



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین مس، نیکل، سرب و میزان شاخص تحمل آلودگی هوا در گونه‌های کهور پاکستانی و کنوکارپوس در شهرستان ماهشهر

آرام آرپناهی^۱، سینا عطارروشن^{۲*}، سیما سبزیلیپور^۲، ایمان آرپناهی^۱

- ۱- گروه آلودگی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- ۲- گروه علوم محیط زیست، مرکز تحقیقات گرد و غبار خلیج فارس، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- ۳- گروه علوم محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

اطلاعات مقالمه: چکیده

زمینه و هدف: آلاینده‌های منتشر شده از صنایع در صورت ورود به زنجیره غذایی می‌تواند سلامت انسان را با مخاطره مواجه سازد، از این رو پایش محیطی آنها ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین سرب، مس و نیکل و میزان شاخص تحمل آلودگی هوا در درختان کهور پاکستانی و کنوکارپوس در سال ۱۳۹۹ در شهرستان ماهشهر انجام شد.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۱۲
تاریخ ویرایش: ۹۹/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۲
تاریخ انتشار: ۹۹/۱۲/۲۷

روش بررسی: به منظور بررسی تجمع زیستی فلزات سنگین در شهرستان ماهشهر از دو گونه درختی کهور پاکستانی و کنوکارپوس به تفکیک تعداد ۱۵ پایه انتخاب و ضمن ثبت مختصات هر درخت تعداد ۴ نمونه برگ از هر درخت و در مجموع ۶۰ نمونه از هر گونه برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. غلظت فلزات سنگین پس از آماده‌سازی نمونه‌ها طی فرایند هضم با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت شد. در این مطالعه از آزمون کولموگراف اسمیرنوف جهت نرمال بودن داده‌ها، آزمون‌های T مستقل جهت تعیین سطح معنی‌داری و سپس همبستگی پیرسون استفاده شد. پهنه‌بندی غلظت هر فلز سنگین در سطح شهرستان نیز با استفاده از نرم افزار Arc GIS Ver.10.4 انجام شد.

واژگان کلیدی: تجمع زیستی، فلزات سنگین، کهور پاکستانی، کنوکارپوس، ماهشهر

یافته‌ها: نتایج نشان داد گونه کنوکارپوس بیشترین مقادیر مربوط به غلظت فلز سرب (0.1223 ± 0.035 mg/kg)، مس (0.1101 ± 0.053 mg/kg) و نیکل (0.2101 ± 0.053 mg/kg) را به خود اختصاص داد. بررسی همبستگی بین فلزات سنگین نشان داد افزایش یا کاهش یک فلز هیچ تاثیری در مقادیر سایر فلزات ندارد. مقایسه شاخص تحمل آلودگی هوا در گونه کنوکارپوس (6.53 ± 0.26 mg/kg) بیشتر از کهور پاکستانی (4.77 ± 0.29 mg/kg) برآورد شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نیز نشان داد جنوب و جنوب شرقی شهرستان ماهشهر بیشترین تجمع فلزات سنگین را در برگ درختان دارد. **نتیجه‌گیری:** گونه کنوکارپوس قابلیت تحمل آلودگی هوای بیشتری نسبت به کهور پاکستانی دارد و از این جهت مناسب توسعه در مناطق با سطح آلودگی بالا است. همچنین پهنه‌بندی تجمع زیستی فلزات سنگین نشان داد جنوب و جنوب شرقی شهر ماهشهر به دلیل تجمع مراکز صنعتی نیازمند کاشت درختان با سطح مقاوم بالا نسبت به آلودگی فلزات سنگین است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Sina_2934@yahoo.com

مقدمه

با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن، آلودگی محیط‌زیست تبدیل به یک مشکل جدی گردیده است. یکی از راه‌های مؤثر برای احیای محیط‌زیست و کاهش آلودگی هوا، کاشت گونه‌های درختی و درختچه‌ای مقاوم است که توانایی جذب بالای آلاینده‌ها و قدرت بالای تحمل در برابر آلودگی از جمله مهمترین ویژگی‌های این گونه‌ها است (۱). آلودگی به‌عنوان تغییر نامطلوب در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هوا، آب و زمین که می‌تواند برای موجودات زنده مضر باشد تعریف می‌گردد که ممکن است ناشی از فعالیت‌های انسانی (غیر طبیعی) یا طبیعی باشد. مواد آلاینده موجود در محیط در نهایت با عبور از چرخه‌های مختلف زیستی، غیر زیستی و زنجیره‌های غذایی در محیط چرخش پیدا کرده و در طبیعت باقیمانده و اثرات زیانباری را موجب می‌شوند (۲). به‌عنوان مثال آلودگی محیط‌های شهری بر گیاهان تاثیر نامطلوبی دارد و گیاه برای مقابله با چنین تنش‌هایی از نظر آناتومیکی تغییراتی را در شکل و بافت برگ‌های خود به وجود می‌آورد (۳). فلزات سنگین به دلیل سمیت، پایداری و عدم تجزیه زیستی یکی از گروه‌های اصلی و خطرناک در بین آلودگی‌ها هستند. تجمع فلزات سنگین در محیط‌زیست به دلیل تاثیری که بر سلامت انسان و حیات وحش دارد در سال‌های اخیر تبدیل به یک مسئله نگران‌کننده شده است (۴). به این ترتیب بیشترین نگرانی در مورد فلزات سنگین نظیر کادمیم، کروم، کبالت، مس، آهن، سرب، منگنز، جیوه، نیکل و روی در طبیعت وجود دارد (۵). برخی از گونه‌های گیاهی به‌عنوان گیاهان ابر انباشتگر تا حدود زیادی می‌توانند فلزات سنگین را از محیط جذب کنند بدون اینکه خودشان دچار آسیب جدی شوند درحالی‌که بعضی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب پایین‌تری داشته و ممکن است در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین در اثر مسمومیت آسیب دیده و از بین بروند (۶). کاشت گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌های شهری می‌تواند حداکثر ۲۵ درصد از آلودگی محیط را کاهش

دهد و تفاوت در مقدار گازهای آلوده در مناطق برخوردار از فضای سبز بین یک سوم تا یک دهم مناطق فاقد فضای سبز فعال است. این اثر پاک‌کننده با افزایش میزان کاشت گیاهان رابطه مستقیم دارد (۷). از این‌رو، طی سال‌های اخیر پژوهشگران در صدد طراحی و توسعه روش‌های زیستی برآمدند که بتوانند محیط‌های آلوده به فلزات سنگین را با دقت بیشتر، کم هزینه‌تر، سازگارتر با محیط و با حداقل امکانات پاکسازی، تعدیل و پایش نمایند (۸). گیاهان به علت استفاده از آب، خاک و اتمسفر، در تغییر کیفیت محیط زیست مشارکت مهمی دارند و با توجه به مقرون به صرفه بودن، می‌توان از آنها برای پاکسازی محیط‌های آلوده به انواع آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین استفاده نمود که در این بین برخی گیاهان میزان جذب بالاتری را نشان می‌دهند (۹). طبق مطالعات انجام گرفته، گیاهان اطراف کارخانه‌ها و صنایع به دلیل انتشار گازهای آلاینده، تحت تاثیر آنها قرار گرفته و آسیب می‌بینند و با توجه به قرارگیری ایران در نوار خشک جهان، آلاینده‌ها با شدت بیشتری عمل کرده و ترمیم آسیب‌های وارد شده سخت‌تر است. عکس‌العمل گیاهان نسبت به آلودگی هوا در محیط‌های شهری یا طبیعی توسط شاخص تحمل آلودگی هوا (Air pollution tolerance index) تعیین می‌شود این شاخص توانایی گیاه را برای مبارزه در مقابل آلودگی هوا تعیین می‌کند (۱۱). در این زمینه Shojaie و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی شاخص تحمل گیاهان به آلودگی هوای مجتمع صنعتی شیشه، خاک چینی، کاشی و سرامیک اردکان نشان دادند که گونه غیرمثمر انار گل به عنوان گونه متحمل‌تر و گونه درمنه به عنوان پایشگر زیستی برای توسعه فضای سبز در حاشیه صنایع مناسب هستند (۱۲).

Abbaszadeh و همکاران (۲۰۱۹) در امکان‌سنجی استفاده از برگ درختان کنار و کهور به عنوان زیست‌شناساگر آلودگی فلزات سنگین منتشر شده از مناطق صنعتی نشان دادند که گونه‌های کنار و کهور از قابلیت تجمع و انباشت فلزات سنگین برخوردار بوده و می‌توان از آنها در

اهواز، از غرب به شهرستان‌های آبادان و خرمشهر، از شرق به شهرستان‌های هندیجان و بهبهان و از جنوب به خلیج فارس منتهی می‌شود. ارتفاع این شهر از سطح دریای آزاد ۳ m بوده و از دو بخش ماهشهر قدیم (مسکونی) و ناحیه صنعتی تشکیل شده است (شکل ۱).

این منطقه با میانگین بارندگی ۱۹۵ mm در منطقه خشک و فرا خشک جغرافیایی واقع شده است. افزایش سریع درجه حرارت در فصل بهار چهره طبیعت منطقه را خشک و خشن و ارزش مراتع را شدیداً کاهش می‌دهد. این شهرستان به دلیل واقع شدن در جلگه دشت خوزستان فاقد ناهمواری و پستی و بلندی است. حداکثر درجه حرارت در این منطقه 50°C در تابستان و حداقل صفر درجه در زمستان برآورد می‌گردد. رطوبت نسبی گاهی در این شهرستان تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. پوشش گیاهی در این منطقه بسیار ضعیف، پراکنده، کم تراکم با تنوع گونه‌ای بسیار اندک بوده که به سبب داشتن خاک شور و قلیایی قابل توجهی است (۱۶).

