری‌که غلظت فلزات سنگین همچون روی، نیکل و کروم در ریشه و اندام هوایی گونه‌ی حرا بیشتر از غلظت آن در رسوبات سطحی است (Chai *et al*., 2019).

آلودگی ناشی از ترافیک شهری و صنعتی در شهر ریاض در کشور عربستان موجب تجمع فلزات سنگین در برگ و غلاف حبوبات حومه‌ی شهری می‌شود، اما ارزیابی تجمع زیستی آن نشان داد که حبوبات نمی‌تواند بعنوان جاذب فلزات سنگین شناخته شود (Alyemeni and Almohisen, 2014). اگرچه فلزات سنگین بر سطح خاک رسوب و بوسیله‌ی ریشه‌ی گیاه جذب شده و در اندام گیاهی تجمع می‌یابد، اما برگ‌ها نیز نقش مهمی در به‌دام انداختن ذرات معلقی دارد که حاوی فلزات سنگین هستند و در شهر نانجینگ، گونه‌های گیاهی *Nerium indicum* و *Acer palmatum* پتانسیل بالایی در جذب سرب، روی و کروم داشتند (Jia *et al*., 2020). در جنگل‌های گرمسیری بنگال و هند، گونه‌های *Shorea robusta Gaertn.*، *Acacia auriculiformis Benth*، *Eucalyptus globulus Labill*، *Azadirachta indica* نقش زیادی در جذب آلودگی صنعتی و شهری دارند (Karmakar and Padhy, 2019). در شهرهای کشور اکوادور که از گونه‌ی گیاهی *Araucaria heterophylla* بعنوان کمربند سبز جاده‌ای استفاده شده است، غلظت آلودگی هوای شهری کمتر از حد استاندارد است، به‌گونه‌ای که در خیابان بیمارستان که شلوغ‌ترین و پرترافیک‌ترین منطقه‌ی شهری می‌باشد، اما بدلیل وجود *Araucaria heterophylla*، غلظت فلزات سنگین در هوای شهری کمتر از دیگر مناطق است (Alexandrino *et al*., 2020). پارک‌های شهری که در مجاورت با خیابان‌های پرتردد شهری قرار دارد، میزبان بسیاری از فلزات سنگین است؛ به‌گونه‌ای که پژوهشگران از گیاه و خاک ۱۲۱ پارک در کلان‌شهر پکن نمونه‌برداری نموده و نشان دادند که غلظت فلزات سنگین در خاک و حتی اندام هوایی گیاهان بیشتر از غلظت زمینه‌ای آن‌ها بود که منشاء اصلی این فلزات را ترافیک شهری و فاضلاب معرفی نمودند (Liu *et al*., 2020).

با بررسی پژوهش‌های صورت گرفته، می‌توان گفت که

اگرچه نقش گیاهان بعنوان زیست‌پالایی آلودگی شناخته شده است، اما پتانسیل‌های متفاوتی در برابر جذب فلزات سنگین و پالایش هوا دارند. بندرعباس، منطقه‌ی صنعتی - گردشگری است که منطقه ویژه اقتصادی خلیج فارس با ۴۵۰۰ هکتار در غرب آن، در کنار ترافیک شهری زیاد آن، موجب آلودگی شدید هوای شهری آن شده است. آلاینده-های گازی و ذرات جامدی که از ترافیک شهری و مناطق صنعتی مجاور بندرعباس نشأت می‌گیرند، حاوی فلزات سنگین بوده که اکوسیستم شهری و ساحلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شهر بندرعباس، از گونه‌های بومی بعنوان کمربند سبز در لبه‌ی خیابان‌ها و پارک‌ها استفاده نموده‌اند که می‌توان به چریش، اکالیپتوس، کونوکارپوس، کهور، آکاسیا، کرت و نخل زینتی اشاره نمود که پتانسیل جذب فلزات سنگین متفاوتی دارند، اما در شهر بندرعباس ناشناخته مانده است. به‌همین دلیل، پژوهش حاضر سعی در شناسایی پتانسیل گونه‌های درختی در تجمع و جذب فلزات سنگین داشت تا بتوان با گسترش آن در سطح شهر، آلودگی هوای شهر بندرعباس را کنترل و یا تعدیل نمود.

مواد و روش‌ها

بندرعباس در منتهی‌الیه جنوب ایران در ۲۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۸۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. جمعیت شهر بندرعباس در سال ۱۳۹۵ برابر ۵۸۸ هزار نفر بوده است. پهنه‌ای که بندرعباس در آن واقع شده است، مساحتی معادل ۵۳۲۳/۵ هکتار را در بر می‌گیرد که این محدوده از شمال به ارتفاعات پولادین، از جنوب به دریای خلیج فارس، از شرق به فرودگاه و تأسیسات نیروی دریایی و از غرب به تأسیسات نیروی دریایی و منطقه ویژه اقتصادی خلیج فارس محدود می‌گردد (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه

جامعه‌ی آزمایش در پژوهش حاضر شامل سه گونه‌ی درختی چریش (*Azadirachta indica*)، کونوکارپوس (*Conocarpus*) و کهور (*Prosopis juliflora*) در ۳۰ نقطه از میدان‌های شهری و معابر اصلی شهر بندرعباس می‌باشد (شکل ۱).

شکل ۱- منطقه‌ی مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری خاک و برگ از گونه‌های گیاهی در شهر بندرعباس
Fig. 1- Study area and soil and leaf sampling points of plant species in Bandar Abbas

نمونه‌برداری

در این پژوهش، غلظت فلزات سنگین شامل کادمیوم (Cd)، منگنز (Mn)، سرب (Pb) و روی (Zn) در خاک و برگ سه‌گونه‌ی درختی (جامعه آزمایش) بعنوان متغیرهای پژوهش درنظر گرفته شد. از خاک و برگ جامعه‌ی آزمایش نمونه‌برداری شد؛ نمونه‌های خاک از

اطراف هر گونه‌ی درختی در ۳۰ نقطه‌ی شهر و از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری برداشت شد. همچنین برای هر گونه، سه درخت به‌صورت تصادفی در هر نقطه انتخاب و از برگ آن‌ها نمونه‌برداری شد. همچنین پنج نقطه از محیط دور از شهر و آلودگی صنعتی (کیلومتر ۸، بخش شرقی شهر بندرعباس، در روبه‌روی دانشگاه هرمزگان) بعنوان شاهد درنظر گرفته شده و از خاک و برگ سه گونه‌ی درختی مزبور در نقاط شاهد نمونه‌برداری شد.

روش اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ گونه‌های درختی به‌گونه‌ای بود که نمونه‌های خاک و برگ در کیسه‌های پلاستیکی کدگذاری شده به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه از روش هضم تَر و دستگاه جذب اتمی، غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شد (Solgi *et al.*, 2020).

آنالیز آماری

به‌منظور بررسی و تجزیه‌وتحلیل آماری غلظت هر یک از فلزات سنگین در خاک بستر و برگ گونه‌های گیاهی در شهر بندرعباس، ابتدا از آزمون شاپیرو - ویلک و آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای نرمال بودن داده‌ها (غلظت هر فلز در هر یک از گونه‌های گیاهی در ۳۰ نقطه از شهر بندرعباس) استفاده گردید و پس از نرمال بودن داده‌ها، از آزمون‌های پارامتریک تحلیل واریانس و آزمون تی-استیودنت برای مقایسه‌ی غلظت فلزات سنگین استفاده شد.

پارامترهای آماری میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف از معیار غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ هر گونه‌ی درختی محاسبه گردید. سپس برای شناسایی اختلاف میانگین هر فلز بین گونه‌های درختی، از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون مقایسه میانگین توکی استفاده گردید. همچنین برای هر یک از فلزات سنگین یک نمودار تهیه گردید و در آن غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی در ۳۰ نقطه‌ی شهر نشان داده شد و اختلاف عددی آن با حد استاندارد نمایان گردید.

برای مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ گونه‌های گیاهی و همچنین برای آنالیز اختلاف آماری غلظت فلزات سنگین در بین نمونه‌های شاهد و محیط‌شهری از آزمون تی‌استیودنت استفاده گردید.

