

بررسی اثر آلودگی هوا بر تجمع فلزات سنگین در گونه‌های گیاهی نواحی خشک و بیابانی (مطالعه موردی: درختان آکاسیا، کهور و گُناَر در کهورستان، استان هرمزگان)

میرداد میردادی: دانشجوی دکتری محیط‌زیست، برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران، ایران

احمد نوحه‌گر*: استاد ژئومورفولوژی، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶)



20.1001.1.22517812.1401.12.2.11.8

چکیده

پژوهش حاضر می‌کوشد به اندازه‌گیری غلظت کادمیوم، منگنز، سرب و روی در برگ گونه‌های درختی آکاسیا، کهور و گُناَر در منطقه کهورستان در شمال غربی بندرعباس بپردازد. برای دستیابی به این رهیافت، آزمایشی در قالب بلوک‌های تصادفی با جامعه آزمایش شصت اصله از سه گونه درختی با سه تیمار در بهار و تابستان ۱۳۹۹ انجام شد: ۱- رسوب ذرات معلق جاده‌ای بر روی برگ و خاک بستر درختان حاشیه جاده، ۲- رسوب ریزگردهای بیابانی بر روی برگ و خاک بستر درختان و ۳- تیمار شاهد که از آلودگی هوا به دور بود. نتایج نشان داد که غلظت سرب، منگنز و کادمیوم در جامعه آزمایش فراتر از حد استاندارد آن در گیاه است. تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین دانکن نشان داد که اختلاف میانگین غلظت روی، سرب، منگنز و کادمیوم در بین تیمارهای آزمایش، در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار و غلظت چهار فلز سنگین در تیمار ذرات معلق جاده‌ای بیش از دیگر تیمارها بود. پس از آن، تیمار ریزگردهای بیابانی قرار داشت که در آن درختان از حاشیه جاده فاصله داشتند، اما ریزگردهای بیابانی بر آنها رسوب کرده بود. غلظت روی در تیمار ذرات معلق جاده‌ای، ریزگردهای بیابانی و شاهد به ترتیب ۳۵۴/۷، ۱۹۵/۲ و ۷۷/۴ میلی گرم در کیلوگرم، غلظت سرب به ترتیب ۵۱/۶۳، ۳۳/۶۱ و ۲۰/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم، غلظت منگنز به ترتیب ۱۴۶/۸۳، ۱۲۸/۱۳ و ۷۲/۴۳ میلی گرم در کیلوگرم و غلظت کادمیوم به ترتیب ۵/۵۰، ۲/۸۵ و ۰/۴۳ میلی گرم در کیلوگرم بود. اختلاف آماری فلزات در برگ گونه‌های درختی، در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار بود و غلظت روی در درختان آکاسیا، گُناَر و کهور به ترتیب ۱۹۸/۹، ۲۰۴ و ۲۲۴/۴ میلی گرم در کیلوگرم، غلظت سرب به ترتیب ۳۲/۷۱، ۳۴ و ۳۸/۶ میلی گرم در کیلوگرم، غلظت منگنز به ترتیب ۱۱۵/۵۶، ۱۱۱/۱۱ و ۱۲۰/۷۱ میلی گرم در کیلوگرم و غلظت کادمیوم به ترتیب ۲/۶۷، ۲/۵۶ و ۳/۵۶ میلی گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. غلظت فلزات سنگین در درختان لبه جاده، بالاتر از حد استاندارد بود و با توجه به اینکه این درختان در زنجیره غذایی دام و انسان قرار دارند، خطر زیستی این درختان زیاد است.

واژگان کلیدی: سرب، ریزگرد، کهور، کهورستان، فلزات سنگین.