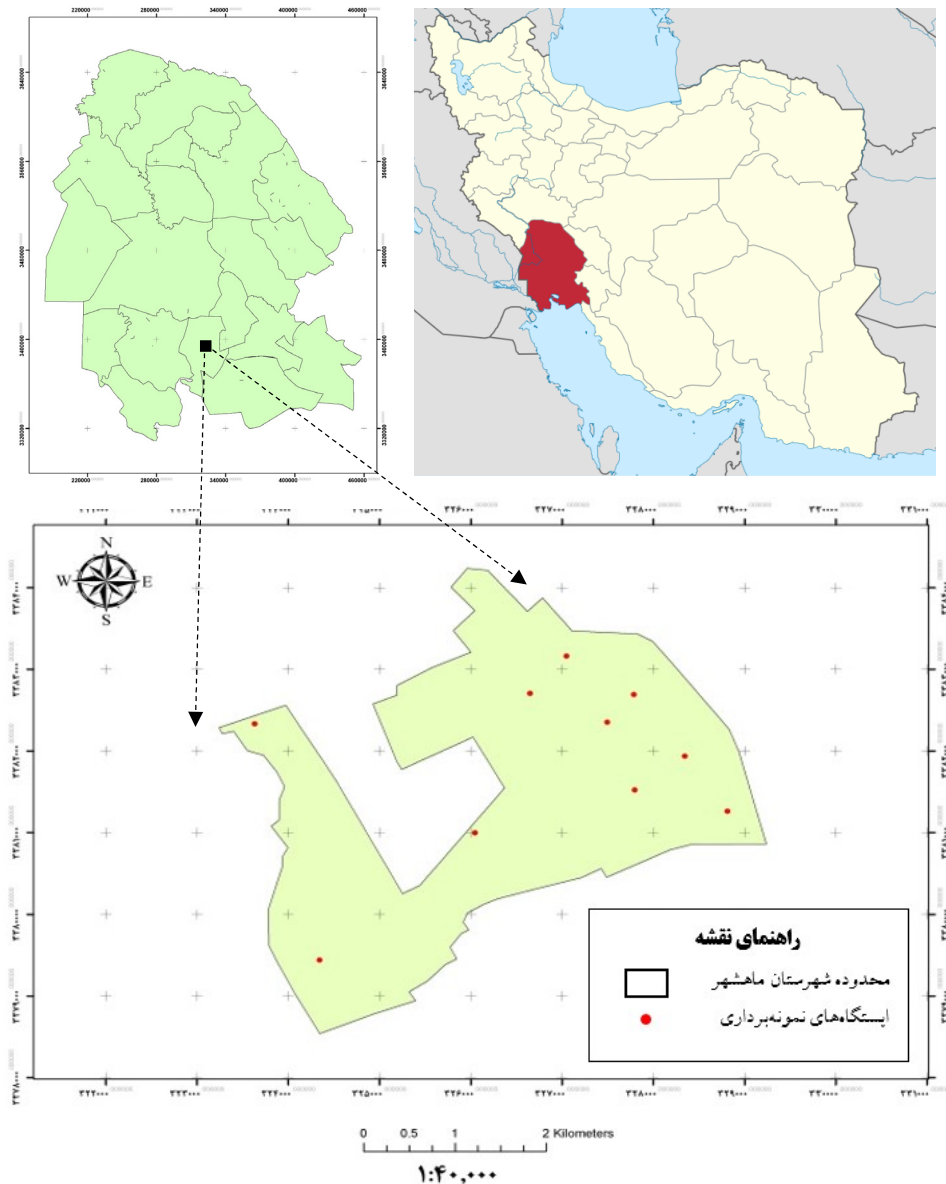
به منظور انجام این مطالعه دو گونه درختی غالب فضای سبز استان خوزستان و همچنین شهرستان ماهشهر، کنوکارپوس (*Conocarpus erectus* (L.)) و کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) مد نظر قرار گرفت (۱۶) و با توجه به محدودیت امکانات، زمان و منابع مالی از هر گونه درختی به تفکیک تعداد ۱۵ اصله در ۱۵ ایستگاه نمونه‌برداری به صورت تصادفی با یک پراکنش مناسب در سطح کل شهرستان جهت برداشت نمونه برگ‌ها انتخاب شد. به منظور پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی مورد مطالعه، موقعیت جغرافیایی هر درخت شامل طول و عرض جغرافیایی ثبت شد. نمونه‌برداری از برگ‌ها با دو تکرار در پایان خرداد و شهریور ماه سال ۱۳۹۹ از درختان بالغ با ارتفاع بیش از ۴ m انجام شد و در هر نوبت تعداد ۴ نمونه برگ از ارتفاع ۱/۵ m از سطح زمین در چهار جهت جغرافیایی اصلی برداشت و جهت برآورد غلظت فلزات سنگین سرب، مس و نیکل

مناطق آلوده صنعتی و شهری به عنوان گونه بیش‌اندوز (*Hyperaccumulator*) در برداشت و استخراج گیاهی (*Phytoextraction*) بهره برد (۱۳). Rouniasi و همکار (۲۰۱۶) در بررسی میزان فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف برخی از سبزیجات مصرفی شهر کرج نشان دادند که به دلیل بالا بودن غلظت فلزات کروم، منگنز و آهن در سبزیجات مطالعه شده، مصرف این گونه سبزیجات توسط شهروندان بایستی توسط سازمان‌های نظارتی مورد توجه قرار گیرد (۱۴). همچنین Amiri و همکاران (۲۰۱۹) در پایش غلظت فلزات سنگین در گیاه کنوکارپوس در مناطق مختلف شهرستان صنعتی آبادان نشان دادند که در محدوده نواحی صنعتی، آلودگی فلزات سنگین در سطح نسبتاً بالایی قرار دارد و درخت غیر بومی کنوکارپوس یک زیست ردیاب قابل اعتماد برای بررسی آلودگی هوا به فلزات سنگین است (۱۵).

گونه‌های کنوکارپوس (*Conocarpus erectus* (L.)) و کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) از جمله درختان پهن‌برگ، همیشه‌سبز و غالب شهرستان ماهشهر بوده که به دلیل فراوانی بالاتر نسبت به سایر گونه‌های درختی در سطح فضای سبز این شهرستان مورد توجه هستند. با توجه به جذب مستقیم فلزات سنگین انتشار یافته در اتمسفر توسط گیاهان که می‌تواند باعث افزایش محتوی این فلزات در اندام‌های گیاهی و به تبع آن کاهش رشد و عملکرد گیاه، آلوده شدن زنجیره غذایی و ایجاد مخاطره برای سلامت جوامع انسانی شود، این مطالعه با هدف بررسی تجمع زیستی فلزات مس، نیکل، سرب و میزان شاخص تحمل آلودگی هوا در گونه‌های کهور پاکستانی و کنوکارپوس در شهرستان ماهشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

بندر ماهشهر به مساحت 1922 km^2 از توابع استان خوزستان واقع در طول جغرافیایی $13^{\circ} 49'$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ} 30'$ بوده که از شمال به شهرستان



شکل ۱- موقعیت شهرستان ماهشهر در کشور و استان خوزستان

شده به کمک ترازوی دیجیتالی با دقت 0.0001 g مقدار 1 g از هر نمونه جهت استفاده در فرایند هضم جدا شود. در این روش 1 g از نمونه پودر شده برگ هر گیاه به ارلن 100 mL منتقل و پس از افزودن 5 mL اسید نیتریک غلیظ و قرار دادن شیشه ساعت بر روی ارلن، نمونه‌ها به مدت 24 h زیر هود قرار داده شدند. در مرحله بعد

به آزمایشگاه منتقل شد. به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها، برگ‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آب دو بار تقطیر شسته و به پاکت‌های کاغذی منتقل شدند. نمونه‌ها در دستگاه آون به مدت 48 h در دمای 70°C به طور کامل خشک شدند. برگ‌ها پس از پودر شدن به کمک هاون چینی از الک 63μ عبور داده شدند تا از پودر نرم حاصل

محتوای آب نسبی، برای اندازه گیری pH عصاره برگ نمونه‌ها، ابتدا ۲ g از برگ تازه گیاهان برداشته شد و در ۲۰ mL آب دوبار تقطیر در هاون چینی ساییده شد. بعد از ساییدن کامل نمونه‌ها، آنها را به فالکون‌های ۵۰ mL انتقال و در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ min و با دور ۴۰۰۰ rpm قرار داده شد. عصاره حاصله از کاغذ صافی عبور و در ظروف خاص انتقال یافت و در نهایت با استفاده از pH متر کالیبره شده دیجیتالی قرائت گردید (۲۰). برای اندازه گیری اسید آسکوربیک در نمونه‌های گیاهی، ابتدا ۱ g برگ تازه گیاه در ۲۰ mL محلول اسید متافسفریک ۵ درصد ساییده شد. سپس مخلوط حاصل را به مدت ۲۰ min با دور ۸۰۰۰ rpm در دمای ۴°C سانتریفیوژ شد، در ادامه ۰/۵ mL از محلول ۲ و ۶- دی کلروفنول اندفنول ۳ mM به ۱ mL محلول صاف شده اضافه گردید تا اسید آسکوربیک به دهیدرواسید آسکوربیک اکسید شود. در مرحله بعد ۱ mL تیواوره یک درصد به نمونه‌ها اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۲۰ min ساکن ماندند. سپس ۱ mL محلول ۱۰ mM، ۴ و ۲- دی نیتروفنیل هیدرازین اضافه گردید تا مشتق ۴ و ۲- دی نیتروفنیل هیدرازین از اسید دهیدروآسکوربیک اسید تشکیل شود. بعد از سپری شدن مراحل مذکور، نمونه‌ها به مدت ۱ h در حمام آب در دمای ۵۰°C، سپس ۵ min به ۲۰ در حمام یخ قرار داده شد. سپس به آرامی ۵ mL به هر یک از نمونه‌ها اسیدسولفوریک ۸۵ درصد اضافه شد به طوری که به هر نمونه ۲/۵ mL اسید سولفوریک داده شد. ۱۰ min بعد از اضافه کردن اسید سولفوریک ۸۵ درصد، ۱ mL اسید سولفوریک ۲۰ درصد به نمونه‌ها اضافه گردید. بعد از تهیه نمودن محلول مناسب جهت قرائت اسید آسکوربیک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر-UV VIS در طول موج ۵۲۰ nm، اقدام به تهیه محلول شاهد آن گردید. بدین منظور ۱ mL اسید متافسفریک ۵ درصد به ۰/۵ mL DCIP، ۳ Mm اضافه گردید. سپس ۱ mL اسید سولفوریک ۲۰ درصد به محلول شاهد اضافه شد و