شاخص‌های آلودگی

به‌منظور بررسی پتانسیل گونه‌های چریش، کونوکارپوس و کهور بعنوان جاذب فلزات سنگین از شاخص‌های تجمع زیستی (BCF) و تجمع فلزات (MAI) استفاده گردید. شاخص تجمع زیستی از تقسیم غلظت فلز سنگین در بافت گیاهی به غلظت همان عنصر در خاکی که گیاه در آن مستقر است، بدست می‌آید (رابطه ۱) (Arnot and Gobas, 2006). اگر مقدار این شاخص بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده‌ی بیش انباشت‌گر است. اگر بین ۰/۱ تا ۱ باشد بیان‌گر متوسط انباشت‌گر و کمتر از ۰/۱ باشد، غیر انباشت‌گر خواهد بود (Bini *et al.*, 1995).

$$BCF = C_{\text{Plant Tissue}} / C_{\text{Soil}} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، $C_{\text{Plant Tissue}}$ غلظت فلز در بافت گیاه و C_{Soil} غلظت فلز در خاکی است که گیاه از آن تغذیه می-کند.

از آنجاییکه گیاهان قادرند به‌طور همزمان چندین فلز را در خود انباشته نمایند، شاخص تجمع فلز (MAI) برای بررسی مقدار انباشت همزمان فلزات گوناگون توسط گونه‌های گیاهی جامعه‌ی آزمایش از طریق رابطه‌ی ۲ محاسبه گردید (Hu *et al.*, 2014).

$$MAI = (1/N) \times \sum_{j=1}^{N} Ij \qquad (۲)$$

که در آن، N تعداد فلزات اندازه‌گیری شده (چهار فلز سنگین در پژوهش حاضر)، Ij برای هر فلز از تقسیم میانگین غلظت در اندام گیاه بر مقدار انحراف معیار آن محاسبه می‌گردد.

نتایج و بحث

آنالیز آماری

نتایج حاصل از آزمون شاپیرو - ویلک و آزمون

کولموگروف اسمیرنوف برای نرمال بودن غلظت هر یک از فلزات سنگین در خاک بستر گونه‌های درختی شهر بندرعباس بیان‌گر این است که غلظت همه‌ی فلزات در سطح نرمال قرار دارد، چون سطح معنی‌داری آزمون‌های شاپیرو - ویلک و کولموگروف اسمیرنوف بزرگتر از ۰/۰۵ است و نشان می‌دهد که داده‌ها نرمال است (جدول ۱).

جدول ۱- آزمون‌های آماری برای تست نرمال بودن غلظت فلزات سنگین در خاک بستر گونه‌های درختی در شهر بندرعباس

Table 1. Normality tests of heavy metal concentrations in the soil of tree species in Bandar Abbas

آزمون کولموگروف- اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov test		آزمون شاپیرو- ویلک Shapiro- Wilk test		واریانس Variance	انحراف از معیار S. deviation	میانگین Average	گونه‌ی گیاهی Species
سطح معنی‌داری P-values	آماره F	سطح معنی‌داری P-values	آماره F				
				Cd			
0.066*	0.165	0.242*	0.956	0.436	0.660	2.02	چریش Azadirachta indica
0.165*	0.136	0.163*	0.949	0.469	0.68	2.09	کونوکارپوس Conocarpus
0.071*	0.206	0.076*	0.937	0.458	0.676	1.73	کهور Prosopis
				Mn			
0.051*	0.198	0.066*	0.935	6721	81.98	186	چریش Azadirachta indica
0.055*	0.202	0.068*	0.935	6692	81.80	193.8	کونوکارپوس Conocarpus
0.171*	0.135	0.079*	0.938	5861	76.56	146	کهور Prosopis
				Zn			
0.200*	0.107	0.167*	0.950	9206	95.94	220	چریش Azadirachta indica
0.200*	0.103	0.241*	0.956	9754	98.76	243	کونوکارپوس Conocarpus
0.2009	0.101	0.194*	0.952	8294	91.07	188.5	کهور Prosopis
				Pb			
0.200*	0.114	0.303*	0.930	427	20.68	51.3	چریش Azadirachta indica
0.200*	0.081	0.447*	0.933	504	22.45	55.46	کونوکارپوس Conocarpus
0.200*	0.103	0.369*	0.963	406	20.16	45.83	کهور Prosopis

آزمون‌های آماری شاپیرو - ویلک و کولموگروف اسمیرنوف برای نرمال بودن غلظت هر یک از فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی شهر بندرعباس نیز بیان‌گر این است که به‌جز فلز منگنز، غلظت دیگر فلزات در گونه‌های درختی دارای توزیع نرمال است (جدول ۲).

جدول ۲- آزمون‌های آماری برای تست نرمال بودن غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی در شهر بندرعباس
Table 2. Normality tests of heavy metal concentrations in the leaves of tree species in Bandar Abbas

آزمون کولموگروف- اسمیرنوف Kolmogorov-Smirnov test		آزمون شاپیرو- ویلک Shapiro- Wilk test		واریانس Variance	انحراف از معیار S. deviation	میانگین Average	گونه‌ی گیاهی Species
سطح معنی‌داری P-values	آماره F	سطح معنی‌داری P-values	آماره F				
				Cd			
200*	0.118	186*	0.952	0.188	0.433	1.095	چریش Azadirachta indica
0.028	0.169	0.015	0.910	0.185	0429	1.065	کونوکارپوس Conocarpus
0.059*	0.161	0.53*	0.967	0.160	0.99	0.857	کهور Prosopis
				Mn			
0.032	0.167	0.035	0.924	3338	57.77	109.13	چریش Azadirachta indica
0.014	0.181	0.024	0.918	3473	58.93	114.6	کونوکارپوس Conocarpus
0.006	0.192	0.003	0.883	2898	54.68	87.56	کهور Prosopis
				Zn			
0.0589	0.157	0.0589	0.933	3882	62.31	134	چریش Azadirachta indica
0.54*	0.179	0.068	0.936	3955	62.89	145	کونوکارپوس Conocarpus
0.131*	0.141	0.085*	0.939	3882	62.31	111.9	کهور Prosopis
				Pb			
0.200*	0.120	0.085*	0.939	280	16.75	32.08	چریش Azadirachta indica
0.200*	0.101	0.235*	0.955	297	17.25	35.73	کونوکارپوس Conocarpus
0.200*	0.099	0.1209	0.944	240	15.49	28.03	کهور Prosopis

نتایج نشان داد اختلاف آماری غلظت کادمیوم و روی در خاک بستر گونه‌های گیاهی در سطح ۹۵ درصد معنادار نیست؛ اما غلظت منگنز و سرب در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار است که در آن بیشینه‌ی غلظت منگنز و سرب در خاک بستر گونه‌ی کونوکارپوس و کمینه‌ی آن در خاک بستر کهور می‌باشد. همچنین در بین فلزات سنگین، فلز سرب از حد استاندارد آن در محیط‌های شهری فراتر است (جدول ۳).

جدول ۳- آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در خاک بستر گونه‌های درختی در شهر بندرعباس
Table 3. Statistical analysis of heavy metal concentrations in the soil of tree species in Bandar

اختلاف میانگین Average difference		مطالعه حاضر Current study				استاندارد (میلی‌گرم در کیلوگرم) Standard (mg/kg)		گونه‌ی گیاهی Species
سطح معنی داری P-Value	آماره F	انحراف معیار S. deviation	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	حدود استاندارد در گیاه Standard in plant	حدود استاندارد در خاک Standard in soil	
					Cd			
0.100 ns	2.360	0.66 0.68 0.66	2.02 2.08 1.73	0.65 0.90 0.54	3.45 3.65 3.25	0.2 – 0.8	0.1 - 7	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis

ادامه جدول ۳- آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در خاک بستر گونه‌های درختی در شهر بندرعباس

Table 3. Cont. Statistical analysis of heavy metal concentrations in the soil of tree species in Bandar

اختلاف میانگین Average difference		مطالعه حاضر Current study				استاندارد (میلی‌گرم در کیلوگرم) Standard (mg/kg)		گونه‌ی گیاهی Species
سطح معنی داری P-Value	آماره F	انحراف معیار S. deviation	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	حدود استاندارد در گیاه Standard in plant	حدود استاندارد در خاک Standard in soil	
					Mn			
0.000**	8.61	81.98 81.80 60.99	186 *a* 393 *a* 120 *b*	42 51 32	314 323 286	15 - 100	200 - 3000	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis
					Zn			
0.171 ns	1.80	95.94 98.76 91	220 234 188	44 63 36	366 411 341	100 - 400	400 - 600	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis
					Pb			
0.014 *	4.45	20.68 22.45 185.57	51.3 *ab* 55.4 *a* 40.1 *b*	11 12 10	87 93 73	0.1 - 10	0.2 - 1	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis

نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون مقایسه میانگین توکی نشان داد که اختلاف آماری غلظت کادمیوم و سرب در برگ گونه‌های درختی در سطح ۹۵ درصد معنادار است؛ به‌گونه‌ای که غلظت کادمیوم در چریش و کونوکارپوس همسان بوده و بیشتر از کهور بود و بیشینه‌ی غلظت سرب نیز در کونوکارپوس و کمینه‌ی آن در کهور بود. اگرچه غلظت منگنز و روی در کونوکارپوس بیشتر از دیگر درختان می‌باشد، اما اختلاف آماری آنها در سطح ۹۵ درصد معنادار نیست. در برگ گیاهان، غلظت کادمیوم، منگنز و سرب بیشتر از حد استاندارد آن می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی در شهر بندرعباس

Table 4. Statistical analysis of heavy metal concentrations in the leaves of tree species in Bandar Abbas

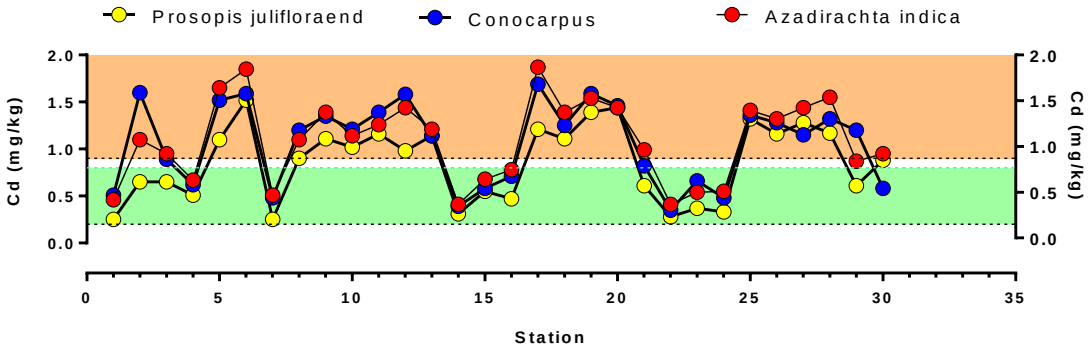
اختلاف میانگین Average difference		مطالعه حاضر Current study				استاندارد (میلی‌گرم در کیلوگرم) Standard (mg/kg)		گونه‌ی گیاهی Species
سطح معنی داری P-Value	حداکثر Max	حدود استاندارد در گیاه Standard in plant	حدود استاندارد در خاک Standard in soil	حداقل Min	حداکثر Max	حدود استاندارد در گیاه Standard in plant	حدود استاندارد در خاک Standard in soil	
					Cd			
0.045*	3.22	0.43 0.43 0.39	1.09 a 1.09 a 0.85 b	0.41 0.35 0.25	1.87 1.69 1.52	0.2 – 0.8	0.1 - 7	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis

ادامه جدول ۴- آنالیز آماری غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی در شهر بندرعباس

Table 4. Cont. Statistical analysis of heavy metal concentrations in the leaves of tree species in Bandar Abbas

اختلاف میانگین Average difference		مطالعه حاضر Current study				استاندارد (میلی‌گرم در کیلوگرم) Standard (mg/kg)		گونه‌ی گیاهی Species
سطح معنی داری P-Value	حداکثر Max	حدود استاندارد در گیاه Standard in plant	حدود استاندارد در خاک Standard in soil	حداقل Min	حداکثر Max	حدود استاندارد در گیاه Standard in plant	حدود استاندارد در خاک Standard in soil	
				Mn				
0.158 ns	1.88	57.7 58.9 54.6	109 114 88	29 33 14	215 223 117	15 - 100	200 - 3000	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis
				Zn				
0.115 ns	2.21	62.3 62.8 62.3	134 145 111	21 29 13	224 239 217	100 - 400	400 - 600	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis
				Pb				
0.196 ns	1.66	16.5 17.2 15.4	32.5 35.7 28	5.9 5.9 4	61.2 66.3 54	0.1 - 10	0.2 - 1	چریش Azadirachta indica کونوکارپوس Conocarpus کهور Prosopis

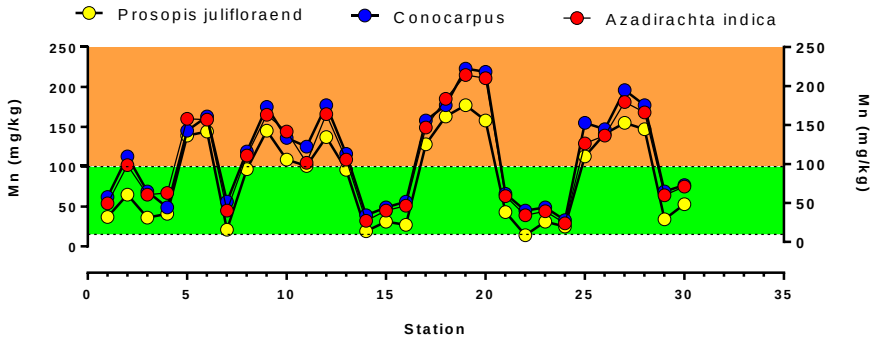
در اشکال (۲ تا ۵)، غلظت فلزات سنگین در گونه‌های درختی ۳۰ نقطه از شهر بندرعباس به‌صورت نمودار ارائه شده و غلظت آن با حد استاندارد غلظت فلزات در گیاهان با کاربری شهری مقایسه شده است. غلظت کادمیوم در بیش از ۵۰ درصد نقاط شهری بندرعباس، در گونه‌های درختی بیش از حد استاندارد جهانی آن است که بین ۰/۸ – ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. بیشترین غلظت کادمیوم در نقطه‌ی ۶ (پل رسالت) و نقطه ۱۸ (بلوار امام حسین) مشاهده می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- غلظت کادمیوم در برگ گونه‌های درختی ۳۰ نقطه شهر بندرعباس (پهنه‌ی سبزرنگ: حد استاندارد – پهنه‌ی قرمزرنگ: فراتر از حد استاندارد)

Fig. 2 - Concentration of Cd in the leaves of tree species in 30 stations of Bandar Abbas city (green zone: standard - red zone: higher than standard)

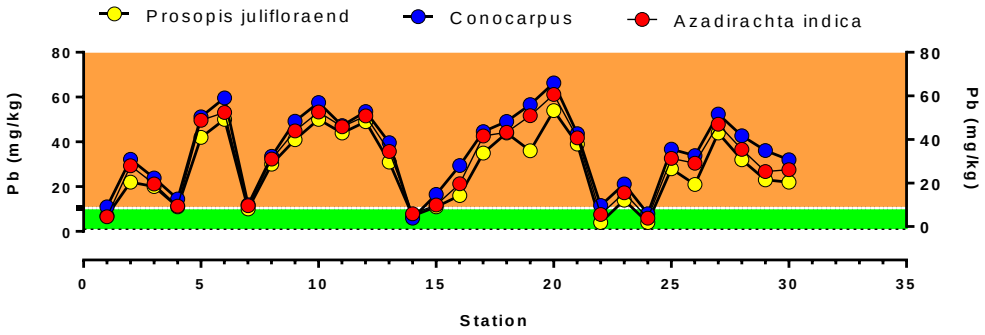
حد استاندارد غلظت منگنز در گیاهان کاربری‌های شهری بین ۱۰۰ - ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است که در ۱۷ نقطه از ۳۰ نقطه‌ی منتخب در شهر بندرعباس، بیشتر از حد استاندارد است و بیشینه‌ی آن در درختان کونوکارپوس در نقاط ۱۹ و ۲۰ (بلوار امام حسین و بلوار شهدا) مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳- غلظت منگنز در برگ گونه‌های درختی ۳۰ نقطه شهر بندرعباس (پهنه‌ی سبز رنگ: حد استاندارد – پهنه‌ی قرمزرنگ: فراتر از حد استاندارد)

Fig. 3 - Concentration of Mn in the leaves of tree species 30 in stations of Bandar Abbas city (green zone: standard - red zone: higher than standard)

