

## ارزیابی سطوح آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های برگ، خاک و غبار درختچه‌های کهور ایرانی بندرعباس

سامان ملکی<sup>۱</sup>، حسن جمس<sup>۲\*</sup>، ثریا دریکوند<sup>۳</sup> و ابوذر نصیری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (sam.maleki2017@hotmail.com)

۲- دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (jems\_hasan2010@yahoo.com)

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (soraya.derikvand.1369@gmail.com)

۴- استادیار، دانشکده جغرافیا، مرکز آموزش عالی فیروزآباد، شیراز، ایران. (abuzarnasiri@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

### چکیده

در این پژوهش از درختچه‌های کهور ایرانی *Prosopis cineraria* (L.) Druce در ارزیابی آلودگی اکوسیستم‌های محیطی بندرعباس استفاده شد. در دست‌یابی به این رهیافت، جامعه آزمایش شامل اکوسیستم‌های دشت تازیان، باغ پرندگان، روستای تل‌سیاه و گچین و ناحیه‌ای صنعتی است. از هر جامعه، ۲۰ درختچه کهور در نظر گرفته شد. متغیرهای آزمایش شامل فلزات سنگین در نمونه‌های برگ، خاک بستر و غبارهای صنعتی رسوب‌کرده بر روی برگ بود. به‌منظور ارزیابی سطح آلودگی و ظرفیت درختچه‌های کهور در انباشت فلزات، از شاخص‌های  $CF I_{geo}$ ، MAI، BCF، PLI و  $mPELq$  استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت Zn، Pb و Cd در برگ، خاک و غبارهای صنعتی از حد استاندارد بیشتر است. بیشترین غلظت فلزات در نمونه‌های خاک بستر بود. بیشترین مقدار آلودگی فلزات سنگین در روستای تل‌سیاه، گچین، دشت تازیان و باغ پرندگان بود که به ترتیب کمترین و بیشترین فاصله را از صنایع غرب بندرعباس دارند. شاخص PLI نشان داد که اکوسیستم‌های بندرعباس بار آلودگی دارند. شاخص تجمع زیستی (BCF) نشان داد که درختچه‌های کهور انباشتگر متوسط آلودگی هستند. ضریب انتقال آلودگی از خاک به گیاه در بین اکوسیستم‌های بندرعباس بین ۰/۲۳ تا ۰/۶۵ است. می‌توان نتیجه گرفت که اراضی نزدیک به صنایع غرب بندرعباس دارای بار آلودگی شدید هستند، اما درختچه‌های کهور ایرانی قابلیت تجمع و حذف آلاینده‌های صنعتی از اکوسیستم‌های محیطی بندرعباس را دارند و می‌تواند به‌عنوان یک روش گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: کهور، بندرعباس، آلودگی، تجمع زیستی، گیاه‌پالایی

## مقدمه

اختلال غدد و اثرها ایمنی و عصبی شود. غلظت بالای فلزات سنگین می‌تواند بر رشد و عملکرد بسیاری از محصولات تأثیر بگذارد (ALHaithloul et al., 2022)؛ به‌گونه‌ای که روی و کادمیوم فعالیت متابولیک گیاه را کاهش داده و موجب آسیب اکسیداتیو می‌شوند. مس سبب ایجاد استرس اکسیداتیو و گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود. جیوه می‌تواند موجب آسیب‌دیدگی و اختلالات فیزیولوژیکی شود (Zavitsanou and Drigas, 2021). کروم بر فتوسنتز، انتقال الکترون، فتوسفوریلاسیون و فعالیت‌های آنزیمی تأثیر می‌گذارد. سرب سبب مورفولوژی غیرطبیعی گیاه می‌شود (Luo et al., 2021). نیکل تعادل مواد مغذی را تخریب کرده و در نتیجه عملکرد غشای سلولی را مختل می‌سازد. آهن موجب تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود که به‌طور غیر قابل برگشتی ساختار سلولی را مختل می‌کند و به غشاء، DNA و پروتئین‌ها آسیب می‌رساند و موجب نکروز و پژمردگی برگ و به‌دنبال آن تغییر رنگ ریشه و تأخیر در رشد اندام هوایی می‌شود (Abbas et al., 2021). استفاده از گیاهان برای حذف آلاینده‌ها از محیط‌زیست و یا بی‌خطر کردن آن‌ها به‌عنوان گیاه‌پالایی شناخته می‌شود که یک روش سازگار با محیط‌زیست بوده تا خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را پالایش کند، به‌طوری که در کمربند جاده‌ای پولیسیا در اوکراین، درختان جنگلی فلزات سنگین ناشی از رسوب غبار جاده‌ای و ذرات خروجی از آگزوز خودروها را جذب کرده و مانع از انتشار آن در اکوسیستم منطقه می‌شود (Maksimtsev et al., 2021). در نواحی مجاور کارخانه سیمان ایلام، درختان پهن‌برگ به‌ویژه گونه‌های بلوط، عرعر و اکالیپتوس قابلیت جذب فلزات سنگین زیادی دارند. در هندوستان از درختان غیرمثمر و مثمر برای ارزیابی فلزات سنگین استفاده شد، نتایج نشان داد که برگ و میوه‌ی درختان آکاسیا یک انباشتگر زیستی

آلودگی هوا یکی از مخاطرات جوی بوده که بر محیط‌زیست اثر می‌گذارد (Lin et al., 2022). آلودگی هوا در شرایطی اتفاق می‌افتد که گازهای سمی و ذرات جامد از طریق منابع نقطه‌ای مانند دودکش صنایع و آگزوز خودروها و منابع حجمی شامل انبار مواد معدنی-فلزی، بارگیری و تخلیه صنایع فلزی و معدنی و ریزگردهای بیابان‌ها وارد اتمسفر می‌شوند (Zhang, 2020). ذرات جامدی که از منابع نقطه‌ای و حجمی انتشار می‌یابد، نقش مهمی در تخریب محیط‌زیست دارد؛ به‌گونه‌ای که ورود آن به سیستم تنفسی انسان، حیوان و گیاهان، فعل و انفعالات بیوشیمیایی را دچار اختلال کرده و موجب بروز بیماری می‌شود (Buzea et al., 2007). از طرف دیگر، ذرات جامد آغشته به فلزات سنگین هستند که بسیار سمی بوده و ورود آن به سیستم فیزیولوژیکی موجودات زنده که اغلب از طریق گیاه به زنجیره غذایی و فیزیولوژیکی دیگر موجودات وارد می‌شود، سلامت زیستی آن‌ها را با خطر مواجه می‌سازد (Sardar et al., 2013). فلزات سنگین در محیط می‌توانند از فعالیت‌های طبیعی و انسانی منشأ بگیرند. اصلی‌ترین منبع آن‌ها، نواحی صنعتی است که با انتشار آلاینده‌های هوا و همچنین تولید فاضلاب، موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط می‌شود. گیاهان فلزات سنگین را بیشتر از طریق ریشه و تا حدی از طریق برگ جذب می‌کنند (Hasnvand et al, 2017). جذب برگ می‌تواند از طریق روزنه، ترک‌های کوتیکولی و منافذ آبی رخ دهد. جذب فلزات سنگین ممکن است منجر به تجمع آن‌ها در سبزیجات و درختان میوه و در نتیجه ورود آن‌ها به زنجیره غذایی شود (Upadhyay, 2022) که یکی از مسیرهای اصلی قرارگیری انسان در معرض آلودگی است که می‌تواند منجر به عقب‌ماندگی، شیوع سرطان، بیماری کلیوی،

صبا فولاد خلیج فارس، آلومینیوم المهدی، پالایشگاه نفت بندرعباس، پالایشگاه نفت ستاره، شهرک صنعتی خلیج فارس، نیروگاه برق حرارتی و اسکله شهیدرجایی واقع شده است و همراه معادن نمک، آهک و... موجب انتشار غبارهای صنعتی می‌شود که تحت سیطره بادهای غالب منطقه، در هوای محیطی پراکنده می‌شوند. غبارهای صنعتی و معدنی با رسوب بر محیط، موجب افزایش آلودگی اکوسیستم‌های منطقه شده و بر سلامت محیط‌زیست منطقه آسیب می‌رسانند. درختچه‌های کهور ایرانی (*Prosopis cineraria* (L.) (Sabeti, 1998) که قابلیت رشد و ماندگاری بالایی در شرایط تنش‌های محیطی دارد، می‌توانند به‌عنوان یک نشانگر زیستی به- منظور ارزیابی سطح آلودگی اکوسیستم مورد استفاده قرار بگیرند؛ بنابراین، هدف اصلی از تحقیق حاضر، بررسی و ارزیابی سطح آلودگی مربوط به فلزات سنگین در اکوسیستم‌های محیطی بندرعباس است که با اندازه-گیری غلظت فلزات سنگین در غبارهای رسوب کرده بر سطح برگ، بافت برگ و خاک درختچه‌های کهور ایرانی و ارزیابی آن با شاخص‌های آلودگی انجام شد.