حرارت دادن ارلن‌ها بر روی هیتر با دمای ۸۰ تا ۹۰°C زیر هود به ملایمت آغاز شد تا بخار خرمایی رنگ از تمام نمونه‌ها متصاعد شود (۱۳). پس از گذشت ۱۰ min، ۱۰ mL آب اکسیژنه ۳۰ درصد به هر یک از ارلن‌ها افزوده و نمونه‌ها به صورت دورانی تکان داده شده تا دوباره روی هیتر با شدت بیشتر حرارت داده شوند. در این شرایط با کم شدن حجم محلول تا زمان تغییر رنگ آن به زرد کم‌رنگ یا بی‌رنگ، هر ۱۵ min مجدداً ۲ mL آب اکسیژنه ۳۰ درصد به نمونه‌ها افزوده شد. پس از بی‌رنگ شدن کامل نمونه‌ها و کاهش حجم آن به ۲-۳ mL، اجازه داده شد تا محلول‌ها خنک شوند. در مرحله بعد مقداری آب مقطر به نمونه‌ها اضافه و پس از عبور دادن محلول از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰، محلول نهایی در بالون ژوژه ۵۰ mL که از قبل با اسید نیتریک ۱۰ درصد اسیدشویی شده بود به حجم رسانده شد. سپس محلول حاصل به ظروف پلی‌اتیلن درب‌دار منتقل و در نهایت پس از ساخت محلول مادر (استوک)، استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه جذب اتمی، محتوی عناصر سرب، مس و نیکل در نمونه‌های مورد مطالعه در سه تکرار خوانده شد (۱۷، ۱۸). برای اندازه‌گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا در نمونه‌های مورد بررسی، دو پارامتر فیزیولوژیک نظیر محتوای آب نسبی و pH و دو پارامتر بیوشیمیایی اسید آسکوربیک و کلروفیل کل اندازه‌گیری شد. ابتدا برای بررسی پارامترهای فیزیولوژیک گیاهان، محتوای آب نسبی با استفاده از معادله ۱ محاسبه و تعیین شد. بدین منظور وزن تر و خشک نمونه برگ گیاهان توزین و مقادیر این پارامترها در معادله زیر قرار داده شد.

$$RWC\% = (W_t - W_d / W_t) \times 100 \quad (1)$$

در این معادله W_t : وزن مرطوب نمونه برگ تازه گیاه و W_d : وزن خشک نمونه برگ گیاه قرار گرفته در آن به مدت ۲۴h در دمای ۷۰°C است (۱۹). بعد از تعیین

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها از برنامه‌های SPSS و Excel استفاده شد. به این ترتیب پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولمرگراف اسمیرنوف (K.S)، جهت تعیین معنی‌داری اختلاف بین متغیرهای مطالعه در سطح ۰/۰۵ از آزمون T مستقل و به منظور برآورد میزان همبستگی بین متغیرها از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. در پایان با استفاده از روش میان‌یابی IDW در نرم افزار Arc GIS Ver.10.4 که یکی از رایج‌ترین روش‌های میان‌یابی نقاط پراکنده در فضاست نقشه پهنه بندی غلظت هر فلز سنگین در سطح شهرستان ترسیم شد. اساس این روش بر مبنای این فرضیه استوار است که در یک سطح میان‌یابی، اثر یک پارامتر بر نقاط اطرافش یکسان نیست و هر چه فاصله از مبدا پارامتر افزایش یابد، اثر آن پارامتر نیز کمتر خواهد شد (۲۴).

یافته‌ها

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، مقایسه مقدار غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی مورد مطالعه نشان داد که از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود دارد به ترتیبی که گونه درختی کنوکارپوس بیشترین مقادیر مربوط به غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل و مس را به خود اختصاص داد (جدول ۱ و نمودار ۱).

نتایج حاصل از برآورد مقادیر متوسط اسید اسکوربیک، محتوای کلروفیل کل، رطوبت نسبی برگ، اسیدیته فعال عصاره برگ و در نهایت شاخص تحمل آلودگی هوا (ATPI) در آنالیز بیوشیمیایی برگ گونه‌های درختی کنوکارپوس و کهور پاکستانی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

نتایج مقایسه میزان شاخص تحمل آلودگی هوا (APTI) در گونه‌های درختی کنوکارپوس و کهور پاکستانی نشان داد از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود داشته به ترتیبی که گونه درختی کنوکارپوس بیشترین مقادیر مربوط به این شاخص را به خود اختصاص داده است (جدول ۳ و نمودار ۲).

مطابق مراحل قبل به مدت ۱h در حمام آب °C ۵۰ و سپس به مدت ۲۰ min در حمام یخ قرار داده شد. بعد انجام کلیه مراحل سعی شد قرائت اسید اسکوربیک در بازده زمانی ۱h انجام شود چرا که کمپلکس‌های ایجاد شده در طی آزمایش به مدت ۱h پایدار خواهند بود (۲۱). برای اندازه‌گیری کلروفیل کل به عنوان آخرین پارامتر شاخص تحمل به آلودگی هوا، ابتدا ۰/۵g از برگ تازه گیاهان با ۱۰ mL استون ۸۰ درصد درون هاون چینی ساییده شد. بعد از سایش کامل نمونه‌ها، عصاره‌های به‌دست آمده به درون فالکون ریخته و در سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ min قرار داده شد. محتوای عصاره صاف شده را به میزان کافی درون کوت‌ها مخصوص دستگاه اسپکتوفتومتر ریخته و قرائت در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ nm انجام شد. میزان جذب در دو طول موج اندازه‌گیری شده در معادلات ۲، ۳ و ۴ جای‌گذاری و به ترتیب مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل محاسبه شد (۲۲).

$$a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) V / 100W \quad (2)$$

$$b = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) V / 100W \quad (3)$$

$$\text{کلروفیل کل} = a + \text{کلروفیل b} \quad (4)$$

پس از اندازه‌گیری چهار پارامتر فوق، شاخص تحمل آلودگی هوا (APTI) براساس معادله ۵ محاسبه شد (۲۳):

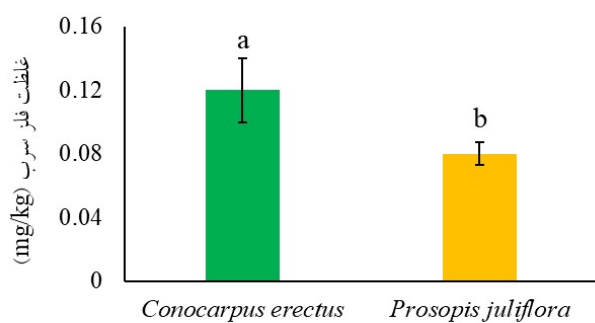
$$ATPI = [AA (Tcl + pH) + RWS] \div 10 \quad (5)$$

در این معادله، AA: مقدار اسکوربیک برحسب mg/g، pH: مقدار اسیدیته فعال عصاره برگ، RWS: درصد رطوبت نسبی، Tcl: مقدار محتوای کلروفیل کل برحسب mg/g

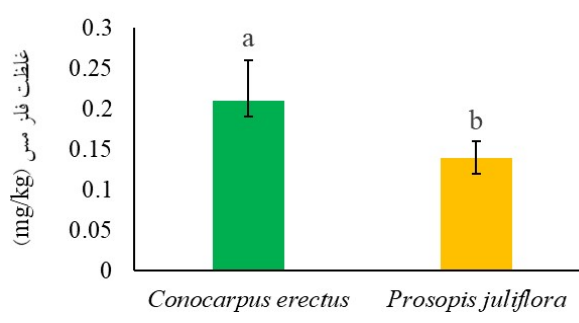
جدول ۱- نتایج آزمون T مستقل غلظت فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در گونه‌های مورد مطالعه

فلزات سنگین	گونه‌های درختی	میانگین \pm انحراف از معیار (mg/kg)	Df	مقدار t	نتیجه آزمون
سرب	گونه کنوکارپوس	0.1223 ± 0.035	۱۸	-۲/۳	**
	گونه کهور پاکستانی	0.0814 ± 0.043			
مس	گونه کنوکارپوس	0.2101 ± 0.053	۱۸	-۲/۵۵	**
	گونه کهور پاکستانی	0.1495 ± 0.052			
نیکل	گونه کنوکارپوس	0.2023 ± 0.094	۱۸	-۲/۴۱	**
	گونه کهور پاکستانی	0.1168 ± 0.06			

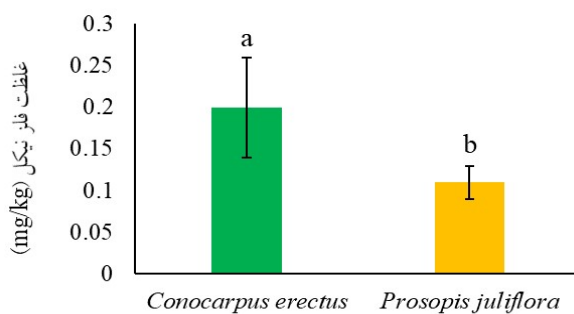
** معنی‌داری در سطح خطای ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح خطای ۰/۰۵، ns عدم معنی‌داری