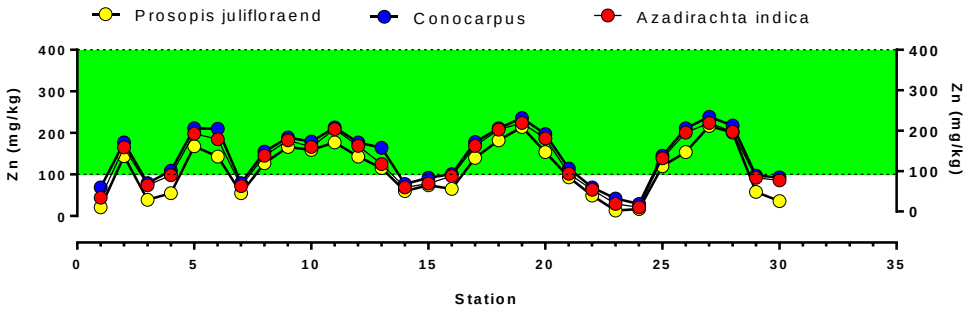
حد استاندارد غلظت سرب در گیاهان کاربری‌های شهری بین ۱۰ - ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است که در غالب نقاط شهری بندرعباس، غلظت آن بیشتر از حد استاندارد است (شکل ۴).



شکل ۴- غلظت سرب در برگ گونه‌های درختی ۳۰ نقطه شهر بندرعباس (پهنه‌ی سبزرنگ: حد استاندارد – پهنه‌ی قرمزرنگ: فراتر از حد استاندارد)

Fig. 4 - Concentration of Pb in the leaves of tree species 30 in stations of Bandar Abbas city (green zone: standard - red zone: higher than standard)

حد استاندارد غلظت روی در گیاهان کاربری‌های شهری بین ۴۰۰ - ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است که در تمام نقاط شهری بندرعباس، غلظت آن کمتر از حد استاندارد است (شکل ۵).



شکل ۵- غلظت روی در برگ گونه‌های درختی ۳۰ نقطه شهر بندرعباس (پهنه‌ی سبزرنگ: حد استاندارد – پهنه‌ی قرمزرنگ: فراتر از حد استاندارد)

Fig. 5 - Concentration of Zn in the leaves of tree species 30 in stations of Bandar Abbas city (green zone: standard - red zone: higher than standard)

در این بخش از پژوهش، اختلاف غلظت فلزات سنگین بین خاک و برگ سه گونه‌ی درختی با آزمون تی-استیودنت بررسی شد و نتایج نشان داد که غلظت همه‌ی فلزات سنگین در خاک پای درختان بیشتر از برگ درختان می‌باشد و اختلاف آماری آن‌ها در سطح ۹۹ درصد معنادار است (جداول ۵ و ۶).

جدول ۵- اختلاف آماری غلظت کادمیوم و منگنز بین خاک و برگ با آزمون تی‌استیودنت

Table 5. Statistical difference in Cd and Mn concentrations between soil and leaves by student's T-test

گونه گیاهی Species	کادمیوم (Cd)				منگنز (Mn)			
	خاک Soil	برگ Leave	آماره t	سطح معنی‌داری P-value	خاک Soil	برگ Leave	آماره t	سطح معنی‌داری P-value
چریش Azadirachta indica	2.02	1.09	6.422	0.000**	186	109	4.209	0.000**
کونوکارپوس Conocarpus	2.08	1.09	7.001	0.000**	393	114	4.299	0.000**
کهور Prosopis	1.73	0.85	6.095	0.000**	120	88	3.408	0.001**

جدول ۶- اختلاف آماری غلظت روی و سرب بین خاک و برگ با آزمون تی‌استیودنت

Table 6. Statistical difference in Zn and Pb concentrations between soil and leaves by student's T-test

گونه گیاهی Species	روی (Zn)				سرب (Pb)			
	خاک Soil	برگ Leave	آماره t	سطح معنی‌داری P-value	خاک Soil	برگ Leave	آماره t	سطح معنی‌داری P-value
چریش Azadirachta indica	220	134	4.135	0.000**	51.3	32.5	3.954	0.000**
کونوکارپوس Conocarpus	234	145	4.151	0.000**	55.4	35.7	3.817	0.000**
کهور Prosopis	188	111	3.802	0.000**	40.1	28	3.833	0.000**

در گام نهایی آنالیزهای آماری، غلظت فلزات سنگین در خاک و برگ گونه‌های درختی در محیط شهری (شهر بندرعباس) و محیط غیرشهری (شاهد) با آزمون تی‌استیودنت مقایسه شد (جداول ۷ تا ۱۰) و نتایج نشان داد که میانگین غلظت کادمیوم و سرب در خاک و برگ سه گونه‌ی درختی در نقاط شهری بیشتر از محیط شاهد بوده و اختلاف محیط شهری و شاهد در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار است. غلظت منگنز در خاک کونوکارپوس و برگ کهور بین محیط شهری و شاهد معنادار نیست. همچنین غلظت روی در خاک کونوکارپوس و کهور و برگ کهور در محیط شهری و شاهد اختلافی ندارند.

جدول ۷- اختلاف آماری غلظت کادمیوم بین محیط شهری و غیرشهری با آزمون تی‌استیودنت

Table 7. Statistical difference in Cd concentration between urban and non-urban field by student's T-test

گونه گیاهی Species	کادمیوم (Cd)							
	خاک Soil				برگ Leaves			
	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value
چریش Azadirachta indica	2.02	0.23	8.275	0.000**	1.09	0.20	3.364	0.010*
کونوکارپوس Conocarpus	2.08	0.32	6.702	0.001**	1.09	0.22	3.415	0.009**
کهور Prosopis	1.73	0.31	4.267	0.003**	0.85	0.10	3.696	0.006**

جدول ۸- اختلاف آماری غلظت منگنز بین محیط شهری و غیرشهری با آزمون تی‌استیودنت

Table 8. Statistical difference in Mn concentration between urban and non-urban field by student's T-test

منگنز (Mn)								
گونه گیاهی Species	خاک Soil				برگ Leaves			
	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value
چریش Azadirachta indica	186	126.4	2.485	0.035*	109	41.8	2.416	0.042*
کونوکارپوس Conocarpus	393	152.4	1.458	0.184 ns	114	36.4	2.748	0.025*
کهور Prosopis	120	65.4	2.414	0.042*	88	25.6	1.871	0.098 ns

جدول ۹- اختلاف آماری غلظت سرب بین محیط شهری و غیرشهری با آزمون تی‌استیودنت

Table 9. Statistical difference in Pb concentration between urban and non-urban field by student's T-test

سرب (Pb)								
گونه گیاهی Species	خاک Soil				برگ Leaves			
	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value
چریش Azadirachta indica	51.3	4.34	3.488	0.008**	32.5	2.52	2.765	0.024*
کونوکارپوس Conocarpus	55.4	6.98	2.955	0.018*	35.7	3.56	3.197	0.013*
کهور Prosopis	40.1	3.68	3.687	0.006**	28	4.02	2.688	0.028*

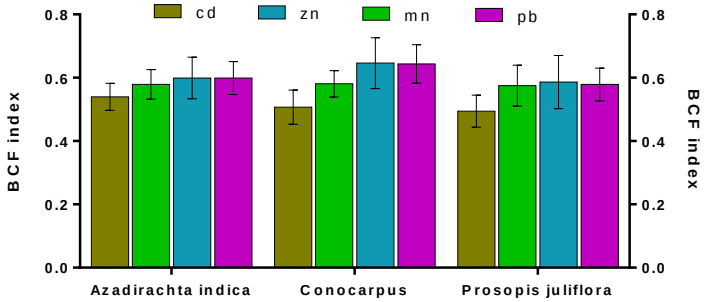
جدول ۱۰- اختلاف آماری غلظت روی بین محیط شهری و غیرشهری با آزمون تی‌استیودنت

Table 10. Statistical difference in Zn concentration between urban and non-urban field by student's T-test

روی (Zn)								
گونه گیاهی Species	خاک Soil				برگ Leaves			
	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value	محیط شهری Urban environment	محیط غیرشهری Non-urban environment	آماره t	سطح معنی‌داری P-value
چریش Azadirachta indica	220	88.8	2.389	0.044*	134	35.2	2.790	0.024*
کونوکارپوس Conocarpus	234	141.6	1.643	0.139 ns	145	49.8	2.770	0.024*
کهور Prosopis	188	139.4	0.753	0.473 ns	111	24.2	2.061	0.073 ns