## مواد و روش

### جامعه آزمایش

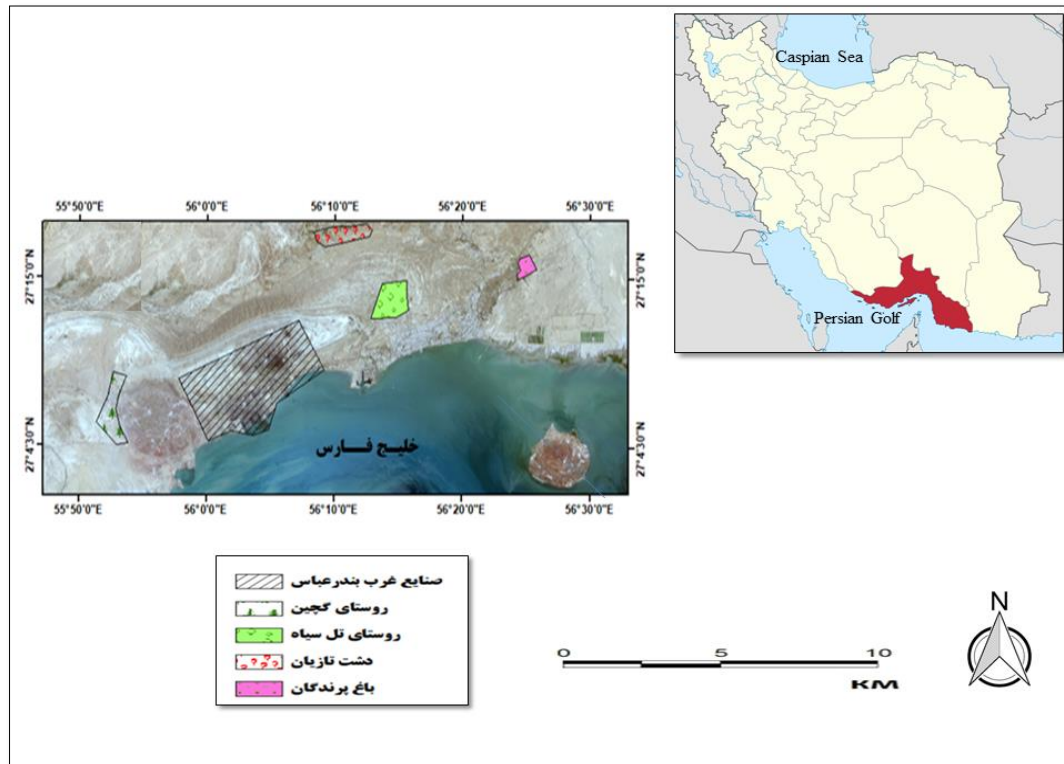
در راستای دستیابی به اهداف پژوهش مبنی بر ارزیابی غلظت فلزات سنگین در درختچه‌های کهور ایرانی در نواحی خشک بندرعباس، ابتدا مکان و جامعه آزمایش مشخص شد. مکان مورد آزمایش در چهار منطقه در بندرعباس در فصل بهار و تابستان ۱۴۰۰ انجام شد. در این پژوهش، جامعه آزمایش شامل چهار پهنه از اراضی مرتعی- درختچه‌ای بندرعباس شامل تل‌سیاه، گچین پایین، دشت تازیان و باغ پرندگان با فاصله‌های مختلف از صنایع غرب بندرعباس است (شکل ۱). گونه درختی مورد بررسی، درختچه‌های کهور ایرانی است که با

فلزات سنگین است (Maiti et al., 2015). در نواحی خشک و بیابانی مکزیک، درختان کهور توسط فلز آرسنیک آلوده شده و غلظت آن در برگ گیاهان به حداکثر می‌رسد. اگرچه این درختان به فلز آرسنیک مقاوم هستند، اما با توجه به این که برگ و میوه‌های این درخت یکی از منابع خوراکی دام‌ها به‌ویژه بزهای این منطقه است، می‌تواند خطر زیستی بالایی برای اکوسیستم و موجودات زنده داشته باشد. درختچه‌های کهور در مناطقی که مصرف خوراکی برای دام نباشد، می‌تواند به‌عنوان نشانگرهای زیستی مورد استفاده قرار بگیرند که در مکزیک از این درخت استفاده شد و نتایج نشان داد که غلظت ۶ برابر کادمیوم نسبت به حد استاندارد آن، ناشی از غبارهای صنعتی است و همچنین غلظت بالای سرب ناشی از کشاورزی و تردد خودروها است (Jáuregui et al., 2018). نتایج کشت آزمایشگاهی بذر کهور نشان داد که در مراحل اولیه رشد گیاه، غلظت بالای کادمیوم و کروم موجب کوچک شدن برگ گیاه می‌شود و بیشترین تجمع این فلزات در برگ این گیاه مشاهده شد؛ اما پس از رشد و مرحله بلوغ، گیاه سازگاری بالایی در برابر کادمیوم و کروم نشان داد (Buendía-González et al., 2010). گیاه کهور در طی یک سال با شرایط آلودگی محیط سازگار شده و فلزات سنگین را از بستر گرفته و در برگ خود انباشته می‌کند و می‌تواند به‌عنوان یک راهکار تصفیه گیاهی مورد استفاده قرار بگیرد (Muro-González et al., 2020). درختان کهور با ریشه‌های طویل و قدرتمندی که دارد، قابلیت جذب فلزات سنگین را از محیط داشته و پژوهشگران از آن به‌عنوان نشانگرهای زیستی برای فلزات سنگین و همچنین گیاه‌پالایی استفاده می‌کنند (Keeran et al., 2019).

شهرستان بندرعباس قطب صنایع فلزی- معدنی است که در آن صنایعی مانند مجتمع فولاد هرمزگان،

جمهوری ایران، ۲) بافت گیاهی (برگ) درختچه‌های کهور و ۳) خاک بستر رویشگاه درختچه‌های کهور ایرانی است.

توجه به مرور منابع در این زمینه تعداد ۲۰ درختچه در هر پهنه انتخاب شد. این گونه به صورت طبیعی در هر چهار پهنه حضور داشت. متغیرهای پژوهش شامل ۱) غبارهای جوی رسوب کرده بر سطح برگ درختچه‌های



شکل ۱- منطقه جغرافیایی منطقه مورد بررسی

Figure 1. The geographical location of study area

پایین، دشت تازیان و باغ پرندگان) که تعداد ۲۰ درختچه کهور ایرانی در نظر گرفته شده بود، تعداد ۱۰۰ نمونه برای غبار، ۱۰۰ نمونه برای برگ و ۱۰۰ نمونه برای خاک برداشته شد. این نمونه‌برداری‌های ۱۰۰ تایی برای هر مکان انجام شد.

#### اندازه‌گیری فلزات سنگین

در آزمایشگاه بعد از شستشوی برگ به منظور ثابت شدن وزن آن، برگ به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و خشک شد. پس از خشک شدن، نمونه‌ها آسیاب شده و مقدار ۰/۵ گرم از پودر وزن شده و در کوره به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۰۰

#### نمونه‌برداری

برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین شامل کادمیوم (Cd)، منگنز (Mn)، سرب (Pb)، روی (Zn) و نیکل (Ni) در متغیرهای پژوهش (غبار، برگ و خاک) از هر درختچه پنج نمونه غبار، برگ و خاک برداشته شد و به آزمایشگاه محیط‌زیست بندرعباس انتقال داده شد. نمونه‌های غبار از روی برگ با برس برداشته شد و پس از خشک کردن آن در هیتر، برای اندازه‌گیری فلزات سنگین آماده شد. نمونه‌های خاک بستر از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری برداشته شد (Liu et al, 2014). بنابراین برای هر پهنه در مکان‌های موردنظر (تل سیاه، گچین

توجه به نسبت غلظت هر فلز سنگین در نمونه مورد بررسی به غلظت زمینه‌ای آن فلز در پوسته زمین محاسبه می‌کند:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 B_n) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن،  $I_{geo}$  معرف شاخص زمین‌انباشتگی،  $C_n$  غلظت اندازه‌گیری شده فلز سنگین در نمونه و  $B_n$  غلظت زمینه‌ای همان فلز سنگین در پوسته زمین است. ضریب ۱/۵ نیز برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظت‌های زمینه‌ای ناشی از فعالیت‌های زمین‌شناسی اعمال می‌شود. بر اساس این شاخص، خاک‌ها در ۷ گروه مختلف به صورت زیر طبقه‌بندی شد:

$I_{geo} < 0$  (غیر آلوده)،  $0 < I_{geo} < 1$  (غیر آلوده تا کمی آلوده)،  $1 < I_{geo} < 2$  (کمی آلوده)،  $2 < I_{geo} < 3$  (کمی آلوده تا بسیار آلوده)،  $3 < I_{geo} < 4$  (بسیار آلوده)،  $4 < I_{geo} < 5$  (بسیار آلوده تا به شدت آلوده) و بزرگ‌تر از ۵ (به شدت آلوده).

#### - شاخص عامل آلودگی (CF)

اصولاً مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می‌توانند توصیفی از آلودگی مربوط به عنصر سنگین مورد بررسی و آلودگی محیط (خاک بستر درختچه‌های کهور ایرانی) را ارائه دهند، ضریب آلودگی از تقسیم کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه به دست می‌آید (جدول ۱). ضریب آلودگی هاکنسون از رابطه زیر به دست می‌آید (Hakanson, 1980):

$$CF = C_i / C_n \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه،  $C_i$  غلظت عنصر در نمونه و  $C_n$  غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شیل) است.

درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. پس از خارج کردن نمونه‌ها از کوره، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک به نمونه‌ها اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس اسید نیتریک به آن اضافه شده و به مدت یک ساعت به آن گرما داده شد تا نمونه تبخیر شده و مواد آلی آن هضم شود. در نهایت، پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک شش مولار و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شده و مجدداً مخلوط به دست آمده در حمام گرم با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد گرما داده شد. مخلوط سرد شده و با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ فیلتر شد و سپس نمونه‌ها در بالن‌های ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شده و با آب دی‌یونیزه به حجم رسانده شد. فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم و با استفاده از دستگاه جذب اتمی ارزیابی شد. برای بررسی و تجزیه و تحلیل آماری غلظت هر یک از فلزات سنگین، ابتدا از آزمون شاپیرو-ویلک برای نرمال بودن داده‌ها (غلظت هر فلز در غبار روی برگ، بافت برگ و خاک بستر در مکان‌های آزمایش) استفاده شد و پس از نرمال بودن داده‌ها از آزمون‌های پارامتریک تحلیل واریانس برای مقایسه غلظت فلزات سنگین استفاده شد. سپس برای شناسایی اختلاف میانگین فلزات سنگین از آزمون مقایسه میانگین توکی استفاده شد.

#### ارزیابی آلودگی

##### - شاخص زمین‌انباشت ( $I_{geo}$ )

به منظور ارزیابی و تعیین سطح آلودگی غبارهای جوی و خاک بستر درختچه‌های کهور ایرانی از شاخص زمین‌انباشتگی ( $I_{geo}$ ) استفاده شد. شاخص زمین‌انباشتگی بر طبق رابطه ۱ آلودگی به فلزات سنگین را با

جدول ۱- رده بندی ضریب آلودگی (CF) رسوبات

Table 1. Sediment pollution coefficient (CF) classification

ضریب آلودگی رسوب Sediment pollution coefficient	ضریب آلودگی CF Pollution coefficient CF
آلودگی پایین Low pollution	کوچکتر از ۱ Less than one
آلودگی متوسط Moderate pollution	1-3
آلودگی قابل توجه Significant pollution	3-6
آلودگی بسیار بالا Very high pollution	بزرگتر مساوی ۶ Greater/equal to 6

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

#### - شاخص تجمع فلز (MAI)

از آنجایی که گیاهان قادرند به طور همزمان چندین فلز را در خود انباشته کنند، شاخص تجمع فلز (MAI) برای بررسی مقدار انباشت همزمان فلزات گوناگون توسط گونه های گیاهی جامعه آزمایش از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Hu et al., 2014).

$$MAI = (1/N) \times \sum_{j=1}^N I_j \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن، N تعداد فلزات اندازه گیری شده (۵ فلز سنگین در پژوهش حاضر)،  $I_j$  برای هر فلز از تقسیم میانگین غلظت در اندام گیاه بر مقدار انحراف معیار آن محاسبه می شود.

#### - شاخص (mPELq)

شاخص میانگین ضریب سطح اثر احتمالی آلودگی (Long et al., 2000) در پژوهش حاضر برای اندازه گیری تأثیر بیولوژیکی فلزات سنگین به عنوان یک ماده سمی بر اکوسیستم (درختچه های کهور ایرانی) استفاده شد که از رابطه ۶ محاسبه می شود:

$$mPELq = \frac{\sum_{m=1}^n (\frac{C_m}{PEL_m})}{n} \quad \text{رابطه (۶)}$$

#### - شاخص بار آلودگی (PLI)

این شاخص برای تعیین سطح آلودگی ارائه شده است و می تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار ما قرار دهد. این شاخص از طریق حاصل ضرب شاخص های آلودگی فلزات به صورت فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$PLI = \sqrt[7]{CF_{Cd} \times CF_{Zn} \times CF_{Pb} \times CF_{Cu}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیر آلوده) تا ۱۰ بسیار آلوده تغییر می کند که مقادیر کوچکتر از ۱ نشان دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگتر از ۱ نشان دهنده آلودگی نسبت به فلزات سنگین است (Mohiuddin et al., 2010).

#### - شاخص تجمع زیستی (BCF)

شاخص تجمع زیستی از تقسیم غلظت فلز سنگین در بافت گیاهی (برگ درختچه های کهور ایرانی) به غلظت همان عنصر در خاکی که گیاه در آن مستقر است، به دست می آید. اگر مقدار این شاخص بیشتر از ۱ باشد، نشان دهنده بیش انباشتگر است. اگر بین ۰/۱ تا ۱ باشد بیانگر متوسط انباشتگر و کمتر از ۰/۱ باشد، غیر انباشتگر خواهد بود (Almahasheer, 2019).

$$BCF = C_{Plant\ Tissue} / C_{Soil} \quad \text{رابطه (۴)}$$

کمترین مقدار آن نیز در بافت گیاهی (برگ) درختچه‌های کهور بود. غلظت Zn در برگ، خاک و غبارهای سطح برگ در دشت تازیان که از صنایع و منابع انتشار غبارهای صنعتی فاصله‌ی زیادی دارد، باز هم از متوسط‌های جهانی آن بیشتر است. غلظت Pb در نمونه‌های برگ از غلظت شیل و متوسط پوسته‌ای بیشتر بوده، اما در نمونه‌های خاک و غبارهای جوی غلظت آن علاوه بر غلظت شیل جهانی و متوسط پوسته‌ای، از غلظت زمینه کشور چین نیز بیشتر است، ولی از غلظت زمینه‌ای کمتر است. غلظت Cd در نمونه‌های برگ، خاک بستر و غبارهای جوی رسوب کرده بر اندام هوایی درختچه‌های کهور ایرانی در دشت تازیان از همه غلظت‌های جهانی بیشتر بود. غلظت Mn در برگ، خاک و غبارهای جوی بسیار کمتر از حد متوسط‌های جهانی آن است که نشان می‌دهد، غلظت این آلاینده در دشت تازیان بسیار پایین است. غلظت Ni در برگ درختچه‌های کهور پایین‌تر از متوسط‌های جهانی آن است، اما در خاک بستر و غبارهای رسوب کرده بر اندام درختچه‌های کهور ایرانی در دشت تازیان به جز متوسط غلظت زمینه‌ای شیل، از دیگر متوسط‌های جهانی بیشتر است (جدول ۳).

که در معادله فوق،  $C_m$  غلظت فلز در خاک بستر درختچه‌های کهور ایرانی،  $mPELq$  برای هر فلز  $(Zn = 270, Pb = 110, Cd = 4.2, Cu = 110)$  و  $n$  نیز تعداد کل فلزات اندازه‌گیری شده است. مقدار ضریب اثر سمیت فلزات سنگین در اکوسیستم درختچه‌های کهور ایرانی نیز بر مبنای طبقه‌بندی استاندارد محاسبه شد (Long et al., 2000). درنهایت، ضریب تجمع زیستی فلزات سنگین در خاک بستر و برگ درختچه‌های کهور ایرانی از طریق معادله ضریب انتقال (غلظت فلز در بافت گیاه تقسیم بر غلظت فلز در رسوب) محاسبه شد. بر اساس این معادله، اگر ضریب انتقال بیشتر از ۱ باشد، برای تثبیت فلز سنگین و گیاه‌پالایی مناسب است.

## نتایج

در جدول ۲، متوسط غلظت‌های فلزات سنگین ارائه شده است و نتایج آماری غلظت فلزات سنگین در پژوهش حاضر با متوسط جهانی آن مقایسه شد. بررسی پارامترهای آماری غلظت فلزات سنگین در دشت تازیان نشان داد بیشترین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک بستر بوده و پس از آن در غبارهای جوی و

جدول ۲- میانگین استاندارد جهانی غلظت فلزات سنگین در محیط‌زیست

Table 2. The global average concentration of heavy metals in the environment

نیکل Ni	منگنز Mn	کادمیوم Cd	سرب Pb	روی Zn	غلظت فلزات سنگین Heavy metal concentration
(mg/kg) میلی‌گرم در کیلوگرم					
40.7	628.4	0.25	57.8	91.8	غلظت زمینه Base concentration
26.9	-	0.097	26	74.2	غلظت زمینه کشور چین Base concentration of China
68	850	0.3	20	95	غلظت زمینه در شیل جهانی Base concentration in global shale
20	600	0.098	20	71	متوسط پوسته‌ای عناصر Average crustal elements

جدول ۳- بررسی آماری غلظت فلزات سنگین در برگ، خاک و غبار روی درختچه‌های کهور در دشت تازیان

Table 3. Statistical analysis of heavy metal concentration in leaves, soil and dust on *Prosopis cineraria* shrubs in Tazian

نمونه‌های غبار Dust samples					نمونه‌های خاک Soil samples					نمونه‌های برگ Leaf samples					مشخصه Parameter
Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	
61	1.2	521	31.5	286	44	2.3	542	44.7	386	18	0.53	222	22	248	میانگین Mean
6	0.6	10	3	22	7	0.4	12	3	11	6	0.2	36	3	12	انحراف معیار SD
41	0.38	120	11	484	61	0.18	163	11	16	38	0.06	131	9	148	واریانس Variance
0.44*	0.12*	0.29*	0.38*	0.5*	0.8*	0.25*	0.13*	0.7*	0.2*	0.6*	0.09*	0.*	0.2*	0.6*	شاپیرو-ویلک Shapiro-Wilk

\* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ و ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

\*Significant difference at 0.001 levels and ns shows no significant difference.