گونه‌های مورد مطالعه



گونه‌های مورد مطالعه



گونه‌های مورد مطالعه

نمودار ۱- نمودارهای مقایسه میزان غلظت فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در برگ گونه‌های مورد مطالعه

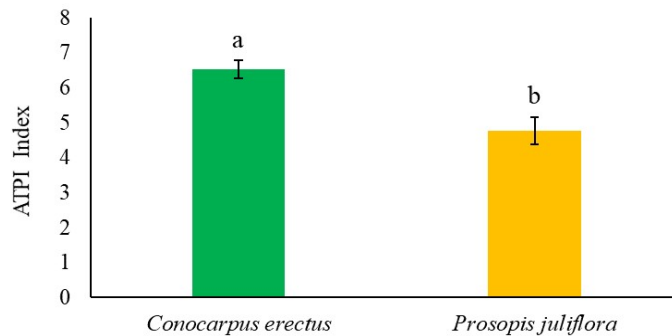
جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز بیوشیمیایی برگ گونه‌های درختی کنوکارپوس و کهور پاکستانی

گونه درختی	اسیدیته فعال عصاره برگ	رطوبت نسبی برگ (درصد)	اسید اسکوربیک (mg/g)	کلروفیل کل (mg/g)	شاخص تحمل آلودگی هوا
کنوکارپوس	۵/۲۷	۵۶/۶	۱/۶	۰/۱۵	۶/۵۳
کهور پاکستانی	۵/۸۳	۳۹/۱۱	۱/۴۴	۰/۱۴	۴/۷۷

جدول ۳- نتایج آزمون T مستقل شاخص تحمل آلودگی هوا (APTI) بین گونه‌های درختی مورد مطالعه

متغیر	گونه‌های درختی	میانگین \pm انحراف از معیار	df	مقدار t	نتیجه آزمون
شاخص تحمل آلودگی هوا	گونه کنوکارپوس	۶/۵۳ \pm ۰/۰۲۶	۱۸	۴۴/۴۸۴	** ۰/۰۰۰
	گونه کهور پاکستانی	۴/۷۷ \pm ۰/۰۲۹			

** معنی‌داری در سطح خطای ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح خطای ۰/۰۵، NS عدم معنی‌داری



گونه‌های مورد مطالعه

نمودار ۲- شاخص تحمل آلودگی هوا (APTI) در گونه‌های درختی مورد مطالعه

پاکستانی ندارد. اما نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص تحمل آلودگی هوا، اسید اسکوربیک، pH فعال عصاره برگ و رطوبت نسبی برگ ارتباط معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴).

بررسی همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین سرب، مس و نیکل نشان داد از این نظر هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری بین این فلزات وجود نداشته و در حقیقت افزایش یا کاهش یک فلز هیچ تاثیری در افزایش یا کاهش سایر فلزات سنگین مورد مطالعه در هر دو گونه درختی کنوکارپوس و کهور

جدول ۴- نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین متغیرهای مورد بررسی و شاخص تحمل آلودگی هوا در گونه‌های مورد مطالعه

متغیرها	سرب	مس	نیکل	اسیدیته فعال	رطوبت نسبی	اسید اسکوربیک	کلروفیل کل	APTI
سرب	۱							
مس	-۰/۱۷۳	۱						
نیکل	۰/۳۴۱	-۰/۰۶۷	۱					
اسیدیته فعال	۰/۱۹	۰/۰۷	-۰/۱۲	۱				
رطوبت نسبی	۰/۲۷	-۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۲	۱			
اسید اسکوربیک	-۰/۲۱	-۰/۱۹	-۰/۱۶	-۰/۰۴	*۰/۳۸	۱		
کلروفیل کل	-۰/۱۴	-۰/۳۱	-۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۲۴	۱	
APTI	-۰/۱۵	-۰/۲۳	-۰/۲۵	*-۰/۰۵	*۰/۰۷	**۰/۱۸۸	**۰/۴۹	۱

** معنی داری در سطح خطای ۰/۰۱ و * معنی داری در سطح خطای ۰/۰۵

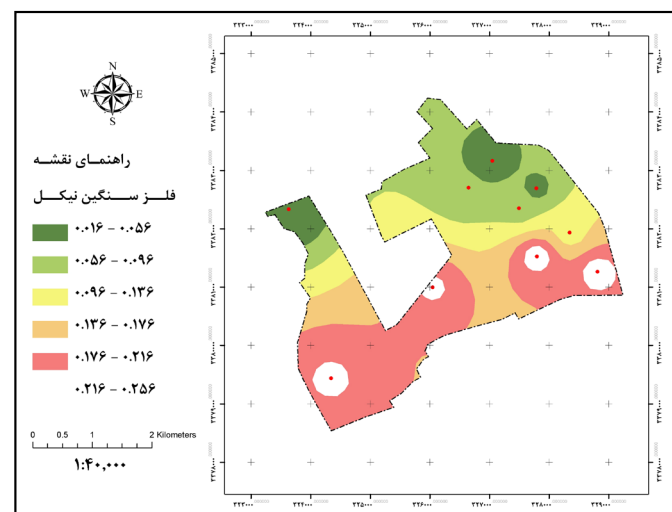
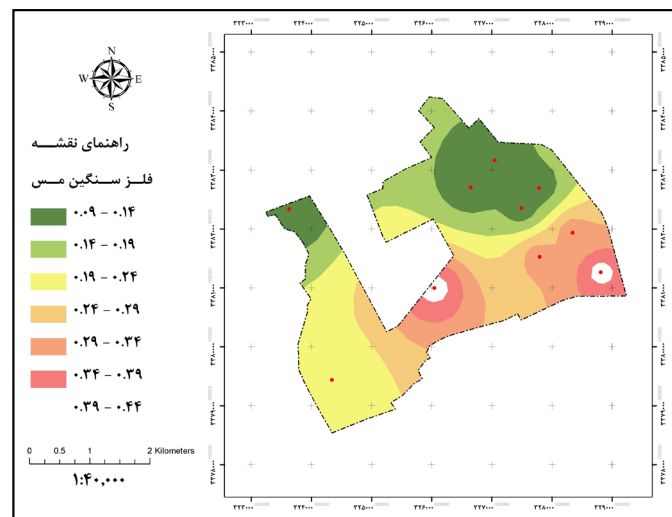
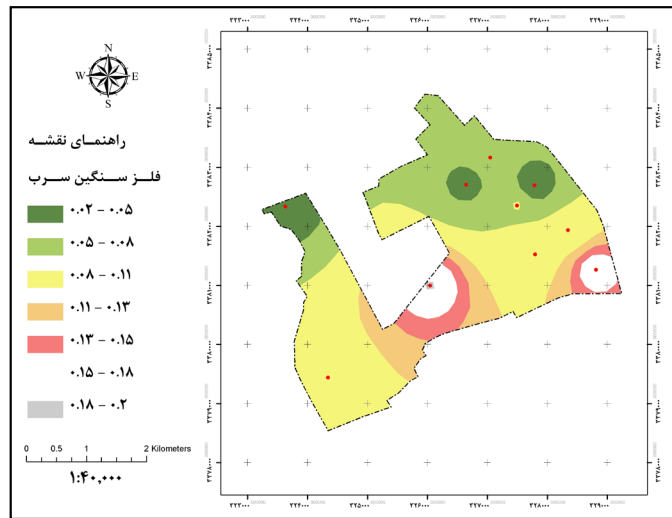
گونه‌های مناسب برای فضای سبز شهری و جنگل‌های مصنوعی نسبت به حفظ محیط و کاهش مواد سمی و آلودگی‌های سمی در محیط اقدام نمود. با توجه به تحقیقات صورت گرفته می‌توان دریافت که میزان انتقال‌پذیری عناصر براساس نوع گونه متفاوت است و در مناطق مختلف با توجه به شرایط رویشگاهی و نوع گونه‌های گیاهی، میزان غلظت متفاوتی از عناصر در اندام‌های گیاهی برآورد می‌گردد (۲۶، ۲۷). برخی عناصر سنگین با توجه به شرایط موجود و ایجاد قابلیت بیشتر، در اندام‌هایی نظیر برگ یا ریشه تجمع بیشتری حاصل نموده و در برخی دیگر این شرایط معکوس می‌شود. این موضوع به قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک و جذب و انتقال آنها به بخش‌های هوایی گونه‌های مورد مطالعه مرتبط است (۲۸). فلزات تمایل دارند در برگ‌ها متمرکز شوند به طوری که برخی عناصر همچون روی و مس نقش مهمی در فتوسنتز برگ بازی می‌کنند. در برخی موارد، ناهمواری سطح خارجی برگ‌ها و نیز ساختار میکروسکوپی سطح برگ (روزنه‌ها، سلول‌های اپیدرمی و کرک‌ها)، در به دام انداختن و انباشتگی ذرات هوا نقش مؤثری دارد.

براساس نتایج حاصل از پهنه‌بندی انجام شده مشخص گردید غلظت فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در پهنه جنوبی شهرستان از جنوب شرقی تا جنوب غربی حداکثر مقدار را نشان داده و از این نظر حداقل مقادیر غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه مربوط به قسمت‌های شمالی شهرستان است (شکل ۲).

بحث

امروزه آلودگی هوا تبدیل به بزرگ‌ترین تهدید برای بقای گونه‌های زیستی گردیده است. توانایی جذب بالای آلاینده‌ها و قدرت بالای تحمل آلودگی از جمله مهمترین ویژگی‌های یک گونه درختی است که در فضای سبز مناطق آلوده کشت می‌گردد (۲۵).