شاخص تجمع زیستی (BCF)

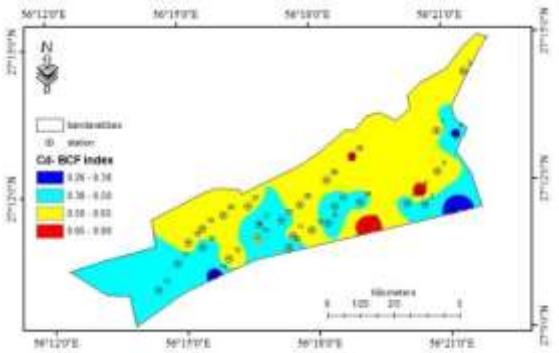
نتایج حاصل از ارزیابی شاخص تجمع زیستی نشان داد که تجمع فلزات سنگین در گیاهان کمتر از خاک بستر بوده، اما شاخص تجمع زیستی در همه‌ی فلزات و گونه‌های درختان شهری موردمطالعه، بیشتر از ۰/۵ بود که نشان داد درختان مورد مطالعه در حد انباشت‌گر متوسط فلزات سنگین بودند. بیشینه‌ی انباشت‌ها مربوط به فلز سرب و کمینه‌ی آن مربوط به فلز کادمیوم بود. همچنین کونوکارپوس دارای بیشترین شاخص تجمع زیستی فلزات سنگین بوده و کمترین تجمع نیز در کهور بود. البته تفاوت بین تجمع فلزات سنگین در چریش و کونوکارپوس تقریباً به یک اندازه بوده و اختلاف فاحشی بین آنها مشاهده نشد (شکل ۶).



شکل ۶- ارزیابی تجمع فلزات سنگین در گونه‌های درختی شهر بندرعباس با شاخص تجمع زیستی

Fig. 6- Evaluation of heavy metal accumulation in tree species in Bandar Abbas with BCF index

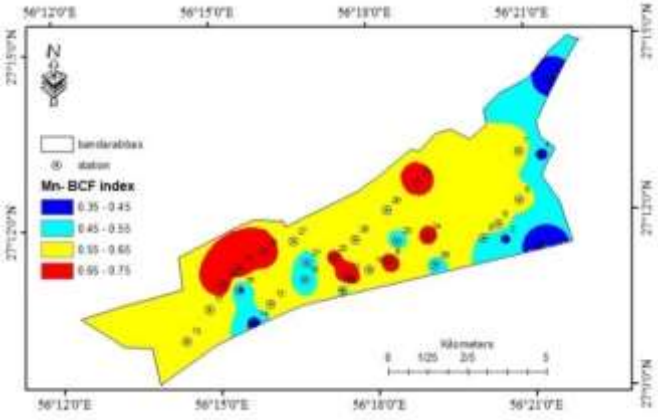
اگر مقدار شاخص تجمع زیستی بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده‌ی بیش انباشت‌گر است. اگر بین ۰/۱ تا ۱ باشد بیان‌گر متوسط انباشت‌گر و کمتر از ۰/۱ باشد، غیر انباشت‌گر خواهد بود. شاخص تجمع زیستی برای نقاط مختلف شهر بندرعباس برای هر یک از فلزات محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشینه‌ی تجمع کادمیوم در درختان شهری بلوارهای امام حسین، جمهوری، بلوار امام خمینی و بلوار غدیر در ساحل شرقی بندرعباس بود، اما تجمع فلزات سنگین در نواحی غربی و نقاط شرقی شهر بندرعباس کمتر از نواحی مرکزی و بلوارهای شمالی آن بود. در بلوارهای جمهوری، امام خمینی و امام حسین که از معابر پرتردد شهر بندرعباس می‌باشند، انتشار آلاینده‌ها از ترافیک شهری زیاد بوده و درختان در کمربند جاده‌ای نقش مهمی در جذب آلاینده‌ها دارند و نقشه‌ی زیر نیز بیان‌گر تجمع زیاد کادمیوم در درختان شهری این خیابان‌ها است (شکل ۷). به‌طورکلی، نتایج بیان‌گر این است که برای کادمیوم، درختان شهری بندرعباس دارای انباشت‌گر متوسط هستند، چون اعداد محاسبه شده برای شاخص تجمع زیستی بین ۰/۱ تا ۱ می‌باشد.



شکل ۷- شاخص تجمع زیستی برای کادمیوم در پهنه‌ی شهری بندرعباس

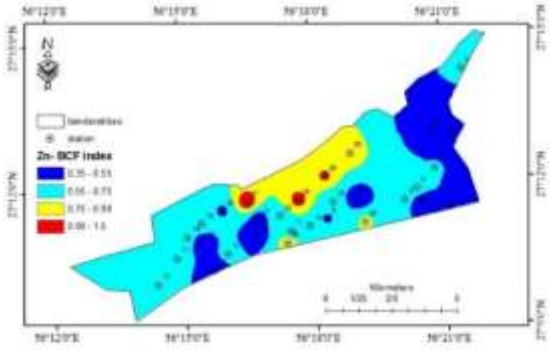
Fig. 7- BCF index for cadmium in Bandar Abbas urban area

شاخص تجمع زیستی برای فلز منگنز در شهر بندرعباس محاسبه شد و نتایج نشان داد که بیشینه‌ی تجمع منگنز در بلوار امام حسین در شمال شهر بندرعباس است، البته نقاط بیشینه‌ای نیز در نقاط مرکزی شهر بندرعباس مشاهده شد. کمترین تجمع منگنز نیز در نقاط شرقی شهر بندرعباس در بلوار خلیج فارس بود (شکل ۸). همچنین نتایج نشان داد که برای فلز منگنز، درختان شهری بندرعباس دارای انباشت‌گر متوسط هستند، چون اعداد محاسبه شده برای شاخص تجمع زیستی منگنز، بین ۰/۱ تا ۱ می‌باشد.



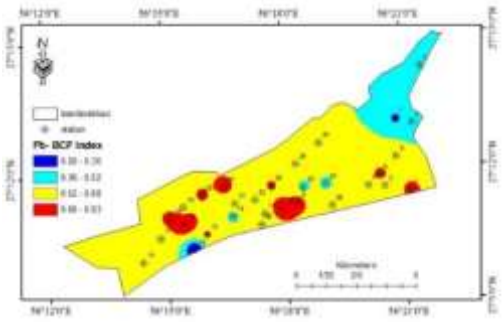
شکل ۸- شاخص تجمع زیستی برای منگنز در پهنه‌ی شهری بندرعباس
Fig. 8- BCF index for manganese in Bandar Abbas urban area

بیشترین تجمع فلز روی نیز در بلوار امام حسین بود که ترافیک بالایی در آن وجود دارد و بیشتر خودروها برای عبور شرقی - غربی شهر بندرعباس، از این بلوار تردد می‌کنند. تعداد تعمیرگاه مکانیکی متعددی نیز در این بلوار وجود دارد که موجب افزایش غلظت آلودگی آن می‌شوند. درختانی که بصورت کمربند سبز در مجاور این بلوار قرار دارند، نقش مهمی در جذب فلزات سنگین و پالایش زیستی هوای محیطی دارند به‌گونه‌ای که بیشینه‌ی شاخص تجمع زیستی برای فلز روی نیز در این بلوار اصلی شهر محاسبه گردید. بیشترین فراوانی مربوط به شاخص ۰/۵۵ تا ۰/۷۵ است که پهنه‌ی وسیعی از شهر بندرعباس در این محدوده‌ی شاخص تجمع زیستی قرار دارند (شکل ۹).



شکل ۹- شاخص تجمع زیستی برای روی در پهنه‌ی شهری بندرعباس
Fig. 9- BCF index for zinc in Bandar Abbas urban area

شاخص تجمع زیستی برای فلز سرب نیز محاسبه گردید و نتایج آن حاصل از تجمع بالای سرب نسبت به دیگر فلزات سنگین در درختان شهری بندرعباس است که بیشینه‌ی آن در بلوار امام حسین، میدان بیمارستان شهیدمحمدی، میدان امام و رسالت بود. شاخص تجمع زیستی برای فلز سرب در پهنه‌ی شهری بندرعباس بین ۰/۱ تا ۱ است که نشان‌دهنده‌ی انباشت‌گر متوسط درختان شهری بندرعباس می‌باشد (شکل ۱۰).