متوسط‌های جهانی بیشتر است. در نمونه‌های خاک بستر نیز از غلظت شیل جهانی کمتر بوده، ولی از دیگر متوسط‌ها بیشتر است (جدول ۴).

در روستای گچین بیشترین غلظت فلزات سنگین همسان با دیگر مکان‌های آزمایش، به ترتیب در خاک بستر، غبارهای جوی و برگ درختچه‌های کهور است. غلظت Zn در برگ، خاک و غبارهای سطح برگ در گچین از متوسط‌های جهانی آن بسیار بیشتر است که بیانگر آلودگی فلز روی در اکوسیستم‌های این منطقه است. غلظت Pb در نمونه‌های برگ از غلظت شیل و متوسط پوسته‌ای بیشتر بوده، اما در نمونه‌های خاک به-جز غلظت زمینه، از دیگر متوسط‌های جهانی بیشتر است. در غبارهای جوی از غلظت‌های متوسط جهانی بیشتر است. غلظت Cd در نمونه‌های برگ، خاک بستر و غبارهای جوی رسوب کرده بر اندام هوایی درختچه‌های کهور ایرانی در اکوسیستم‌های محیطی روستای تل‌سیاه از همه غلظت‌های جهانی بیشتر بوده و بیانگر غلظت بالای این فلز سمی است. غلظت Mn در برگ، خاک و غبارهای جوی کمتر از حد متوسط‌های جهانی آن است که نشان می‌دهد، غلظت این آلاینده در اکوسیستم‌های

بیشترین غلظت فلزات سنگین در تل سیاه نشان داد که غلظت Zn در برگ، خاک و غبارهای سطح برگ از متوسط‌های جهانی آن بسیار بیشتر است که بیانگر آلودگی فلز روی در اکوسیستم‌های این منطقه است. غلظت Pb در نمونه‌های برگ از غلظت شیل و متوسط پوسته‌ای بیشتر بوده، اما در نمونه‌های خاک از تمام متوسط‌های جهانی آن بیشتر است. در غبارهای جوی نیز از متوسط شیل، غلظت زمینه کشور چین و متوسط پوسته‌ای بیشتر بوده و از غلظت زمینه‌ای کمتر است. غلظت Cd در نمونه‌های برگ، خاک بستر و غبارهای جوی رسوب کرده بر اندام هوایی درختچه‌های کهور ایرانی در اکوسیستم‌های محیطی روستای تل‌سیاه از همه غلظت‌های جهانی بیشتر بوده و بیانگر غلظت بالای این فلز سمی است. غلظت Mn در برگ، خاک و غبارهای جوی کمتر از حد متوسط‌های جهانی آن است که نشان می‌دهد، غلظت این آلاینده در روستای تل‌سیاه که حتی در نزدیکی صنایع قرار دارد، بسیار پایین است. غلظت Ni در برگ درختچه‌های کهور فقط از متوسط پوسته‌ای عناصر بیشتر است، اما در غبارهای رسوب‌کرده بر اندام درختچه‌های کهور ایرانی در روستای تل‌سیاه از همه



محیطی گچین بسیار پایین است. غلظت Ni در برگ درختچه‌های کهور فقط از متوسط پوسته‌ای عناصر بیشتر است، اما در غبارهای رسوب کرده بر اندام درختچه‌های کهور ایرانی در گچین شبیه به روستای تل‌سیاه، از همه متوسط‌های جهانی بیشتر است.

نمونه‌های خاک بستر نیز از غلظت شیل جهانی کمتر بوده، ولی از دیگر متوسط‌ها بیشتر است. نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک نشان می‌دهد که غلظت همه فلزات سنگین در نمونه‌برداری‌های برگ، خاک و غبار جوی نرمال است (جدول ۵).

جدول ۴- بررسی آماری غلظت فلزات سنگین در برگ، خاک و غبار روی درختچه‌های کهور در منطقه تل‌سیاه

Table 4. Statistical analysis of heavy metal concentration in leaves, soil and dust on *Prosopis cineraria* shrubs in Tol Siah region

نمونه‌های غبار Dust samples					نمونه‌های خاک Soil samples					نمونه‌های برگ Leaf samples					مشخصه Parameter
Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	
70.8	2.5	543	38	333	60	4	562	61	438	24	1.1	270	26	268	میانگین Mean
7	0.5	15	3	19	5	0.6	12	3	18	0.7	0.4	8	2	12	انحراف معیار SD
60	0.3	243	13	384	31	0.4	149	15	341	3	0.1	66	5	150	واریانس Variance
0.2*	0.9*	0.4*	0.09*	0.11*	0.9*	0.3*	0.9*	0.9*	0.3*	0.2*	0.1*	0.4*	0.3*	0.2*	شاپیرو-ویلک Shapiro-Wilk

\* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ و ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

\*Significant difference at 0.001 levels and ns shows no significant difference.

جدول ۵- بررسی آماری غلظت فلزات سنگین در برگ، خاک و غبار روی درختچه‌های کهور در منطقه گچین

Table 5. Statistical analysis of heavy metal concentration in leaves, soil and dust on *Prosopis cineraria* shrubs in Gachin region

نمونه‌های غبار Dust samples					نمونه‌های خاک Soil samples					نمونه‌های برگ Leaf samples					مشخصه Parameter
Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	
68	1.98	546	66	321	57	3.3	565	55	435	26	0.7	255	25	264	میانگین Mean
6	0.8	13	1	21	4	0.7	13	5	21	3	0.2	9	2	7	انحراف معیار SD
40	0.8	179	3	470	19	0.5	185	26	459	10	0.08	87	6	57	واریانس Variance
0.7*	0.4*	0.06*	0.09*	0.2*	0.5*	0.4*	0.2*	0.2*	0.7*	0.7*	0.1*	0.5*	0.07*	0.4*	شاپیرو-ویلک Shapiro-Wilk

\* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ و ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

\*Significant difference at 0.001 levels and ns shows no significant difference.

است. غلظت Mn در برگ، خاک و غبارهای جوی کمتر از حد متوسط‌های جهانی آن است. غلظت Ni در برگ درختچه‌های کهور از متوسط‌های جهانی کمتر است، اما در غبارهای رسوب کرده بر اندام درختچه‌های کهور ایرانی و در نمونه‌های خاک بستر از غلظت شیل جهانی کمتر بوده، ولی از دیگر متوسط‌ها بیشتر است. نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک نشان می‌دهد که غلظت همه فلزات سنگین در نمونه‌برداری‌های برگ، خاک و غبار جوی نرمال است (جدول ۶).

در اراضی مرتعی اطراف باغ پرندگان که در فاصله زیادی از صنایع بوده و در جاده بندرعباس-میناب قرار دارد، بیشترین غلظت فلزات سنگین همسان با دیگر مکان‌های آزمایش، به ترتیب در خاک بستر، غبارهای جوی و برگ درختچه‌های کهور است. غلظت Zn در برگ، خاک و غبارهای سطح برگ در اکوسیستم‌های محیطی باغ پرندگان از متوسط‌های جهانی آن بسیار بیشتر است. غلظت Cd در نمونه‌های برگ، خاک بستر و غبارهای جوی در باغ پرندگان از همه غلظت‌های جهانی بیشتر بوده و بیان‌گر غلظت بالای این فلز سمی

جدول ۶- بررسی آماری غلظت فلزات سنگین در برگ، خاک و غبار روی درختچه‌های کهور در منطقه باغ پرندگان

Table 6. Statistical analysis of heavy metal concentration in leaves, soil and dust on *Prosopis cineraria* shrubs in Bird Garden region

نمونه‌های غبار Dust samples					نمونه‌های خاک Soil samples					نمونه‌های برگ Leaf samples					مشخصه Parameter
Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	
60	1.9	522	33	318	50	2	541	50	424	13	0.7	210	23	258	میانگین Mean
6	0.4	8	2	23	5	0.4	12	4	15	4	0.3	6	2	10	انحراف معیار SD
36	0.2	80	4	538	27	0.2	151	18	241	16	0.09	38	5	113	واریانس Variance
0.1*	0.7*	0.3*	0.1*	0.1*	0.3*	0.2*	0.07*	0.9*	0.4*	0.9*	0.3*	0.7*	0.07*	0.9*	شاپیرو-ویلک Shapiro-Wilk

\* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ و ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

\*Significant difference at 0.001 levels and ns shows no significant difference

غلظت Zn در روستای تل‌سیاه بوده که با دیگر مکان‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. غلظت Pb در نمونه‌های غبار جوی بین مکان‌ها اختلاف وجود دارد که بیشترین غلظت آن در روستاهای تل‌سیاه و گچین بود که در یک طبقه بوده و با هم اختلافی ندارد، اما با دشت تازیان و باغ پرندگان اختلاف معنی‌داری دارند. غلظت Mn در بین مکان‌های چهارگانه مورد بررسی اختلاف دارد؛ به-گونه‌ای که در نمونه‌های غبار، برگ و خاک بستر شرایط