پهنه‌بندی تجمع زیستی مواد سمی همانند فلزات سنگین در گونه‌های درختی فضای شهری یکی از موارد مورد نیاز جهت برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیست و ایجاد فضای سبز شهری است. این مورد در شهرهای صنعتی همانند شهر ماهشهر به دلیل وجود آلودگی‌های صنعتی فراوان از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا می‌توان با انتخاب



شکل ۲- پهنه بندی غلظت فلزات سنگین سرب، مس و نیکل در شهرستان ماهشهر

کرده و همچنین موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (۳۷). نتایج نشان داد گونه درختی کنوکارپوس در مقایسه با گونه کهور پاکستانی توانایی بیشتری در جذب فلز سنگین مس دارد. جذب این عنصر در اندام‌های هوایی گیاه کنوکارپوس نظیر برگ نشان می‌دهد علاوه بر قدرت جذب بالاتر، ممکن است این گیاه توان بیشتری در انتقال این عنصر از خاک به اندام‌های هوایی داشته باشد (۳۸). بالا بودن میانگین فلز مس در بافت‌های گیاه، نیز به دلیل ضروری بودن این عنصر برای گیاه است که در تنفس، فتوسنتز و سنتز پروتئین در گیاهان نقش دارد (۳۹) از این رو گیاهان تمایل دارند یون‌های مس محلول در خاک را جذب کنند (۳۴). همچنین *Serbula* و همکاران (۲۰۱۳)، غلظت بالای مس و روی را در برگ‌های سوزنی کاج گزارش کردند و اشاره نمودند که این افزایش غلظت بدلیل افزایش آلودگی هوا در محل مطالعه است (۴۰). که با توجه به تجمع صنایع مختلف در شهرستان ماهشهر و وجود منطقه ویژه صنعتی در این شهرستان می‌تواند با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشته باشد. *Amiri* و همکاران (۲۰۱۹) در پایش فلزات سنگین در گیاه کنوکارپوس در شهر صنعتی آبادان این گونه درختی را جزء گیاهان آلوده به فلز مس در منطقه مورد مطالعه معرفی کردند (۱۵). مس با چگالی $8/96 \text{ g/cm}^3$ یک فلز سنگین و یک ریز مغذی ضروری برای گیاه است (۴۱). این عنصر به میزان حدود ۱۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک گیاه، در بافت‌های گیاهی وجود دارد اما غلظت بالای آن می‌تواند اثراتی مانند کلروز، نکروز، توقف رشد، رنگ‌پریدگی برگ‌ها و ممانعت از رشد را به همراه داشته باشد (۴۲). همچنین نتایج نشان داد گونه درختی کنوکارپوس در مقایسه با گونه کهور پاکستانی توانایی بیشتری در جذب فلز سنگین نیکل دارد. عنصر نیکل نیز در متابولیسم نیتروژن در گیاه نقش دارد (۴۳) و گیاهان این عنصر را از رسوبات و یا خاک جذب می‌کنند (۳۴). نیکل از فلزات سنگین سمی و تجزیه‌ناپذیر است. نیکل ۲ ظرفیتی به طور عمده از

از این نظر بین دو گونه درختی مورد مطالعه تفاوت‌هایی مشاهده شد که از مهمترین آنها می‌توان به بزرگ‌تر بودن اندازه برگ، وجود ناهمواری سطح پهنک برگ و چسبناکی سطح برگ به دلیل ترشحات در گونه کنوکارپوس نسبت به کهور پاکستانی اشاره کرد (۲۹). نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد گونه درختی کنوکارپوس در مقایسه با گونه کهور پاکستانی توانایی بیشتری در جذب فلز سنگین سرب دارد که *Dashti* و همکار (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی میزان جذب فلز سنگین سرب در برگ گونه‌های درختی (کنار، اکالیپتوس و کنوکارپوس) در پالایشگاه اول مجتمع گاز پارس جنوبی این موضوع را تایید کردند (۳۰). فلز سرب، در واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان کارکرد مشخصی ندارد، اما به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن توسط گیاهان وجود دارد (۳۱). سرب به طور طبیعی 15 mg/kg و به میزان نسبتاً بالا در پوسته کره زمین وجود دارد. منابع صنعتی و شهری از علل افزایش میزان سرب در هوا هستند و در شهرهای آلوده و محیط‌های صنعتی نظیر شهرستان ماهشهر، میزان آن بالاتر از حد مجاز برآورد گردیده است (۳۲). گزارشات متعددی حاکی از آن است که غلظت سرب در خاک و اتمسفر ارتباط معنی‌داری با حجم ترافیک دارد (۳۳) چنانکه *Cheraghi* و همکاران (۲۰۱۲)، بالا بودن میزان غلظت فلز سنگین سرب را در برگ‌های گیاهان در بندر امام خمینی خوزستان را به آلوده بودن هوای منطقه مربوط دانستند (۳۴). آلودگی سرب موجب بروز مشکلات فراوانی برای گیاه می‌شود، به طوری که غلظت بالای آن در سطح مورفولوژیک موجب کاهش زیست توده، ممانعت از جوانه‌زنی، القای کلروز و نکروز برگ، تغییر رنگ و چوبی شدن ریشه می‌شود (۳۵). همچنین افزایش میزان سرب در ساختمان سلول ایجاد تغییر در اندازه و شکل کلروپلاست و افزایش اندازه واکوئل را موجب می‌گردد (۳۶). اما در سطح فیزیولوژیکی، سرب در عمل روزنه‌ها، محتوای نیترات، تعادل آبی سلول‌ها، فتوسنتز و تنفس اختلال ایجاد

صنعت رنگ، فرآوری مواد معدنی، صنعت هیدرمتالورژیکی، چرم و باطری‌سازی به محیط زیست آزاد می‌شود. تجمع نیکل ۲ در سلول‌های زنده به علت تجزیه ناپذیری طبیعی آن است (۴۴). نیکل می‌تواند باعث سرطان ریه و استخوان، سرگیجه و بیماری‌های مختلف در انسان شود (۴۵). پیش از این Zoufan و همکاران (۲۰۱۳) با مقایسه توانایی تغلیظ برخی فلزات سنگین در ۱۱ گونه از گیاهان علفی، درختچه‌ای و درختی منطقه اطراف صنایع فولادسازی در جاده بندر امام-ماهشهر نتیجه گرفتند که گونه علفی *Taraxacum kotschy* و تیپ درختی *Conocarpus erectus* و *Eucalyptus camaldulensis* با ضریب تغلیظ زیستی بزرگ‌تر از یک برای فلزات آهن، روی، منگنز و نیکل، از توانایی تجمع و انباشت این عناصر در بخش هوایی خود برخوردار بودند (۴۶). البته می‌توان علت تفاوت در غلظت میان فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی مختلف را به تفاوت‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ظرفیت جذب فلزات توسط گیاهان، اثرات جوی نظیر دما، سرعت باد و خصوصیات خود گیاه مانند نوع برگ، ریشه، میوه و همچنین فاصله از مناطق صنعتی نسبت داد (۴۷). درنهایت براساس نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان بیان کرد که برگ گونه درختی کنوکارپوس یک زیست ردیاب قابل اطمینان برای فلزات سنگین مس، نیکل و سرب است. پیش از این Gholami و همکاران (۲۰۱۳) هم برگ و پوست این گونه درختی را یک زیست ردیاب برای فلزات سرب، مس، روی، کروم و کادمیوم معرفی کردند (۴۸). نتایج نشان داد براساس مقایسه بین شاخص ATPI گونه درختی کنوکارپوس (۶/۵۳) نسبت به کهور پاکستانی (۴/۷۷) مقاومت بیشتری در مقابل آلودگی هوا دارد. با توجه به طبقه‌بندی صورت گرفته در محدوده شاخص تحمل آلودگی هوا گونه‌های گیاهی ($ATPI > 1$)، $16 < ATPI < 29$ ، $17 < ATPI < 100$ ، $ATPI < 30$ که به ترتیب خیلی حساس، حساس، متوسط و زیاد است، هر دو گونه مورد بررسی در طبقه حساس قرار گرفتند

(۴۹). از این نظر می‌توان از طریق این دو گونه درختی تا حدودی به وضعیت کیفیت هوای شهرستان صنعتی ماهشهر پی برد. در این مطالعه برای اندازه‌گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا دو پارامتر فیزیولوژیک محتوای آب نسبی و pH عصاره برگ و دو پارامتر بیوشیمیایی محتوای کلروفیل کل و اسید آسکوربیک اندازه‌گیری شد. استفاده از هر یک از این پارامترها برای اندازه‌گیری این شاخص با اهداف خاص صورت گرفت. اسید آسکوربیک به عنوان یک آنتی‌اکسیدان و کاهنده قوی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن، مقدار آن تحت شرایط زیستی نامطلوب به طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند. در واقع مقدار این آنتی‌اکسیدان وابسته به بار آلودگی است که باعث تولید گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species) می‌شود (۵۰). این آنزیم نقش مهمی در واکنش‌های فتوسنتز نوری، تثبیت کربن فتوسنتز، فعال نمودن مکانیسم‌های دفاعی دارد. تحت شرایط استرس این آنزیم نقش مهمی در جایگزین کردن آب دارد. در واقع می‌توان گفت، مقدار این اسید در گیاهان متحمل زیاد و در گیاهان حساس کم است (۵۱).