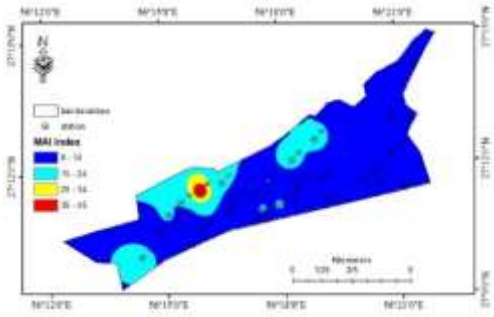


شکل ۱۰- شاخص تجمع زیستی برای سرب در پهنه‌ی شهری بندرعباس
Fig. 10- BCF index for zinc in Bandar Abbas urban area

شاخص تجمع فلز (MAI)

به‌منظور تعیین وضعیت کلی تجمع فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی و پهنه‌ی شهر بندرعباس، از شاخص تجمع فلز استفاده گردید که نتایج آن نشان داد گونه‌ی کونوکارپوس با شاخص تجمع فلز ۲/۲۳ بیشترین تجمع فلزات سنگین را دارد. پس از آن چریش با ضریب ۲/۱۵ و درنهایت درخت کهور با ضریب ۱/۸۶ کمترین تجمع فلزات سنگین را دارند.

تجمع فلزات کادمیوم، منگنز، روی و سرب در گونه‌های درختی چریش، کونوکارپوس و کهور برای ۳۰ سایت در شهر بندرعباس محاسبه شد و نتایج آن بیان‌گر این است که بیشترین تجمع و جذب فلزات سنگین در درختان بلوار امام حسین اتفاق می‌افتد و غلظت فلزات در اندام هوایی درختان این بلوار بویژه درخت کونوکارپوس و چریش ذخیره شده و موجب پالایش هوا از آلودگی ناشی از ترافیک و تردد شهری می‌گردد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نقشه تجمع فلزات سنگین در درختان شهر بندرعباس با شاخص تجمع فلز
Fig. 11- Map of heavy metal accumulation in trees of Bandar Abbas with MAI index

سطوح بالای کادمیوم و سرب در خاک مناطق شهری با آلودگی منتشر شده از اگزوز اتومبیل، لاستیک، لنت و روغن‌های روان‌کننده مرتبط است (Remon *et al.*, 2013). مطابق با نتایج Solgi *et al* (2016) و Kabata pendias (2001)، حد استاندارد کادمیوم و سرب در خاک به‌ترتیب ۰/۵ - ۱ و ۱۰ - ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک است که اگر غلظت این فلزات در خاک بیشتر از حد استاندارد باشد، بیانگر اثر فعالیت‌های انسان است؛ اما در پژوهش حاضر، غلظت این فلزات در خاک ۳۰ نقطه از خیابان‌های شهری بندرعباس بیشتر از حد استاندارد بود که دلیل اصلی آن انتشار ذرات معلق از ترافیک خودروها می‌باشد که پژوهشگران نیز در پکن، یان و دیگر شهرهای جهان دلیل اصلی افزایش فلزات سنگین در خاک سطحی مناطق شهری را ترافیک جاده‌ای عنوان کردند (Hu *et al.*, 2014). فلز روی (Zn) در خاک‌های بستر گیاهان شهری و جاده‌ای عمدتاً ناشی از خوردگی لنت خودرو، مایعات خنک‌کننده‌ی موتور خودرو و سایش حصار مجاور خیابان است (Vanni *et al.*, 2015).

برگ گیاهان در نواحی شهری می‌تواند بعنوان ردیابی زیستی آلودگی عمل کند. در این پژوهش آلودگی فلزات

سنگینی که از ترافیک شهری انتشار می‌یابد، بوسیله‌ی شاخص‌های تجمع زیستی در درختان چریش، کونوکارپوس و کهور که از درختان غالب شهری بندرعباس می‌باشند، ارزیابی گردید بیشترین غلظت کادمیوم با میانگین ۱/۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم در اندام هوایی گونه‌های چریش و کونوکارپوس بود. بیشترین میزان سرب با میانگین ۳۵/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در برگ‌های کونوکارپوس بود، ولی در جنوب لهستان بیشترین غلظت سرب به‌ترتیب با ۷۸/۹ و ۶۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در گونه‌ی *B. pendula* و *P. lanceolate* بود (Nadgórska–Socha *et al*., 2017). در شهر پیزای ایتالیا غلظت سرب در گونه‌های *P. lanceolate* ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (Bretzel *et al*., 2014). در درختان شهری اسلام آباد پاکستان، غلظت روی، سرب و کادمیوم در برگ گیاهان شهری به‌ترتیب ۱۹/۱، ۱۴/۲ و ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (Mahmood *et al*., 2013) که غلظت آن‌ها از گونه‌های مورد مطالعه در شهر بندرعباس کمتر است. همچنین تجمع منگنز، روی، سرب و کادمیوم بوسیله‌ی گونه‌های موردمطالعه در بندرعباس بیشتر از تجمع آن در شهرهای ایتالیا بود که غلظت فلزات به‌ترتیب ۲۱ تا ۴۱/۲، ۴۰ تا ۶۲/۵، ۰/۶ تا ۱/۵ و ۰/۲ تا ۰/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (Massa *et al*., 2010). همچنین مقایسه‌ی نتایج پژوهش حاضر با نتایج Galal and Shehata (2015) نشان می‌دهد که گونه‌های چریش و کونوکارپوس دارای توانایی بیشتری در جذب فلزات سنگین نسبت به درختان چنار شهری در مصر دارد. در اروپا، درختان چریش و کونوکارپوس قدرت جذب منگنز، سرب و روی بیشتری نسبت به درخت اقاقیا دارند (Samecka-Cymerman *et al*., 2009).

اگرچه غلظت بعضی فلزات سنگین در گونه‌های مورد مطالعه بیشتر از حد استاندارد است، اما این گونه‌های درختی به رشد خود ادامه داده و می‌توان نتیجه گرفت این گونه‌ها به آلودگی کادمیوم و سرب مقاوم‌اند. غلظت فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی یزد که انواع سبزیجات در آن کشت می‌شود، بالا بوده و حتی در برگ سبزی‌ها نیز غلظت فلزات سنگین بیشتر از حد استاندارد آن است و گیاهان به رشد خود ادامه داده‌اند، اما به‌دلیل این‌که سبزیجات یکی از مواد غذایی انسان محسوب می‌شود، فلزات سنگین موجود در سبزی می‌تواند سلامت انسان را به‌خطر بیاندازد (Naseri *et al*., 2015). غلظت فلزات سنگین در گونه‌ی درختی سنجد در اطراف کارخانه سیمان نهاوند بیشتر از حد استاندارد بوده و هیچ مشکلی فیزیولوژی رشد این گونه را تحت تأثیر قرار نداده است که نشان می‌دهد سنجد دارای مقاومت بالایی در برابر آلودگی می‌باشد (Solgi and Beigmohammadi, 2020). نتایج این پژوهش نشان داد که اثر گونه‌ی درختی و سایت‌های مختلفی که در معرض ترافیک جاده‌ای متفاوتی قرار دارند، بر تجمع فلزات سنگین معنی‌دار است و بین گونه‌ها و سایت‌های مختلف از نظر برخی فلزات سنگین در برگ اختلاف آماری وجود دارد که با نتایج (Hu *et al*., 2014; Jia *et al*., 2020) مطابق دارد. پژوهشگران در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که درختان بواسطه‌ی شاخ و برگ خود، بستری مناسب برای تجمع ذرات معلقی که از اگزوز، لنت و لاستیک خودروها انتشار می‌یابند، باشد و توان بالقوه‌ی گونه‌های مختلف در جذب فلزات سنگین به ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ آن بستگی دارد (Hatami-Manesh *et al*., 2019؛ Weerakkody *et al*., 2018) که می‌توان به شکل ظاهری برگ، سطح تک‌برگ و ساختار میکروسکوپی اپیدرم سطحی برگ در به‌دام انداختن ذرات اشاره نمود. سطح و شکل برگ گونه‌های چریش، کونوکارپوس و کهور در شهر بندرعباس متفاوت است و سطح برگ کونوکارپوس بیشتر از چریش و کهور است. همچنین شکل برگ کونوکارپوس تخم‌مرغی بوده و به‌دلیل تراکم بالای برگ‌های آن، ذرات بیشتری به دام می‌افتد، اما درختان کهور دارای برگ باریک و کوچکی است که نمی‌تواند بستر مناسبی برای رسوب ذرات معلق

باشد. بنابراین، تفاوت‌های موجود در سطح و شکل برگ گونه‌های موردمطالعه، موجب اختلاف در جذب فلزات سنگین در برگ این گیاهان شده است.