برای بررسی اختلاف مکانی فلزات سنگین در مکان‌های مورد بررسی، از مقایسه میانگین توکی استفاده شد (جدول ۷). غلظت فلز Zn در غبارهای رسوب کرده بر سطح برگ درختچه‌های کهور ایرانی در تل‌سیاه، گچین پایین و باغ پرندگان در یک طبقه قرار گرفته و اختلاف معنی‌داری ندارند؛ اما در دشت تازیان غلظت آن کمتر از دیگر مکان‌های مورد بررسی بود و اختلاف معنی‌داری با آن‌ها دارد. در نمونه‌های برگ، بیشترین

طوری است که روستای تل‌سیاه و گچین با هم اختلاف نداشته و در طبقه اول قرار دارند و در طبقه دوم باغ پرندگان و دشت تازیان قرار دارد که با هم اختلافی ندارند، اما اختلاف آن‌ها با روستاهای تل‌سیاه و گچین معنی‌دار است. غلظت Cd در نمونه‌های غبار متفاوت بوده و بیشترین آن در تل‌سیاه بوده که با دیگر مکان‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. در طبقه دوم، روستای گچین و باغ پرندگان قرار دارد که با هم اختلاف نداشته، اما با تل‌سیاه و دشت تازیان اختلاف معنی‌داری دارند. در طبقه سوم نیز دشت تازیان قرار دارد که کمترین غلظت Cd را داشته و با دیگر مکان‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. در نمونه‌های برگ، بیشترین غلظت آن در تل‌سیاه بوده

که با دیگر مکان‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. غلظت Ni در نمونه‌های غبار به‌گونه‌ای است که مکان‌ها در دو طبقه قرار گرفته که روستاهای تل‌سیاه و گچین در طبقه اول و دشت تازیان و باغ پرندگان نیز در طبقه دوم بوده و اختلاف معنی‌داری بین طبقات وجود دارد. در نمونه‌های برگ نیز روستاهای تل‌سیاه و گچین با بیشترین مقدار در طبقه اول بوده، دشت تازیان در طبقه دوم و باغ پرندگان با کمترین مقدار در طبقه آخر قرار گرفت و اختلاف بین طبقات معنی‌دار است. در نمونه‌های خاک بستر نیز روستاهای تل‌سیاه و گچین با بیشترین مقدار در طبقه اول بوده، باغ پرندگان در طبقه دوم و دشت تازیان با کمترین مقدار در طبقه سوم قرار گرفت.

جدول ۷- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلزات سنگین بین چهار مکان در جامعه آزمایش

Table 7. The results of a test comparing the average of heavy metals in four different locations

نمونه‌های غبار					نمونه‌های خاک					نمونه‌های برگ					مشخصه
Dust samples					Soil samples					Leaf samples					Parameter
Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	Ni	Cd	Mn	Pb	Zn	
44 <sup>c</sup>	2.3 <sup>c</sup>	542 <sup>b</sup>	44 <sup>d</sup>	386 <sup>b</sup>	18 <sup>b</sup>	0.5 <sup>b</sup>	222 <sup>b</sup>	22 <sup>b</sup>	248 <sup>c</sup>	61 <sup>b</sup>	1.2 <sup>c</sup>	521 <sup>b</sup>	31.5 <sup>b</sup>	286 <sup>b</sup>	دشت تازیان
59 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	562 <sup>a</sup>	60 <sup>a</sup>	438 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>	270 <sup>a</sup>	26.3 <sup>a</sup>	268 <sup>a</sup>	71 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	543 <sup>a</sup>	38.8 <sup>a</sup>	333 <sup>a</sup>	تل سیاه
57 <sup>a</sup>	3.3 <sup>b</sup>	565 <sup>a</sup>	55 <sup>b</sup>	435 <sup>b</sup>	26 <sup>a</sup>	0.7 <sup>b</sup>	255 <sup>a</sup>	25.4 <sup>a</sup>	264 <sup>b</sup>	68 <sup>a</sup>	1.9 <sup>b</sup>	546 <sup>a</sup>	36.5 <sup>a</sup>	321 <sup>a</sup>	گچین
50 <sup>b</sup>	2 <sup>c</sup>	541 <sup>b</sup>	50 <sup>c</sup>	424 <sup>b</sup>	13 <sup>c</sup>	0.7 <sup>b</sup>	210 <sup>b</sup>	23.2 <sup>b</sup>	258 <sup>b</sup>	59 <sup>b</sup>	1.9 <sup>b</sup>	522 <sup>b</sup>	33.5 <sup>b</sup>	318 <sup>a</sup>	باغ پرندگان
															Bird Garden

حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار است ( $P \leq 0.05$ ).

Different letters indicate statistically significant differences ( $P \leq 0.05$ ).

ارزایی آن مشاهده شد، Zn و Pb در سطح آلودگی متوسط هستند، اما Cd آلودگی شدیدی ایجاد می‌کند. Mn و Ni هم غیر آلوده بوده و تأثیری بر اکوسیستم‌های این منطقه نخواهد داشت. در روستای گچین و باغ پرندگان نیز فلزات Mn و Ni غیر آلوده بوده و تأثیری نخواهد داشت. آلودگی Pb نیز بسیار کم است؛ اما Zn و Cd آلودگی متوسط و متوسط تا شدیدی دارند (جدول ۸).

## ارزیابی آلودگی

شاخص زمین‌انباشتگی مولر که برای ارزیابی آلودگی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان داد که در دشت تازیان، فلزات Mn و Ni در اکوسیستم درختچه‌های کهور ایرانی غیر آلوده است؛ اما کادمیوم آلودگی متوسط تا شدید دارد. در روستای تل‌سیاه که بیشترین مقدار غلظت فلزات سنگین در خاک بستر درختچه‌های کهور

جدول ۸- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک درختچه‌های کهور در جامعه آزمایش با شاخص Igeo

Table 8. Assessment of heavy metal contamination in the soil of *Prosopis cineraria* shrubs in the experimental community with the Igeo index

جامعه آزمایش Experiment community	روی Zn	سرب Pb	منگنز Mn	کادمیوم Cd	نیکل Ni
دشت تازیان Tazian	آلودگی متوسط Moderate pollution	غیرآلوده تا آلودگی متوسط Unpolluted to moderate pollution	غیرآلوده Unpolluted	آلودگی متوسط تا شدید Moderate to severe pollution	غیرآلوده Unpolluted
تل سیاه Tol siah	آلودگی متوسط Moderate pollution	آلودگی متوسط Moderate pollution	غیرآلوده Unpolluted	آلودگی شدید Severe pollution	غیرآلوده Unpolluted
گچین Gachin	آلودگی متوسط Moderate pollution	غیرآلوده تا آلودگی متوسط Unpolluted to moderate pollution	غیرآلوده Unpolluted	آلودگی متوسط تا شدید Moderate to severe pollution	غیرآلوده Unpolluted
باغ پرندگان Bird Garden	آلودگی متوسط Moderate pollution	غیرآلوده تا آلودگی متوسط Unpolluted to moderate pollution	غیرآلوده Unpolluted	آلودگی متوسط تا شدید Moderate to severe pollution	غیرآلوده Unpolluted

اکوسیستم‌های مورد بررسی (چهار منطقه از بندرعباس) آلودگی بسیار بالا بوده و خطر زیستی آن زیاد است. ضریب آلودگی Pb نیز در خاک اکوسیستم‌های دشت تازیان، گچین و باغ پرندگان آلودگی متوسط و در روستای تل سیاه آلودگی آن قابل توجه است (جدول ۹).

شاخص ضریب آلودگی خاک (CF) که از تقسیم غلظت عنصر در نمونه خاک بستر درختچه‌های کهور ایرانی بر غلظت زمینه شیل جهانی به دست آمد، نشان داد غلظت Zn در مکان‌های چهارگانه در بندرعباس، آلودگی قابل توجه است. غلظت Mn و Ni آلودگی پایین بوده و بدون خطر است؛ اما ضریب آلودگی Cd در خاک

جدول ۹- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک درختچه‌های کهور در جامعه آزمایش با شاخص CF

Table 9. Assessment of heavy metal contamination in the soil of *Prosopis cineraria* in shrubs the experimental community with the CF index

جامعه آزمایش Experiment community	روی Zn	سرب Pb	منگنز Mn	کادمیوم Cd	نیکل Ni
دشت تازیان Tazian	آلودگی قابل توجه Significant pollution	آلودگی متوسط Moderate pollution	آلودگی پایین Low pollution	آلودگی بسیار بالا Very high pollution	آلودگی پایین Low pollution
تل سیاه Tol siah	آلودگی قابل توجه Significant pollution	آلودگی قابل توجه Significant pollution	آلودگی پایین Low pollution	آلودگی بسیار بالا Very high pollution	آلودگی پایین Low pollution
گچین Gachin	آلودگی قابل توجه Significant pollution	آلودگی متوسط Moderate pollution	آلودگی پایین Low pollution	آلودگی بسیار بالا Very high pollution	آلودگی پایین Low pollution
باغ پرندگان Bird Garden	آلودگی قابل توجه Significant pollution	آلودگی متوسط Moderate pollution	آلودگی پایین Low pollution	آلودگی بسیار بالا Very high pollution	آلودگی پایین Low pollution

تل‌سیاه، باغ پرندگان در رتبه‌های بعدی قرار دارند. دشت تازیان نیز در رتبه آخر قرار دارد. شاخص میانگین ضریب سطح اثر احتمالی آلودگی (mPELq) در پژوهش حاضر برای اندازه‌گیری تأثیر بیولوژیکی فلزات سنگین به‌عنوان یک ماده سمی بر درختچه‌های کهور در اکوسیستم‌های محیطی بندرعباس استفاده شد که نتایج آن نشان داد بیشترین اثر بیولوژیکی فلزات سنگین بر درختچه‌های کهور روستاهای تل‌سیاه و گچین وارد می‌شود (جدول ۱۰).