در مطالعه‌ای که توسط Sumangala و همکاران بر روی ۴۶ گونه گیاهی رویش یافته در منطقه بنگلورا هند انجام شد محدوده محتوای اسید آسکوربیک بین 0.11 تا 0.95 mg/g.FW برآورد گردید (۵۲) درحالی‌که در پژوهش حاضر $1/6$ و $1/44$ mg/g.FW محاسبه شد که علت زیاد بودن مقدار آن علاوه بر تفاوت در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه می‌تواند ناشی از استقرار این گونه‌ها در منطقه صنعتی باشد. در مطالعه حاضر با توجه به اینکه محتوای اسید آسکوربیک در گونه کنوکارپوس نسبت به گونه کهور پاکستانی بیشتر اندازه‌گیری شد، انتظار می‌رود که این گونه تحمل‌پذیری بالایی نسبت به آلودگی هوا داشته باشد که نتایج به‌دست آمده از شاخص تحمل به آلودگی هوا این مورد را تایید نمود. محتوای کلروفیل کل، دومین پارامتر بیوشیمیایی مورد استفاده در این شاخص

که گونه‌های حساس و متحمل گونه‌های هستند که به ترتیب pH پایین تر از ۷ و pH نزدیک به ۷ را دارند (۵۷). با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، صحیح بودن این قضیه تایید می‌شود. به علت اینکه هیچ کدام از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه pH عصاره برگ برابر با ۷ را نداشت و pH آنها پایین بود می‌توان از روی این پارامتر به حساس بودن گونه‌های گیاهی مورد بررسی پی برد. اگر چه علت کاهش pH عصاره برگ در گونه‌های مورد بررسی وابسته به عوامل متعددی است اما احتمالاً مهمترین علت آن، افزایش مواجهه گیاهان با آلاینده‌های اسیدی SO₂ و NO_x انتشار یافته از صنایع است. آخرین پارامتر فیزیولوژیک گیاهان برای اندازه گیری شاخص تحمل به آلودگی هوا، محتوای آب نسبی است. محتوای آب نسبی برگ بالا، باعث مقاومت گیاه نسبت به آلاینده‌ها می‌شود و عملکرد فیزیولوژیک گیاه تحت شرایط استرس را تنظیم می‌نماید. در واقع محتوای آب نسبی باعث حفظ کلروفیل در برابر تنش‌های شیمیایی می‌شود و می‌توان این چنین بیان نمود که گیاهان تحت شرایط آلوده با محتوای آب نسبی بالا ممکن است به آلاینده‌ها مقاوم باشند (۵۸).

Meerabai و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند، در مکان‌های صنعتی محتوای آب نسبی بالا پاسخی بر نرمال بودن عملکرد فرایندهای بیولوژیکی در گیاهان است (۵۹). در این مطالعه محتوای آب نسبی در گونه‌های مورد مطالعه ۵۶/۶ و ۳۹/۱۱ درصد اندازه‌گیری شد. بیشترین محتوای آب نسبی مربوط به گونه درختی کنوکارپوس بود که بیشترین مقدار شاخص APTI را نیز نشان داد. برآیند اندازه‌گیری ۴ پارامتر تشریح شده، منتج به این نتیجه گردید که شاخص تحمل به آلودگی هوا در درختان مورد بررسی در طبقه گونه‌های حساس قرار دارند. در واقع با توجه به نتایج محدوده پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده و مطابقت این نتایج با دستاوردهای سایر دانشمندان انتظار می‌رفت که

است. محتوای کلروفیل کل و سایر رنگدانه‌های گیاهی به عنوان بافت هدف آلاینده‌ها در پاسخ به آلودگی هوا کاهش می‌یابد. کاهش محتوای کلروفیل به علت ایجاد شرایط قلیایی و افزایش فعالیت آنزیمی کلروفیل‌از در اثر آلودگی هوا نسبت داده شده است. از نظر پژوهشگران، حفظ کلروفیل گیاه تحت تنش آلودگی هوا نشانه مقاومت و تحمل گیاه در برابر آلودگی هوا است. نتایج دیگر نشان داده است که گیاهان حساس محتوای کلروفیل پایین‌تری را نسبت به گیاهان متحمل دارند (۵۲). در مطالعه‌ای که توسط Enete و همکاران (۲۰۱۳) انجام شد، محدوده محتوای کلروفیل کل در درختچه‌های زینتی (۹/۱ تا ۱۳/۷ mg/g.FW) تعیین شد (۵۳). این محدوده محتوای کلروفیل کل بیشتر از محدوده کلروفیل کل اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر (۰/۱۵ و ۰/۱۴ mg/g.FW) بود. این نتیجه می‌تواند حساس بودن گونه‌های گیاهی مورد بررسی را تایید نماید. pH عصاره برگ به عنوان یک پارامتر فیزیولوژیک مهم زمینه انتقال درون سلولی پروتئین‌ها و مولکول‌های کوچک نظیر هورمون‌ها را در گیاهان فراهم می‌کند. این پارامتر در فرایندهای نظیر فتوسنتز دخیل است به طوری که با کاهش pH عصاره برگ میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. مکمل بودن این پارامتر فیزیولوژیک با سایر پارامترها نظیر اسید آسکوربیک نقش مهمی در تعیین حساسیت یک گیاه نسبت به یک آلاینده دارد (۵۴). مطابق گزارشات Salimi و همکاران (۲۰۱۹) و تحقیقات Rai و همکاران (۲۰۱۶)، pH عصاره برگ بالا به عنوان یک پارامتر فیزیولوژیک می‌تواند کارایی تبدیل قند هگزوز به اسید آسکوربیک (مهمترین پارامتر تعیین شاخص تحمل‌پذیری گیاه) را افزایش دهد در حالی که pH عصاره برگ پایین‌تر حساسیت گیاه را نسبت به آلودگی نشان می‌دهد (۵۵، ۵۶). مطابق نتایج حاصل از این مطالعه pH عصاره برگ اندازه‌گیری شده برای گونه‌های گیاهی مورد مطالعه ۵/۲۷ و ۵/۸۳ است. از طرف دیگر در گزارشات Singh و همکار در سال ۲۰۰۷ مشخص شد

گونه‌های مورد بررسی در طبقه حساس قرار گیرند که این نتیجه به دست آمد. از طرف دیگر نتایج شاخص تحمل به آلودگی هوا نشان داد که مقدار این شاخص در بین گونه‌های گیاهی مورد بررسی در گونه درختی کنوکارپوس برابر با ۶/۵۳ و در گونه کهور پاکستانی ۴/۷۷ برآورد شد. علت بالاتر بودن نمره شاخص تحمل به آلودگی هوا در کنوکارپوس را می‌توان به بیشتر بودن میزان اسید آسکوربیک در آن نسبت داد. Achakzai و همکاران (۲۰۱۷) بیشترین شاخص تحمل به آلودگی هوا در بین گونه‌های گیاهی اطراف کوره آجرپزی را در گونه استبرق (*Calotropis procera*) به مقدار ۲۰/۰۵ و کمترین آن در گیاه پنیرک (*Malva neglecta*) به مقدار ۸/۸۳ اندازه گیری نمودند و نتایج آنها نشان داد از گیاه استبرق می‌توان در توسعه فضای سبز و مقابله با آلاینده‌های کوره آجرپزی استفاده نمود (۶۰). Bakiyaraj و همکار (۲۰۱۴) شاخص تحمل به آلودگی هوا را برای ۱۱ گونه گیاهی رویش یافته در اطراف یک نیروگاه و ناحیه معدنی در نیویل هند بررسی نمودند و نشان دادند که گونه اکالیپتوس (*Eucalyptus sp.*) نسبت به سایر گونه‌ها بالاترین APTI با مقدار ۶/۵۲ را دارد. کمترین مقدار این شاخص نیز در درخت کاری (*Murraya Koenigii*) با مقدار ۰/۸۱ اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهشگران نشان داد با توجه به اینکه شاخص تحمل گیاهان به آلودگی هوا در طبقه خیلی حساس و حساس قرار دارد می‌توان آنها را به عنوان پایشگرهای زیستی در آن منطقه استفاده نمود (۶۱). Bharti و همکاران (۲۰۱۸) محدوده شاخص تحمل به آلودگی هوا در گیاهان مجتمع صنعتی تالکاتورا که متشکل از صنایع فولاد، کلسازی، باتری‌سازی، پلاستیک‌سازی و غیره بود، ۲۶/۹۶-۱۱/۴۵ اندازه‌گیری نمودند. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به درخت انجیر هندی (*Ficus benghalensis*) و کمترین آن در گیاه درختچه‌ای گل کاغذی کبیر (*Bougainvillea spectabilis*) اندازه‌گیری بود (۶۲). در پژوهش حاضر

همبستگی پارامترهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی با شاخص APTI مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد بین این شاخص و اسید آسکوربیک و کلروفیل کل همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. در مطالعه Joshi و همکاران (۲۰۱۵) این رابطه مثبت گزارش شده بود (۶۳). در مطالعه Nazari (۲۰۱۸) رابطه APTI با اسید آسکوربیک و محتوای آب نسبی مثبت و معنی‌دار گزارش شد و در پژوهش خود بیان نمود، بین ۴ پارامتر مورد بررسی pH عصاره برگ و کلروفیل کمترین اهمیت را در تعیین شاخص APTI دارند (۶۴). در پژوهش حاضر، رابطه pH عصاره برگ با APTI همانند نتایج Sinha و همکاران (۲۰۱۷) همبستگی ضعیف و منفی اندازه‌گیری شد (۶۵). در حالی که در مطالعه Joshi و همکاران (۲۰۱۵) این همبستگی مثبت گزارش شده بود (۶۳). بنابراین در پژوهش حاضر مشخص شد، دو پارامتر pH عصاره برگ و محتوای آب نسبی کمترین اهمیت اسید آسکوربیک و محتوای کلروفیل کل بیشترین اهمیت را در تعیین شاخص APTI دارند. Pandey و همکاران (۲۰۱۵) در نتایج ارزیابی شاخص APTI نشان دادند که گیاهان با APTI بالاتر می‌توانند به عنوان کاهش دهنده آلودگی و گیاهان با APTI پائین‌تر به عنوان سنجش آلودگی هوا مورد استفاده قرار می‌گیرند (۶۶). همچنین Enteshari و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی مقایسه‌ای تغییرات سطح برگ و برخی فاکتورهای بیوشیمیایی برگ دو گیاه درختی کنوکارپوس و جمبو در اطراف منطقه آلوده صنایع فولاد اهواز پرداختند و نتیجه گرفتند هر دو گیاه در محدوده گیاهان حساس قرار داشته ولی گیاه کنوکارپوس نسبت به جمبو مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی هوا نشان می‌دهد (۶۷). بنابراین می‌توان اذعان داشت گونه درختی کنوکارپوس از جمله گونه‌های مناسب جهت کشت در مناطق آلوده محسوب می‌گردد. براساس نتایج حاصل از پهنه‌بندی انجام‌شده مشخص گردید غلظت فلزات سنگین سرب، مس و نیکل