فاصله از منبع آلودگی و حجم ترافیک شهری نیز نقش مهمی در جذب فلزات سنگین توسط گونه‌های گیاهی دارد؛ به‌گونه‌ای که فاصله از جاده رابطه‌ی معناداری با کاهش جذب فلزات توسط گیاه دارد (Hu *et al.*, 2014)؛ چون حجم زیادی از ذرات توسط گیاهان مجاور جاده جذب می‌شود. ترافیک جاده‌ای در نقاط پر تردد موجب انتشار حجم زیادی از ذرات معلق می‌گردد و در این خیابان‌های شلوغ، جذب فلزات سنگین بوسیله‌ی گیاهان نیز افزایش می‌یابد که در این پژوهش نیز در بلوار امام حسین که پرترافیک‌ترین خیابان شهر بندرعباس می‌باشد، بیشترین جذب فلز توسط گونه‌های گیاهی آن انجام شده است.

نتایج پژوهشگران در چین نشان داد که کونوکارپوس، عرعر و ارس (Chai *et al.*, 2019)، در مناطق گرمسیری هند گونه‌ی درختی چریش (Karmakar and Padhy, 2019) و در اکوادور درخت کاج (Alexandrino *et al.*, 2020) پتانسیل بالایی در جذب فلزات سنگین ناشی از ترافیک شهری دارند. در پژوهش حاضر، مقادیر شاخص تجمع زیستی در گونه‌های مورد مطالعه برای کادمیوم، منگنز، روی و سرب بین ۰/۱ تا ۱ بود که انباشت‌گر متوسط محسوب می‌شوند. گونه‌های موردمطالعه بیشترین مقادیر شاخص تجمع زیستی را در مورد فلز روی و سرب داشتند؛ برای گونه‌ی *Populus nigra L* بالاترین مقدار شاخص تجمع زیستی برای کادمیوم بود (Saba *et al.*, 2015؛ Wu *et al.*, 2010؛ Solgi and Beigmohammadi, 2020). درختان توس نقره‌ای (*Betula pendula*) بیشترین تجمع را برای روی و سرب دارند که در جنوب لهستان برای پالایش زیستی هوای شهری، این گونه‌ی گیاهی توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است (Nadgórska–Socha *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

تفاوت در غلظت فلزات سنگین در میدان‌ها و بلوارهای اصلی شهر بندرعباس، به‌دلیل حجم ترافیک و تفاوت گونه‌های درختی آن است. بلوار امام حسین که از شرق به غرب شهر بندرعباس امتداد دارد و بیشتر خیابان‌های شمال - جنوب با آن اتصال دارند، پرترافیک‌ترین بلوار شهر بندرعباس است. غلظت فلزات سنگین در خاک بستر درختان آن نیز بیشتر از سایر خیابان‌های شهری بندرعباس بود. الگوی فلزات سنگین در خاک به‌صورت $Mn > Zn > Pb > Cd$ بود. فلزات سنگین از طریق رسوب بر برگ گیاه و همچنین جذب از طریق ریشه، وارد اندام گیاه می‌شود که غلظت بیشینه در گونه‌ی کونوکارپوس و سپس چریش بود. الگوی فلزات سنگین در برگ گونه‌ها نیز $Mn > Zn > Pb > Cd$ بود. فلز روی و سرب دارای بیشترین شاخص تجمع در گیاهان مورد مطالعه بودند که در کونوکارپوس بیشتر از دیگر گونه‌ها می‌باشد. گونه‌ی کونوکارپوس با جذب آلاینده‌های ناشی از ترافیک شهری، موجب پالایش هوای آلوده‌ی شهر بندرعباس می‌شود. کهور یا سُمُر که یکی از درختان مهاجر در شهر بندرعباس می‌باشد، با ریشه‌های قوی و عمیق موجب خشک شدن آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه می‌شود. از طرف دیگر، پتانسیل آن برای جذب آلاینده‌های هوای شهری بسیار ضعیف است. بنابراین کونوکارپوس و دیگر گیاهانی که علی‌رغم مقاومت در برابر خشکی و گرما، پتانسیل بالایی در پالایش آلودگی شهری دارند، می‌تواند جایگزین کهور گردد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Metal Accumulation Index
[2] Bio Concentration Factor

سپاسگزاری

این مقاله حاصل کار پژوهشی بین نویسندگان مقاله می‌باشد. ضمناً از مسئول آزمایشگاه کیفیت آزمایی جنوب بندرعباس سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Alexandrino, K., Viteri, F., Rybarczyk, Y., Andino, J.E.G. and Zalakeviciute, R., 2020. Biomonitoring of metal levels in urban areas with different vehicular traffic intensity by using Araucaria heterophylla needles. Ecological Indicators. 117, 106701.

Alyemeni, M.N. and Almohisen, I.A., 2014. Traffic and industrial activities around Riyadh cause the accumulation of heavy metals in legumes: a case study. Saudi Journal of Biological Sciences. 21(2), 167-172.

Amiri, L., Azadi, R. and Rastegarzadeh, Saadat, Zofan, P., 2019. Monitoring the concentration of heavy metals in Conocarpus erectus in different areas of Abadan Industrial City. Journal of Natural Environment. 72 (2), 143-157.

Arnot, J.A. and Gobas, F.A., 2006. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. Environmental Reviews. 14(4), 257-297.

Bini, C., Gentili, L., Maleci, B.L. and Vaselli, O., 1995. Trace elements in plants and soils of urban parks (Florence, Italy). In Proceedings of 3rd International Conferance on the Biogeochemistry of Trace Elements, 20 Sep Paris. pp. 15-19.

Bretzel, F., Benvenuti, S. and Pistelli, L., 2014. Metal contamination in urban street sediment in Pisa (Italy) can affect the production of antioxidant metabolites in Taraxacum officinale Weber. Environmental Science and Pollution Research. 21(3), 2325-2333.

Chai, M., Li, R., Ding, H. and Zan, Q., 2019. Occurrence and contamination of heavy metals in urban mangroves: A case study in Shenzhen, China. Chemosphere. 219, 165-173.

Chen, H., Wang, B., Xia, D.S., Fan, Y.J., Liu, H., Tang, Z.R. and Ma, S., 2019. The influence of roadside trees on the diffusion of road traffic pollutants and their magnetic characteristics in a typical semi-arid urban area of Northwest China. Environmental Pollution. 252, 1170-1179.

Galal, T.M. and Shehata, H.S., 2015. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by Plantago major L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. Ecological Indicators. 48, 244-251.

Hatami-Manesh, M., Mortazavi, S., Solgi, E. and Mohtadi, A., 2019. Assessing the capacity of trees and shrubs species to accumulate of particulate matter (PM10, PM2. 5 and PM0. 2). Iranian Journal of Health and Environment. 12(1), 1-16. (In Persian with English Abstract).

Houston, D., Wu, J., Ong, P. and Winer, A., 2004. Structural disparities of urban traffic in southern California: Implications for vehicle related air pollution exposure in minority and high-poverty neighborhoods. Journal of Urban Affairs. 26(5), 565-592.

Hu, Y., Wang, D., Wei, L., Zhang, X., Song, B., 2014. Bioaccumulation of heavy metals in plant leaves from Yan′ an city of the Loess Plateau, China. Ecotoxicology and environmental safety. 110, 82-88.

Jia, M., Zhou, D., Lu, S. and Yu, J., 2020. Assessment of foliar dust particle retention and toxic metal accumulation ability of fifteen roadside tree species: Relationship and mechanism. Atmospheric Pollution Research.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 2001. Trace elements in soils and plants, 3rd edn CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

Karmakar, D. and Padhy, P.K., 2019. Air pollution tolerance, anticipated performance, and metal accumulation indices of plant species for greenbelt development in urban industrial area. Chemosphere. 237, 124522.