شاخص بار آلودگی (PLI) که برای تعیین سطح آلودگی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج استفاده از این شاخص نشان داد که بیشترین سطح آلودگی در خاک‌های بستر رویشگاه درختچه‌های کهور در روستای تل‌سیاه، گچین، باغ پرندگان و دشت تازیان بوده که از نظر این شاخص، همه اکوسیستم‌های منطقه در سطح آلوده قرار دارند. شاخص تجمع فلز در اندام گیاه (MAI) نشان داد که بیشترین تجمع فلز در درختچه‌های کهور در روستای گچین بود. پس از آن نیز روستای

جدول ۱۰- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در درختچه‌های کهور در جامعه آزمایش با شاخص‌های آلودگی

Table 10. Assessment of heavy metal pollution in *Prosopis cineraria* shrubs in the experimental community with pollution indicators

mPELq	MAI	PLI	جامعه آزمایش Experiment community
0.85	7.90	1.47 آلوده	دشت تازیان Tazian
1.13	15.4	1.56 آلوده	تل سیاه Tol siah
1.06	17.2	1.53 آلوده	گچین Gachin
0.19	15.2	1.47 آلوده	باغ پرندگان Bird Garden

### بحث

بندرعباس به‌عنوان قطب صنایع فلزی- معدنی، منبع اصلی انتشار ذرات معلق و غبارهای صنعتی منطقه محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که غبارهای صنعتی در بندرعباس حاوی فلزات سنگین است و غلظت روی، کادمیوم و مس در این غبارها از حد استاندارد و میانگین غلظت زمینه‌ای آن بیشتر است. در استان خوزستان، غلظت سرب در ریزگردهای جوی بین ۳۰ تا ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است، اما این پژوهش نشان داد که غلظت سرب در نواحی نزدیک به

شاخص تجمع زیستی (BCF) بیان‌گر انتقال فلزات سنگین از خاک به اندام گیاه و انباشت فلزات سنگین در بافت گیاه است که در این پژوهش، انباشت فلزات سنگین در برگ درختچه‌های کهور ایرانی در مکان‌های آزمایش در بندرعباس، در طبقه انباشتگر متوسط قرار دارد (جدول ۱۱). بیشترین ضریب انتقال که از متوسط غلظت فلز در خاک و اندام گیاه به‌دست می‌آید، مربوط به فلز Zn بوده و پس از آن به ترتیب Pb، Mn، Ni و Cd در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۱۲).

پایین بودن غلظت فلزات سنگین در خوزستان نسبت به هرمزگان، بیابانی بودن ریزگردهای خوزستان است (Habibi et al., 2021)؛ اما غبارهای جوی بندرعباس بیشتر ناشی از صنایع و معادن موجود در منطقه است.

ناحیه صنعتی شامل روستای تل سیاه و گچین ۳۸ و ۶۶ میلی گرم در کیلوگرم است؛ همچنین غلظت کادمیوم در خوزستان بین ۰/۵ تا ۱/۵ میلی گرم در کیلوگرم بوده، اما در بندرعباس بیش از ۱/۷ میلی گرم در کیلوگرم است.

جدول ۱۱- ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در درختچه‌های کهور در جامعه آزمایش با شاخص BCF

Table 11. Assessment of heavy metal contamination in the soil of *Prosopis cineraria* in shrubs the experimental community with the BCF index

جامعه آزمایش Experiment community	روی Zn	سرب Pb	منگنز Mn	کادمیوم Cd	نیکل Ni
دشت تازیان Tazian	0.65, AM	0.49, AM	0.41, AM	0.23, AM	0.42, AM
تل سیاه Tol siah	0.61, AM	0.44, AM	0.48, AM	0.29, AM	0.41, AM
گچین Gachin	0.61, AM	0.44, AM	0.45, AM	0.22, AM	0.45, AM
باغ پرندگان Bird Garden	0.61, AM	0.47, AM	0.45, AM	0.22, AM	0.45, AM

AM: Average accumulator  
متوسط انباشتگر

جدول ۱۲- ضریب انتقال فلزات سنگین در خاک و برگ درختچه‌های کهور در جامعه آزمایش

Table 12. Transfer coefficient of heavy metals in the soil and leaves of *Prosopis cineraria* shrubs in the experimental community

جامعه آزمایش Experiment community	روی Zn	سرب Pb	منگنز Mn	کادمیوم Cd	نیکل Ni
دشت تازیان Tazian	0.65	0.49	0.41	0.23	0.42
تل سیاه Tol siah	0.61	0.44	0.48	0.29	0.41
گچین Gachin	0.61	0.47	0.45	0.22	0.45
باغ پرندگان Bird Garden	0.61	0.47	0.39	0.37	0.26

ایرانی رسوب کرده است، بیشتر از غبارهای موجود در باغ پرندگان (۴۰ کیلومتر فاصله تا ناحیه صنعتی غرب بندرعباس) و دشت تازیان (۴۰ کیلومتر فاصله تا ناحیه صنعتی غرب بندرعباس) باشد. در شهر اهواز نیز فاصله از منابع انتشار غبارهای صنعتی منجر به کاهش غلظت فلزات سنگین در محیط شده است (Karimian et al., 2016). در منطقه شهری و برون‌شهری کرمان نیز غلظت

از طرف دیگر، مقدار نزدیکی به منابع انتشار، تأثیر زیادی در غلظت فلزات سنگین در محیط دارد؛ به گونه‌ای که نتایج این پژوهش نشان داد نزدیکی روستای تل سیاه (کمتر از ۱۰ کیلومتر) و همچنین روستای گچین پایین (کمتر از ۱۵ کیلومتر) به ناحیه صنعتی غرب بندرعباس موجب شده تا غلظت فلزات سنگین در غبارهای صنعتی که بر سطح برگ درختچه‌های کهور

مدتی توسط ریشه‌های گیاهان، جذب شده و با توجه به قدرت تجمع پذیری فلزات سنگین، این عناصر در بافت گیاهی تجمع می‌یابد (Majidi et al, 2016). اگر گیاه مورد نظر جزئی از زنجیره غذایی انسان و حیوان باشد، خطر زیستی آلودگی افزایش می‌یابد. در سبزیجات مصرفی شهر کرج شامل کلم، کاهو، پیاز و اسفناج غلظت فلزات سنگین در برگ بیش از ساقه و ریشه بود و در بین فلزات سنگین، غلظت کروم، منگنز و آهن در تمامی گیاهان بیشتر از حد استاندارد جهانی آن بود (Ronyasi and Parvizimosad, 2016). در بزرگراه پولیسیا اوکراین نیز غلظت کادمیوم، مس و سرب بیش از حد استاندارد آن بوده و ضریب انتقال آن از خاک به ریشه و از ریشه به برگ بسیار زیاد است (Maksimtsev et al., 2021)؛ اما در صورتی که گیاه غیرمثمر بوده و نقش زیادی در زنجیره غذایی نداشته باشد و از طرفی مقاوم به آلودگی باشد، می‌تواند در تثبیت آلودگی و حذف آلاینده‌ها از اکوسیستم‌های محیطی حائز اهمیت باشد. پژوهشگران نشان دادند که بیشترین تجمع فلزات سنگین در ریشه و برگ گیاهان است که می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر زیستی در بررسی‌های آلودگی زیستی مورد استفاده قرار گیرد (Al-Awadhi and Aldhafiri, 2016). گیاهان به‌ویژه گونه‌های درختی برای گیاه‌پالایی به‌منظور حذف آلودگی فلزات سنگین از محیط‌زیست کاربرد زیادی دارد که می‌تواند با جذب فلزات سنگین از خاک و هوای محل، غلظت آلودگی را کاهش دهد و به‌نوعی در حفاظت محیط‌زیست نقش زیادی خواهد داشت. درختچه‌های کهور، بومی نواحی خشک بوده که با ریشه‌های عمیق، منابع معدنی و آب را از خاک جذب کرده و زنده می‌ماند. اندام هوایی این گیاه و میوه آن در زنجیره غذایی انسان نقشی نداشته و می‌تواند در گیاه-پالایی محیط‌زیست از آلودگی مورد استفاده قرار بگیرد

فلزات سنگین تفاوت معنی‌داری داشته که ناشی از توزیع مکانی محل نمونه‌برداری بوده است (Jafari and Khademi, 2013). بنابراین فاصله از نواحی صنعتی سبب کاهش غلظت غبارهای صنعتی و فلزات سنگین در محیط می‌شود.