درختی کنوکارپوس (*Conocarpus erectus* (L.)) علاوه بر مقاومت بیشتر در برابر آلودگی هوا، قابلیت بالاتری در جذب عناصر سنگین سرب، مس و نیکل از خود نشان داد. لذا نتیجه کاربردی این مطالعه را می‌توان معرفی این گونه درختی به عنوان گیاهی مناسب جهت احیاء مناطق آلوده در فضای سبز شهری، ایجاد کمربند سبز در حاشیه این شهر صنعتی و آلوده و همچنین به عنوان نشانگر و پایشگر زیستی مطلوب برای ارزیابی وضعیت آلودگی هوا به این عناصر در این منطقه مد نظر قرار داد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان این مقاله کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه مقاله، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست گرایش آلودگی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز با عنوان "پهنه بندی تجمع زیستی فلزات سنگین سرب، روی و مس و برآورد شاخص تحمل آلودگی هوا (APTI) در گونه‌های درختی کهور پاکستانی و کنوکارپوس در فضای سبز شهرستان ماهشهر" با کد پایان نامه ۱۰۶۵۰۵۸۷۹۷۱۰۰۱ است.

در نمونه‌های مورد مطالعه در نواحی جنوبی شهرستان یعنی از جنوب غربی تا جنوب شرق حداکثر مقدار را نشان می‌دهد. به‌طور کلی دلیل این پدیده را می‌توان تردد ماشین‌آلات سنگین در محدوده جاده کمربندی و نزدیکی این منطقه به تاسیسات ساحلی همانند بندرها و پتروشیمی‌ها دانست. Liang و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای به بررسی غلظت فلزات سنگین در برگ دوازده گونه گیاهی از هفت منطقه مختلف در شانگهای چین پرداختند و مشاهده کردند بیشترین میزان غلظت فلز در مناطق صنعتی و همچنین مناطق پر تردد مشاهده شده است (۶۸).

از کاستی‌ها و محدودیت‌های اجرایی این پژوهش می‌توان به عدم بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منابع خاکی و آبی بستر رویشی گیاهان اشاره نمود. مجموعه‌ای از این خصوصیات ممکن است در تحلیل نتایج تاثیرگذار باشند. لذا جهت دستیابی به نتایج بهتر پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی تمام این فاکتورها مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که میزان انتقال‌پذیری عناصر براساس نوع گونه متفاوت است و در مناطق مختلف با توجه به شرایط رویشگاهی و نوع گونه‌های گیاهی، میزان غلظت متفاوتی از عناصر در اندام‌های گیاهی برآورد می‌گردد. گونه

References

1. Rui L, Buccolieri R, Gao Z, Ding W, Shen J. The impact of green space layouts on microclimate and air quality in residential districts of Nanjing, China. *Forests*. 2018;9(4):224.
2. Anigma S. Erosion and sedimentation control, vegetative techniques. In: Lal R, editor. *Encyclopedia of soil science*. 3rd ed. New York: Marcel Dekker; 2002.
3. Khosropour E, Attarod P, Shirvani A, Bayramzadeh V, Hakimi L. Heavy metal accumulation and anatomical responses of plane plant to urban pollutions in two areas of Tehran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 2017;31(4):791-800 (in Persian)
4. Al-Yemni MN, Sher H, El-Sheikh MA, Eid EM. Bioaccumulation of nutrient and heavy metals by *Calotropis procera* and *Citrullus colocynthis* and their potential use as contamination indicators. *Scientific Research and Essays*. 2011;6(4):966-76.
5. Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TVM. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*. 2010;8(3):199-

- 216.
6. Baycu G, Tolunay D, Özden H, Günebakan S. Eco-physiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environmental Pollution*. 2006;143(3):545-54.
 7. Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2006;4(3-4):115-23.
 8. Azami J, Morad Pour H, Kiani Mehr N. A review of biological indicators of heavy metal contaminated environments. *Journal of Humans and Environment*. 2017;15(1):13-24 (in Persian).
 9. Zoufan P, Saadatkhah A, Rastegharzadeh S. Comparison of potentiality of heavy metals accumulation in the plants surrounding steel industries in the Mahshahr-Bandar Imam road, Ahvaz. *Journal of Plant Biology*. 2013;5(16):41-56 (in Persian).
 10. Kling J. Phytoremediation of organics moving rapidly into field trials. *Environmental Science & Technology*. 1997;31(3):129A.
 11. Venkatachalam P, Jayaraj M, Manikandan R, Geetha N, Rene ER, Sharma NC, et al. Zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) alleviate heavy metal-induced toxicity in *Leucaena leucocephala* seedlings: A physiochemical analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017;110(2):59-69.
 12. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A. Tolerance of plants to air pollution in the industrial complex of glass, Khak-e-Chini, Tile and Ceramics in Ardakan, Iran. *Scientific Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*. 2020;18(1):73-92 (in Persian).
 13. Abbaszadeh H, Mohammadi Roozbahanim M, Sobhanardakani S. Use of *Ziziphus spina-christi* and *Prosopis cineraria* leaves as bio-indicators of environmental pollution emitted from industrial areas. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2019;12(1):87-100 (in Persian).
 14. Rouniasi N, Parvizi Mosaed H. Investigating the amount of heavy metals in different parts of some consumable vegetables in Karaj City. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016; 9(2):171-84 (in Persian).
 15. Amiri L, Azadi R, Rastegharzadeh S, Zoufan P. Monitoring of concentration of heavy metals in *Conocarpus erectus* in different areas of industrial city of Abadan. *Journal of natural Environment*. 2019; 72(2):143-57 (in Persian).
 16. Dinarvand M, Sharifi M. An outlook on vegetation of habitats in south-west of Iran (Khuzestan Province). *Journal of Research and Construction in Natural Resources*. 2008;81(1):77-86 (in Persian).
 17. Kaya G, Okumus N, Yaman M. Lead, cadmium and copper concentrations in leaves of *Nerium oleander* L. and *Robinia pseudoacacia* L. As biomonitors of atmospheric pollution. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2010;19(4A):669-75.
 18. Khalid N, Hussain M, Young HS, Ashraf M, Hameed M, Ahmad R. Lead concentrations in soils and some wild plant species along two busy roads in Pakistan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2017;100(2):250-58.
 19. Otuu F, Inya-Agha S, Ani U, Ude C, Inya-Agha T. Air pollution tolerance indices (APTI) of six ornamental plants commonly marketed at "Ebano Tunnel" Floral Market, in Enugu Urban, Enugu State, Nigeria. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2014;8(1):51-55.
 20. Bharti SK, Trivedi A, Kumar N. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban Climate*. 2018;24:820-29.
 21. Tantray AK, Dar SA, Ahmad S, Bhat SA. Spectrophotometric and titrimetric analysis of phytoascorbate. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017;6(1):27-31.
 22. Sinha S, Tripathi A, Verma N. Air pollution tolerance index of selected tree species of Doon Valley of Uttarakhand (India). *Indian Forester*. 2017;143(2):149-56.
 23. Elloumi N, Mezghani I, Rouina B, Ben Abdallah F. A comparative study of air pollution tolerance index (APTI) of some fruit plant species growing in the industrial area of Sfax, Tunisia. *Pollution*. 2018;4(3):439-46.
 24. Davari A, Danehkar A, Khorasani N, Javanshir A. An investigation on accumulation of heavy metals in roots and leaves of *Avicennia marina* the sediment, Bushehr, the Persian Gulf. *Journal of Natural Envi-*