Liu, L., Liu, Q., Ma, J., Wu, H., Qu, Y., Gong, Y. and Zhou, Y., 2020. Heavy metal (loid) s in the topsoil of urban parks in Beijing, China: Concentrations, potential sources, and risk assessment. Environmental Pollution. 260, 114083.

Mahmoud, E.K. and Ghoneim, A. M., 2016. Effect of polluted water on soil and plant contamination by heavy metals in El-Mahla El-Kobra, Egypt. Solid Earth. 7(2), 703-711.

Massa, N., Andreucci, F., Poli, M., Aceto, M., Barbato, R. and Berta, G., 2010. Screening for heavy metal accumulators amongst autochtonous plants in a polluted site in Italy. Ecotoxicology and environmental safety. 73(8), 1988-1997.

Nadgórska–Socha, A., Kandziora-Ciupa, M., Trzęsicki, M. and Barczyk, G., 2017. Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes. Chemosphere. 183, 471-482.

Naseri, M., Vazirzadeh, A., Kazemi, R. and Zaheri, F., 2015. Concentration of some heavy metals in rice types available in Shiraz market and human health risk assessment. Food chemistry. 175, 243-248.

Nasir, Z. A., Colbeck, I., Ali, Z. and Ahmed, S., 2015. Heavy metal composition of particulate matter in rural and urban residential built environments in Pakistan. Pakistan Agricultural Scientists Forum.

Remon, E., Bouchardon, J.L., Le Guédard, M., Bessoule, J.J., Conord, C. and Faure, O., 2013. Are plants useful as accumulation indicators of metal bioavailability? Environmental Pollution. 175, 1-7.

Saba, G., Parizanganeh, A. H., Zamani, A., Saba, J., 2015. PhytoremeDiation ofHeavyMetalsContaminated Environments: Screening forNativeAccumulatorPlants inZanjan-Iran. International Journal of Environmental Research. 9(1), 309-316.

Samecka-Cymerman, A., Stankiewicz, A., Kolon, K. and Kempers, A.J., 2009. Self-organizing feature map (neural networks) as a tool to select the best indicator of road traffic pollution (soil, leaves or bark of Robinia pseudoacacia L.). Environmental Pollution. 157(7), 2061-2065.

Solgi, E. and Beigmohammadi, F., 2020. Investigate the effect of distance from source and species type on the absorption ability of heavy metals by tree species around Nahavand cement factory. Journal of Plant Ecosystem Conservation. 8(16), 321-343. (In Persian with English Abstract).

Solgi, E., Roohi, N. and Kouroshi-Gholampour, M., 2016. A comparative study of metals in roadside soils and urban parks from Hamedan metropolis, Iran. Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management. 6, 169-175.

Torkashvand, V., Mohammadi Rouzbahni, M. and Babaeinezhad, T., 2018. Survey of heavy metals (Pb, Ni, Cr, Cd) bio-accumulation in the leaves of (Albizia lebbek and Eucalyotus camadulensis) (case stady: Iran National Steel Industrial Group). J Neyshabur Univ Med Sci. 6(1), 33-43. (In Persian with English Abstract).

Turkyilmaz, A., Cetin, M., Sevik, H., Isinkaralar, K. and Saleh, E.A.A., 2020. Variation of heavy

metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density. Environment, Development and Sustainability. 22(3), 2385-2398.

Vanni, G., Cardelli, R., Marchini, Saviozzi, A. and Guidi, A., 2015. Are the physiological and biochemical characteristics in dandelion plants growing in an urban area (Pisa, Italy) indicative of soil pollution? Water, Air, & Soil Pollution. 226(4), 124.

Weerakkody, U., Dover, J.W., Mitchell, P. and Reiling, K., 2018. Evaluating the impact of individual leaf traits on atmospheric particulate matter accumulation using natural and synthetic leaves. Urban forestry & urban greening. 30, 98-107.

Wu, F., Yang, W., Zhang, J. and Zhou, L., 2010. Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (Populus deltoids× Populus nigra) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil. Journal of Hazardous Materials. 177(1-3), 268-273.

Zhang, C., Qiao, Q., Appel, E. and Huang, B., 2012. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods. Journal of Geochemical Exploration. 119, 60-75.

Environmental Sciences Vol.21 / No 3 / Autumn 2023

267-288

Original Article

Measurement and evaluation of heavy metal accumulation in soil and leaves of three tree species (Azadirachta indica, Conocarpus Erectus L. and Prosopis juliflora) in Bandar Abbas

Samaneh Habibi,[1] Mahmoud Behrouzi[2] and Ahmad Nohegar[3*]

[1] Department of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2] Marine Science Research Institute, Kish International Campus, University of Tehran, Kish, Iran
[3] Department Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2022.02.11 Accepted: 2022.10.22

Habibi, S., Behrouzi, M. and Nohegar, A., 2023. Measurement and evaluation of heavy metal accumulation in soil and leaves of three tree species (*Azadirachta indica*, *Conocarpus Erectus* L. and *Prosopis juliflora*) in Bandar Abbas. Environmental Sciences. 21(3): 267-288.

Introduction: Emissions of particulate matter from car exhaust, tire wear, engine lubricants and street fence wear contain heavy metals, which are dangerous for the urban ecosystem. However, most of the particles are deposited on the canopy and soil of plants, which are absorbed by them. Pollution-resistant species with a high capacity to absorb suspended particles can be used to remove suspended particles from the urban environment. For this reason, in this study, concentrations of heavy metals in the leaves and soil of tree species in Bandar Abbas were measured and evaluated. Also, species with the highest potential for adsorption of heavy metals were identified.

Material and methods: First, three tree species including *Azadirachta indica*, *Conocarpus* and *Prosopis juliflora* were selected as the dominant plants in Bandar Abbas and in 30 points of the fields with 5 points of the non-polluted environment outside the city (control), and sampled from the surface soil and leaves of these species. After preparing and digesting the samples, the concentration of heavy metals (cadmium, manganese, zinc and lead) emitted from urban traffic was measured using atomic absorption spectrometry in soil and tree leaf samples. Next, the difference in heavy metal concentrations

* Corresponding Author: *Email Address*. nohegar@ut.ac.ir
http://dx.doi.org/10.48308/envs.2021.36989
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.3.13.3

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

between tree species was analyzed by ANOVA and between soil and leaves and between urban and control environments was analyzed by t-student test. Then, to determine the tree species with high accumulation of heavy metals, two indices of heavy metal accumulation (BCF) and bioaccumulation index (MAI) were used.

Results and discussion: The results showed that the pattern of heavy metals in soil and leaves of tree species was Mn> Zn> Pb> Cd. The maximum concentrations of heavy metals in the soil and leaves were detected in *Conocarpus*, *Azadirachta indica* and *Prosopis juliflora*, respectively. Spatially, the highest concentration of heavy metals in the sampling points was related to Imam Hossein Street. However, the minimum concentration of heavy metals was observed in the Persian Gulf Street. The concentrations of Mn and Pb in the soil of plant species were different and their differences were significant at 95% level, but the concentration of Cd and Zn was not different in the soil of tree species. Pb, Mn and Zn concentrations were not different in the shoots of the studied tree species and their differences were not significant at the 95% level. However, the concentration of Cd in the shoots of the species was different and the difference between the species was significant at the 95% level. There was a significant difference in the concentration of heavy metals between soil and leaves at 95 and 99%. Also, the concentration of heavy metals in soil and leaves between urban and control fields was significantly different at 95%. The pattern of the BCF index in all species was Zn> Pb> Mn> Cd and heavy metals had moderate accumulation for tree species. Bioaccumulation index (MAI) showed that *Conocarpus* had the highest adsorption potential of heavy metals and the lowest adsorption potential was observed in *Prosopis juliflora*.

Conclusion: *Conocarpus*, by absorbing pollutants from urban traffic, purifies the polluted air of Bandar Abbas; However, *Prosopis juliflora*, which is one of the migratory trees in the city of Bandar Abbas, with strong and deep roots, dries up the surface and groundwater of the region. On the other hand, its potential to absorb urban air pollutants is weak. Therefore, despite their resistance to drought and heat, *Conocarpus* trees have a high potential to purify urban pollution and can replace *Prosopis juliflora.*

Keywords: Conocarpus erectus, Bandar Abbas, Cadmium, MAI index, BCF index.