در این پژوهش از شاخص‌های زمین‌انباشت مولر ( $I_{geo}$ )، عامل آلودگی (CF)، بار آلودگی (PLI)، تجمع زیستی (BCF)، تجمع فلز (MAI) و ضریب سطح اثر احتمالی آلودگی (mPELq)، استفاده شد. شاخص زمین‌انباشت برای فلزات منگنز و نیکل در خاک‌های بندرعباس غیر آلوده بود، اما کادمیوم آلودگی شدیدی داشت. در ناحیه صنعتی شمال شرقی کشور چین که صنعت فولاد در آنجا غالب است، شاخص زمین‌انباشت بیانگر آلودگی شدید برای کادمیوم در خاک است که از صنعت فولاد انتشار می‌یابد (Qing et al., 2015). در ناحیه صنعتی آبشرون در کشور آذربایجان، غلظت فلزات سنگین در خاک با شاخص‌های زمین‌انباشت و عامل آلودگی ارزیابی شد که نتایج نشان داد منابع انسانی دلیل اصلی آلودگی متوسط خاک این منطقه است (Khalilova and Mammadov, 2016). ارزیابی تجمع فلز و تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت گیاهی می‌تواند تحلیل درستی از نقش گیاهان در حذف آلودگی از محیط داشته باشد و پژوهشگران از شاخص‌های BCF و MAI برای نواحی صنعتی و شهری استفاده کرده و نشان دادند که درختان کاج و شاه‌توت قابلیت گیاه‌پالایی و حذف آلودگی از محیط را دارند (Alahabadi and Ehrampoush et al., 2017). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که ارزیابی با شاخص‌های تجمع زیستی و تجمع فلز قابلیت گیاه‌پالایی را داشته و درختچه‌های کهور می‌توانند این نقش را در نواحی خشک به‌خوبی ایفا کنند.

غبارهای صنعتی با رسوب بر سطح خاک، پس از

استفاده شد و نتایج نشان داد که درختچه‌های آکاسیا و کهور، یک انباشتگر زیستی فلزات سنگین است و در جذب فلزات سنگین از خاک نقش مهمی دارد (Maiti et al., 2015). در این پژوهش توانایی درختچه‌های کهور در تجمع فلزات سنگین در مکان‌های مختلفی از ناحیه آلوده بندرعباس با شاخص‌های ارزیابی آلودگی بررسی شد و نتایج نشان داد که درختچه‌های کهور، انباشتگر متوسط فلزات سنگین بوده و می‌تواند در گیاه‌پالایی محیط‌زیست و حذف آلاینده‌ها از اکوسیستم نقش مثبتی داشته باشند.

#### نتیجه‌گیری کلی

با فاصله از ناحیه صنعتی، غلظت فلزات سنگینی که بر محیط رسوب می‌کند، کمتر می‌شود و در این پژوهش، بیشترین غلظت فلزات سنگین در روستای تل‌سیاه و گچین بود که در فاصله‌ی کمتر از ۱۵ کیلومتری ناحیه صنعتی قرار دارند و کمترین آن در اراضی مرتعی اطراف باغ پرندگان در شرق بندرعباس و دشت تازیان بود. غلظت کادمیوم و نیکل در جامعه آزمایش در بندرعباس، کمتر از حد مجاز بوده و محیط غیر آلوده است؛ اما غلظت کادمیوم، روی و سرب بیش از حد مجاز بوده و محیط بسیار آلوده است. با فاصله از صنایع، غلظت کادمیوم و سرب کاهش یافته و تفاوت معنی‌داری با اکوسیستم‌های نزدیک به صنایع دارد. پس می‌توان گفت که کادمیوم، روی و سرب منشأ انسانی (صنعتی) دارند. درختچه‌های کهور با جذب فلزات سنگین در خاک و تجمع عناصر در اندام گیاهی آن که یک انباشتگر متوسط است، نقش زیادی در حذف آلاینده‌ها از اکوسیستم‌های منطقه دارد و می‌تواند در گیاه‌پالایی مفید واقع شود. اما در بندرعباس، متأسفانه گونه مهاجم کهور آمریکایی (کرت دریایی) در میان کهورهای بومی (ایرانی) کاشته شده و به‌علت عمیق بودن ریشه‌های این گونه‌ی مهاجم، سلامت گونه‌های کهور بومی به خطر افتاده است.

(Keeran et al., 2019). در شهر جودپور راجستان هند، غبارهای جوی بر سطح برگ در کمربند سبز شهری رسوب کرده و در آن غلظت فلزات سنگین به‌ویژه سرب و مس از حد مجاز بیشتر بوده، اما با توجه به غیرخوراکی بودن اندام‌های گیاهی این درختان، مشکلی در محیط‌زیست منطقه به‌وجود نیامده و حتی به‌عنوان یک روش گیاه‌پالایی برای این شهر شناخته شده است (Popek et al., 2022). نتایج پژوهشگران در چین نشان داد که کونوکارپوس، عرعر و ارس (Chai et al., 2019)، در مناطق گرمسیری هند گونه 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. برای گونه *Populus nigra* L بالاترین مقدار شاخص تجمع زیستی برای کادمیوم بود (Saba et al., 2015). درختان توس نقره‌ای (*Betula pendula*) بیشترین تجمع را برای روی و سرب دارند که در جنوب لهستان برای پالایش زیستی هوای شهری، این گونه گیاهی توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است. در نواحی مجاور کارخانه سیمان ایلام، درختان پهن‌برگ به‌ویژه گونه‌های بلوط، عرعر و اکالیپتوس قابلیت جذب فلزات سنگین زیادی دارند. در نواحی خشک و بیابانی مکزیک، درختان آکاسیا توسط فلز آرسنیک آلوده شده و غلظت آن در برگ گیاهان به حداکثر می‌رسد. درختچه‌های کهور در مناطقی که مصرف خوراکی برای دام نباشد، می‌تواند به‌عنوان نشانگرهای زیستی مورد استفاده قرار بگیرند که در مکزیک (Jáuregui et al., 2018)، محیط کشت آزمایشگاهی (Buendía-González et al., 2010) و پسماندهای صنعتی (Muro-González et al., 2020) درختچه‌های کهور سازگاری بالایی در برابر آرسنیک، کادمیوم و کروم دارند. در هندوستان از درختان غیرمثمر و مثمر برای ارزیابی فلزات سنگین



اکوسیستم منطقه بندرعباس، از آلودگی محیط‌زیست نیز جلوگیری کرده و در راستای حفاظت محیط‌زیست گام برداشت.

درحالی که نتایج این پژوهش نشان داد که کهور ایرانی قابلیت جذب فلزات سنگین و حذف آن از محیط را دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود با گسترش کهورهای ایرانی و حذف گونه مهاجم آمریکایی، علاوه بر احیای

## References

- Abbas, S.; Javed, M. T.; Ali, Q.; Azeem, M.; Ali, S., Nutrient Deficiency Stress and Relation with Plant Growth and Development. In *Engineering Tolerance in Crop Plants Against Abiotic Stress*, CRC Press: 2021; pp 239-262.
- Alahabadi, A.; Ehrampoush, M. H.; Miri, M.; Aval, H. E.; Yousefzadeh, S.; Ghaffari, H. R.; Ahmadi, E.; Talebi, P.; Fathabadi, Z. A.; Babai, F., A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from soil and ambient air. *Chemosphere* **2017**, *172*, 459-467.
- Al-Awadhi, J. M.; Aldhafiri, B. T., Heavy metal concentrations in roadside-deposited sediments in Kuwait city. *Arabian Journal of Geosciences* **2016**, *9* (8), 1-14.
- Alexandrino, K.; Viteri, F.; Rybarczyk, Y.; Andino, J. E. G.; Zalakeviciute, R., Biomonitoring of metal levels in urban areas with different vehicular traffic intensity by using *Araucaria heterophylla* needles. *Ecological Indicators* **2020**, *117*, 106701.
- ALHaithloul, H. A. S.; Khan, M. I.; Musa, A.; Ghoneim, M. M.; ALrashidi, A. A.; Khan, I.; Azab, E.; Gobouri, A. A.; Sofy, M. R.; El-Sherbiny, M.; Soliman, M. H., Phytotoxic effects of *Acacia saligna* dry leachates on germination, seedling growth, photosynthetic performance, and gene expression of economically important crops. *Plant Biology* **2022**, *10*, e13623.
- Almahasheer, H., High levels of heavy metals in Western Arabian Gulf mangrove soils. *Molecular biology reports* **2019**, *46* (2), 1585-1592.
- Buendía-González, L.; Orozco-Villafuerte, J.; Cruz-Sosa, F.; Barrera-Díaz, C.; Vernon-Carter, E., *Prosopis laevigata* a potential chromium (VI) and cadmium (II) hyperaccumulator desert plant. *Bioresource Technology* **2010**, *101* (15), 5862-5867.
- Buzea, C.; Pacheco, I. I.; Robbie, K., Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases* **2007**, *2* (4), 17-71.
- Chai, M.; Li, R.; Ding, H.; Zan, Q., Occurrence and contamination of heavy metals in urban mangroves: A case study in Shenzhen, China. *Chemosphere* **2019**, *219*, 165-173.
- Habibi, S. Behrouzi M. Nohegar, A. Evaluation of heavy metals from desert dust in rangeland ecosystems of Khuzestan province. *Environmental Erosion Research Journal*. **2021**, *11* (1), 75-95. (In Persian)
- Hakanson, L., An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research* **1980**, *14* (8), 975-1001.
- Hasanvand, H.; Ghasemi Aghbash, F.; Solgi, E.; Pazhohan, I., The distance from road effects on heavy metals accumulation in soil and leaves of Persian oak trees (*Quercus brantii*) in Aleshtar-Khorramabad highway. *Forest Research and Development* **2018**, *4* (1), 29-41. (In Persian)
- Hu, Y.; Wang, D.; Wei, L.; Zhang, X.; Song, B., Bioaccumulation of heavy metals in plant leaves from Yan 'an city of the Loess Plateau, China. *Ecotoxicology and environmental safety* **2014**, *110*, 82-88.
- Jafari, F., and Khademi, H. Spatial and Temporal Distribution of Heavy Metals Concentration in Atmospheric Dust in Kerman City. *Journal of Environmental Studies*, **2013**, *40* (2), 361-373 (In Persian).
- Jáuregui, J. A.; Ortiz, J. C. R.; Montoya, A. H.; Filippini, M. F.; Carretero, E. M.; Flores, P. E. D.; Velázquez, Á. N. R.; Rodríguez-Fuentes, H.; Morales, F. A. B., Heavy metals in atmospheric dust deposited in leaves of *Acacia farnesiana* (Fabaceae) and *Prosopis laevigata* (Fabaceae). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* **2018**, *50* (2), 173-185.
- Karimian, B.; Landi, A.; Hojjati, S.; Ahdian, J., Physicochemical and mineralogical characteristics of dust particles deposited in Ahvaz city. *Iranian Journal of Water and Soil Research* **2016**, *47* (1), 159-173. (In Persian)
- Karmakar, D.; Padhy, P. K., Air pollution tolerance, anticipated performance, and metal