- ronment. 2010;63(3):267-77 (in Persian).
25. Kumar SR, Arumugam T, Anandakumar CR, Balakrishnan S, Rajavel DS. Use of plant species in controlling environmental pollution- A review. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 2013;2(2):52-63.
 26. Sayyad G, Afyuni M, Mousavi SF, Abbaspour KC, Richards BK, Schulin R. Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcareous soil under wheat and safflower cultivation a column study. *Journal of Geoderma*. 2010;154:311-20 (in Persian).
 27. Stevovic S, Mikovilovicand VS, Calic-Dragosavac D. Environmental impact of site location on macro and microelements in Tansy. *African Journal of Biotechnology*. 2010;9(16):2408-12.
 28. Svetlana L, Slavkovi L. Inorganic analysis of herbal drugs. Plant and soil analysis – diverse bio-availability and uptake of essential and toxic elements. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2006;71(10):1095-105.
 29. Pourkhabbaz, H.R., Javanmardi, S. Determination of heavy metal concentration in vegetation around Behbahan Cement Factory by plant bioindicators. *Geographical-Space Journal*. 2018;62(2):19-29 (in Persian).
 30. Dashti B, Mohammadi Roozbahani M. Survey on lead accumulation in tree species leafs (*Zizyphus spina-christi*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus*) in South Pars Gas Complex first refinery. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2017;3(18):25-35 (in Persian).
 31. Pais I, Jones JB. *The Handbook of Trace Elements*. Florida: St. Luice Press; 2000.
 32. Barker AV, Pilbeam DJ. *Handbook of Plant Nutrition*. New York: CRC Press; 2010.
 33. Celik A, Kartal AA, Akdoğan A, Kaska Y. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinio pseudo-acacia* L. *Environment International*. 2005;31(1):105-12.
 34. Cheraghi, M., Dadolahi, A., Safiae, A., Ghanemi, K., Doraghi, A. Investigation of heavy metal accumulation in the bed, leaves and roots of the plant (*Avicennia marina*) in Khuzestan province. *Marine Science and Technology Journal*. 2012;11(4):46-56 (in Persian).
 35. Kopittke PM, So HB, Menzies NW. Effect of ionic strength and clay mineralogy on Na-Ca exchange and the SAR-ESP relationship. *European Journal of Soil Science*. 2006;57(5):626-33.
 36. Liu L. BEST: Bayesian estimation of species trees under the coalescent model. *Bioinformatics*. 2008;24(21):2542-43.
 37. Moteshare Zadeh B, Savabeghi Firozabadi G. *Phytoremediation or Green Refining*. 2nd ed. Tehran: University of Tehran Press; 2015 (in Persian).
 38. Montazeri F, Tamartash R, Tatian M, Hoiati M. Investigation concentration of Pb, Zn and Cu in the soil and range species *Kochia prostrate* around of Firoozkooch cement factory. *Journal of Plant Ecosystem conservation*. 2016;8(4):145-59 (in Persian).
 39. Shorrocks VM, Alloway BJ. *Copper in Plant, Animal and Human Nutrition*. UK: Copper Development Association; 1986.
 40. Serbula SM, Kalinovic TS, Kalinovic JV, Ilic AA. Exceedance of air quality standards resulting from pyro-metallurgical production of copper: a case study, Bor (Eastern Serbia). *Environmental Earth Sciences*. 2013;68(7):1989-98.
 41. Michalak A. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2006;15(4):523-30.
 42. Yruela I. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2005;17(1):145-56.
 43. Baycu G, Tolunay D, Özden H, Günebakan S. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environmental Pollution*. 2006;143(3):545-54.
 44. Lata H, Garg VK, Gupta RK. Sequestration of nickel from aqueous solution onto activated carbon prepared from *Parthenium hysterophorus* L. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;157(2-3):503-09.
 45. Pandiyan S, Mahendradas DK. Application of bacteria to remove Ni (II) Ions from aqueous solution. *European Journal of Scientific Research*. 2011;52(2):345-58.
 46. Zoufan P, Saadatkhah A, Rastegharzadeh S. Comparison of potentiality of heavy metals accumulation in the plants surrounding steel industries in the Mah-

- shahr-Bandar Imam road, Ahvaz. *Iranian Journal of Plant Biology*. 2013;5(16):41-56 (in Persian)
47. Zurera-Cosano G, Moreno-Rojas R, Salmeron-Egea J, Lora RP. Heavy metal uptake from greenhouse border soils for edible vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1989;49(3):307-14.
 48. Gholami A, Panahpour E, Rezaei-Mirghaed H, Ahmadi SH. The effect using compost leachate on absorption of soil Zinc. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2011;10:935-39.
 49. Tak A, Kakde UB. Assessment of air pollution tolerance index of plants: a comparative study. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2017;9(7):83-89.
 50. Tripathi A, Gautam M. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology*. 2007;28(1):127-32.
 51. Vyankat Y. Air Pollution Tolerance Index nanded city, MA. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation*. 2014;3(1):23-28.
 52. Sumangala H, Aswath C, Laxman R, Namratha M. Estimation of Air Pollution Tolerance Index (APTI) of selected ornamental tree species of Lalbagh, Bengaluru, India. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018;7(2):3894-98.
 53. Enete I, Chukwudeluzu V, Okolie A. Evaluation of air pollution tolerance index of plants and ornamental shrubs in Enugu City: implications for urban heat island effect. *World Environment*. 2013;3(3):108-15.
 54. Roy A, Bhattacharya T, Kumari M. Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. *Science of The Total Environment*. 2020;722:137622.
 55. Salimi A, Dadkhah Aghdash H. Air pollution tolerance index (APTI) of three tree species *Morus alba* L., *Aillanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Salix babylonica* L. in different areas of Tehran City, Iran. *Journal of Environmental Studies*. 2019;45(3):513-24 (in Persian)
 56. Rai PK. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016;129:120-36.
 57. Singh SN, Tripathi RD. *Environmental Bioremediation Technologies*. New York: Springer; 2007.
 58. Patel A, Hina K. Assessment of relative water content, leaf extract pH, ascorbic acid and total chlorophyll of some plant species growing in Shivamogga. *Plant Archives*. 2011;11(2):935-39.
 59. Meerabai G, Venkata RC, Rasheed M. Effect of industrial pollutants on physiology of *Cajanus cajan* (L.)-Fabaceae. *International Journal of Environmental Sciences*. 2012;2(4):1889-94.
 60. Achakzai K, Khalid S, Adrees M, Bibi A, Ali S, Nawaz R. Air pollution tolerance index of plants around brick kilns in Rawalpindi, Pakistan. *Journal of Environmental Management*. 2017;190:252-58.
 61. Bakiyaraj R, Ayyappan D. Air pollution tolerance index of some terrestrial plants around an industrial area. *International Journal of Modern Research and Reviews*. 2014;2(1):1-7.
 62. Bharti SK, Trivedi A, Kumar N. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban Climate*. 2018; 24:820-29.
 63. Joshi N, Joshi A, Bist B. Air pollution tolerance index of some trees species from the industrial area of Tarapur. *International Journal of Life Sciences Scientific Research*. 2015;2(2):173-82.
 64. Nazari B. Investigation of air pollution tolerance index (APTI) and bioaccumulation of cadmium and lead in some plant species in Yazd [dissertation]. Yazd: Yazd University; 2018 (in Persian).
 65. Sinha S, Tripathi A, Verma N. Air pollution tolerance index of selected tree species of Doon Valley of Uttarakhand (India). *Indian Forester*. 2017;143(2):149-56.
 66. Pandey AK, Pandey M, Mishra A, Tiwary SM, Tripathi BD. Air pollution tolerance index and anticipated performance index of some plant species for development of urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2015;14(4):866-71.
 67. Enteshari S, Aras Khalaj M, Said Nejad SM, Vaezi J. Comparative study of leaf surface changes and some leaf biochemical factors of *Conocarpus erectus* (L.) and *Syzygium cumini* (L.) Skeels. around the contaminated area of Ahvaz Steel Industries. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 2014;9(34):22-33 (in Persian).

68. Liang J, Fang HL, Zhang TL, Wang XX, Liu YD. Heavy metal in leaves of twelve plant species from seven different areas in Shanghai, China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017;27:390-98.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Bioaccumulation of some heavy metals (Copper, Nickel, and Lead) and air pollution tolerance index of *Prosopis juliflora* and *Conocarpus erectus* species in Mahshahr, Iran

Aram Arpanaei¹, Sina Attarroshan^{2*}, Sima Sabzalipour³, Iman Arpanaei¹

1- Environmental Pollutions, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Department of Environment, Persian Gulf Dust Research Center, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

3- Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 2 December 2020

Revised: 15 February 2021

Accepted: 20 February 2021

Published: 17 March 2021

Keywords: Bioaccumulation, Heavy metals, *Prosopis juliflora*, *Conocarpus erectus*, Mahshahr

*Corresponding Author:

Sina_2934@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: Pollutants emitted from industries can endanger human health if they enter the food chain, so environmental monitoring is essential. The aim of this study was to investigate the bioaccumulation of heavy metals including lead, copper and nickel and the level of air pollution tolerance index in *Prosopis juliflora* and *Conocarpus erectus* tree species during one-year period (1399-1400) in Mahshahr city.

Materials and Methods: In order to investigate the bioaccumulation of heavy metals by two species of *Prosopis juliflora* and *Conocarpus erectus*, 15 stations were selected separately. After recording the coordinates of each tree (station), 4 leaves were taken from each tree that accounted for total 60 samples. The samples were then transferred to the laboratory and digested then analyzed using atomic absorption spectrometer. For statistical analysis, K.S test was used to normalize data and independent t-tests were applied to determine the level of significance. The correlation between variables were tested by Pearson correlation. Spatial distribution of heavy metals was performed using Ver.10.4 Arc GIS software.

Results: *Conocarpus erectus* established the highest adsorption value for metals such as lead (0.1223 ± 0.35 mg/kg), copper (0.2101 ± 0.053 mg/kg) and nickel (0.2023 ± 0.094 mg/kg). No significant correlation was observed between heavy metals. Evaluation of air pollution tolerance showed that *Conocarpus erectus* (6.53 ± 0.026 mg/kg) was more tolerant than *Prosopis juliflora* (4.77 ± 0.029 mg/kg). Spatial distribution revealed that heavy metals accumulation in the leaves of trees were more obvious in the southeast area of the city.

Conclusion: *Conocarpus erectus* is more tolerant of air pollution than *Prosopis juliflora*. Therefore, it can be used in areas with the high levels of pollution. Moreover, the spatial distribution of heavy metals' bioaccumulation illustrated that the south and southeast parts of the city (due to *industry concentration*) are more affected by the heavy metals pollution which call for more planting trees.

Please cite this article as: Arpanaei A, Attarroshan S, Sabzalipour S, Arpanaei I. Bioaccumulation of some heavy metals (Copper, Nickel, and Lead) and air pollution tolerance index of *Prosopis juliflora* and *Conocarpus erectus* species in Mahshahr, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2021;13(4):747-66.