- accumulation indices of plant species for greenbelt development in urban industrial area. *Chemosphere* **2019**, 237, 124522.
- Keeran, N. S.; Balasundaram, U.; Govindan, G.; Parida, A. K., *Prosopis juliflora*: a potential plant for mining of genes for genetic engineering to enhance phytoremediation of metals. In *Transgenic plant technology for remediation of toxic metals and metalloids*, Elsevier: 2019; pp 381-393.
- Khalilova, H.; Mammadov, V., Assessing the anthropogenic impact on heavy metal pollution of soils and sediments in urban areas of Azerbaijan's oil industrial region. *Polish Journal of Environmental Studies* **2016**, 25 (1), 159-166.
- Lin, C.-C.; Chiu, C.-C.; Lee, P.-Y.; Chen, K.-J.; He, C.-X.; Hsu, S.-K.; Cheng, K.-C., The adverse effects of air pollution on the eye: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, 19 (3), 1186.
- Liu, G.; Yu, Y.; Hou, J.; Xue, W.; Liu, X.; Liu, Y.; Wang, W.; Alsaedi, A.; Hayat, T.; Liu, Z., An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory. *Ecological indicators* **2014**, 47, 210-218.
- Long, E. R.; MacDonald, D. D.; Severn, C. G.; Hong, C. B., Classifying probabilities of acute toxicity in marine sediments with empirically derived sediment quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry: an International Journal* **2000**, 19 (10), 2598-2601.
- Luo, C.; Wang, S.; Ning, K.; Chen, Z.; Wang, Y.; Yang, J.; Wang, Q., LsAP2 regulates leaf morphology by inhibiting CIN-like TCP transcription factors and repressing LsKAN2 in lettuce. *Horticulture Research* **2021**, 8, 184.
- Maiti, S. K.; Kumar, A.; Ahirwal, J., Bioaccumulation of metals in timber and edible fruit trees growing on reclaimed coal mine overburden dumps. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* **2015**, 30 (3), 231-244.
- Majidi, T.; Taheri, M.; Aqajanlou, F.; Mousavi, A.; Shojaei, M.; Tokasi, M.; Moradi, P.; Heidari, F., A study on the adsorption of zinc, copper, cadmium and lead elements in leaves of some woody species. *Forest Research and Development* **2016**, 1 (4), 271-284. (In Persian)
- Maksimtsev, S.; Dudarets, S.; Yukhnovskiy, V., Accumulation of heavy metals in soil and litter of roadside plantations in Western Polissia of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica* **2021**, 63 (3), 232-242.
- Mohiuddin, K.; Zakir, H.; Otomo, K.; Sharmin, S.; Shikazono, N., Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science & Technology* **2010**, 7 (1), 17-28.
- Muro-González, D. A.; Mussali-Galante, P.; Valencia-Cuevas, L.; Flores-Trujillo, K.; Tovar-Sánchez, E., Morphological, physiological, and genotoxic effects of heavy metal bioaccumulation in *Prosopis laevigata* reveal its potential for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research* **2020**, 27, 40187-40204.
- Popek, R.; Mahawar, L.; Shekhawat, G. S.; Przybysz, A., Phyto-cleaning of particulate matter from polluted air by woody plant species in the near-desert city of Jodhpur (India) and the role of heme oxygenase in their response to PM stress conditions. *Environmental Science and Pollution Research* **2022**, 29 (46), 70228-70241.
- Qing, X.; Yutong, Z.; Shenggao, L., Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China. *Ecotoxicology and environmental safety* **2015**, 120, 377-385.
- Ronyasi, N.; Moesad, H. P., 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), 171-184. (In Persian)
- Saba, G.; Parizanganeh, A.; Zamani, A.; Saba, J., Phytoremediation of Heavy Metals Contaminated Environments: Screening for Native Accumulator Plants in Zanjan-Iran. *International Journal of Environmental Research* **2015**, 9 (1), 309-316.
- Sabeti, H. *Forests, Trees and Shrubs of Iran*. 5rd edition.; Yazd University Press, 1998; 810 p.
- Sardar, K.; Ali, S.; Hameed, S.; Afzal, S.; Fatima, S.; Shakoor, M. B.; Bharwana, S. A.; Tauqeer, H. M., Heavy metals contamination and what are the impacts on living organisms. *Greener Journal of Environmental management and public safety* **2013**, 2 (4), 172-179.

Upadhyay, R., Heavy metals in our ecosystem. In *Heavy Metals in Plants Physiological to Molecular Approach*, CRC Press: 2022; pp 1-15.

Zavitsanou, A.; Drigas, A., Nutrition in mental and physical health. *Technium Social Science Journal* **2021**, 23, 67-77.

Zhang, B., The effect of aerosols to climate change and society. *Journal of Geoscience and Environment Protection* **2020**, 8 (08), 55-78.

## Evaluation of heavy metal pollution levels in leaves, soil and dust samples of *Prosopis cineraria* Druce (L.) in the Bandar Abbas

S. Maleki<sup>1</sup>, H. Jems<sup>\*2</sup>, S. Derikvand<sup>3</sup> and A. Nasiri<sup>4</sup>

1- Ph.D. Student of Forest Ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (sam.maleki2017@hotmail.com)

2- Ph.D. Student of Climatology, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (jems\_hasan2010@yahoo.com)

3- Ph.D. Student of Climatology, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (soraya.derikvand.1369@gmail.com)

4- Assistant Professor, Department of Geography, Firouzabad Institute of Higher Education, Fars, I. R. Iran. (abuzarnasiri@gmail.com)

Received: 02.09.2022      Accepted: 01.02.2023

### Abstract

*Prosopis cineraria* Druce (L.) was utilized in this study to assess the environmental contamination in Bandar Abbas. The experimental community encompasses the ecosystems of Dasht Tazian, Bird Garden in the east of Bandar Abbas, Tal Siah and Gachin villages in the west of Bandar Abbas, and the industrial region in order to achieve this strategy. Twenty *P. cineraria* shrubs were chosen from each community. Heavy metals Zn, Pb, Cd, Mn, and Ni were tested in leaf samples, substrate soil, and industrial dust deposited on leaves. Following the determination of metal concentrations in the samples, the Igeo, CF, MAI, BCF, PLI, and mPELq indices were used to assess the extent of contamination and the ability of *P. cineraria* shrubs to accumulate metals. The concentrations of Zn, Pb, and Cd in leaves, soil, and industrial dust were found to be greater than the norm. Metal concentrations were higher in the substrate soil samples. The biggest level of heavy metal pollution was found in Tal Siah village, Getchin, Dasht Tazian, and Bird Garden, which are the least and most remote from the industries west of Bandar Abbas. According to the Igeo and CF index, nickel and manganese are unpolluted, however cadmium is a major polluter of ecosystems. The PLI index indicates that Bandar Abbas' ecosystems are contaminated. According to the bioaccumulation index (BCF), mesquite shrubs are intermediate pollution accumulators. The pollutant transfer coefficient from soil to plant in Bandar Abbas habitats ranges between 0.23 and 0.65. It may be inferred that the lands around the factories in Bandar Abbas' west are extremely polluted, but Iranian mesquite shrubs have the potential to accumulate and eliminate industrial pollutants from Bandar Abbas' natural ecosystems and can be employed as a plant technique. Treatment should be applied to safeguard the environment.

**Keywords:** *Prosopis*, Bandar Abbas, Pollution, Bioaccumulation, Phytoremediation.

---

\* Corresponding author

Tel: +989178970396