۱- مقدمه

آلودگی هوا یکی از مخاطرات جوی است که بر محیط‌زیست مناطق میزبان اثر می‌گذارد (Chakraborty et al, 2011). این آلودگی در شرایطی اتفاق می‌افتد که گازهای سمی و ذرات جامد از طریق منابع نقطه‌ای نظیر دودکش صنایع، آگزوز خودروها و منابع حجمی شامل انبار مواد معدنی - فلزی، محوطه صنایع و بیابان‌ها به اتمسفر وارد می‌شود (Thomson, 1965). ذرات جامد که از طریق منابع نقطه‌ای و حجمی منتشر می‌شود، در تخریب محیط‌زیست نقش مهمی دارد؛ به گونه‌ای که ورود آن به سیستم تنفسی انسان، حیوان و گیاهان، فعل و انفعالات بیوشیمیایی را دچار اختلال می‌کند و به بروز بیماری منجر می‌شود (Buzea et al, 2007). از طرف دیگر، ذرات جامد به فلزات سنگینی آغشته است که بسیار سمی است 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 عناصری با جرم اتمی بیش از ۵۵/۸ گرم در مول است که تجزیه زیستی ندارد و قابلیت تجمع زیستی آنها بسیار بالاست و در مواقعی که غلظت آنها بیش از حد آستانه باشد، سلامت محیط‌زیست را با خطر مسمومیت و آلودگی تهدید می‌کند (Gardea-Torresdey et al, 2005). انتقال و تجمع فلزات سنگین در زنجیره غذایی موجودات زنده به گونه‌ای است که این عناصر پس از انتشار از منابع آلودگی نقطه‌ای و حجمی، بر سطح برگ و خاک بستر گیاه رسوب می‌کند و از طریق ریشه جذب می‌شود. ورود آن به بافت گیاهی و تجمع آن در بخش زیستی گیاهانی که غذای انسان و دام است؛ مانند ریشه، برگ و میوه، زنجیره غذایی موجودات زنده را با خطر آلودگی، مرگ، بروز بیماری و حتی سرطان برای انسان تهدید می‌کند (Appenroth, 2010). گونه‌های درختی نواحی خشک و نیمه-خشک جنوبی ایران نیز عمدتاً آکاسیا، گُزار و کهورهای ایرانی، پاکستانی و آمریکایی، کُرت و سُمُر است که بافت-های برگ و میوه این درختان، غذای دام‌های وحشی و اهلی منطقه است؛ به‌ویژه طی خشکسالی‌های اخیر و حذف مراتع ضعیف بیابانی، منابع غذایی بر جای مانده در این نواحی عمدتاً همین درختان است که در برابر خشکی و کم‌آبی مقاوم بوده است (Askari, 2005). اگر تنش‌هایی رخ دهد که گیاهان این نواحی با آن سازگار نباشد، این احتمال وجود دارد که سلامت زیستی اکوسیستم این گیاهان به خطر بیفتد و زیربخش‌های اکولوژیکی آن از بین برود. وقوع آلودگی هوا از طریق صنایع، معادن، ترافیک جاده‌ای و ریزگردهای بیابانی، تنشی محیطی محسوب می‌شود که مراتع و جنگل‌های ضعیف نواحی جنوبی ایران به‌ویژه استان هرمزگان را دچار معضل کرده است (Toulabi et al, 2012). غلظت آلودگی این منابع، نقطه‌ای و حجمی شدید و آغشته به فلزات سنگین است؛ به گونه‌ای که غبارهای جوی ناشی از صنایع پالایشگاهی، مجتمع‌های معدنی - فلزی، صنعت سیمان و طوفان‌های گرد و خاک بیابانی، فلزات سنگین را به خاک منطقه و زنجیره غذایی موجودات زنده وارد می‌کند و بیماری‌های متعددی در ناحیه بندرعباس به وجود می‌آورد.

گیاهان، فلزات سنگین موجود در جو را به روش‌های مختلفی جذب می‌کنند؛ به گونه‌ای که ریزگردهای بیابانی و غبارهای صنعتی بر اندام هوایی گیاه رسوب می‌کند و جذب می‌شود (Guala et al, 2010). ریزگردها و ذرات جامد خروجی از آگزوز خودروها، بر روی خاک بستر گونه‌های گیاهی رسوب می‌کند، سپس توسط ریشه‌های گیاه، جذب و در بافت‌های گیاهی جمع می‌شود (Kozanecka et al, 2002)؛ در صورتی که غلظت این فلزات در بافت‌های گیاهی از حد آستانه فراتر رود، خطر زیستی آن افزایش می‌یابد. تجمع فلزات سنگین در برگ گونه‌های کلم، اسفناج، پیاز و

کاهو بیش از ساقه و ریشه آنها بوده است (Ronyasi and Parvizi Masaed, 2016). میزان فاصله از صنایعی که به انتشار ذرات غبار منجر می‌شود، بر تجمع فلزات سنگین در نواحی مجاور این صنایع تأثیرگذار است. در اطراف کارخانه سیمان بهبهان، غلظت فلزات سنگین - که از طریق غبار سیمان بر بستر خاک اکالیپتوس و کُئار رسوب کرده بود - زیاد بود، اما افزایش فاصله به کاهش غلظت این فلزات منجر شد (Pourkhbaz and Javanmardi, 2018). ریزگردهای بیابانی که از غرب و جنوب غربی به ایران وارد می‌شود، حاوی فلزاتی سنگین است و پژوهشگران در دزفول (Salahi and Behrouzi, 2020)، خرم‌آباد (Rajabi and Souri, 2015)، استان خوزستان (Beitlfeht et al, 2015)، سنندج (Bashiri Khuzestani and Souri, 2016) و دیگر شهرها نشان دادند که ریزگردها حاوی مس، سرب و کادمیوم است. در شهر جودپور راجستان هند، ریزگردهای بیابانی بر سطح برگ کمر بند سبز شهری رسوب می‌کند و در آن غلظت فلزات سنگین به‌ویژه سرب و مس از حد مجاز بیشتر است، اما با توجه به غیرخوراکی بودن اندام‌های گیاهی این درختان، مشکلی در محیط‌زیست منطقه به‌وجود نیامده و حتی به‌عنوان یک روش گیاه‌پالایی این شهر شناخته شده است (Popek et al, 2021). استفاده از گیاهان برای حذف آلاینده‌ها از محیط‌زیست یا بی‌خطر کردن آنها، به‌عنوان روش گیاه‌پالایی شناخته می‌شود که روشی سازگار با محیط‌زیست است تا خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را پالایش کند (Zayimda, 2018). درختان با ریشه‌های قوی قابلیت بیشتری در گیاه‌پالایی دارند؛ به طوری که در کمر بند جاده‌ای پولیسیا در اوکراین، فلزات سنگین ناشی از رسوب غبار جاده‌ای و ذرات خروجی از اکزوز خودروها را جذب می‌کنند و مانع از انتشار آن در اکوسیستم منطقه می‌شوند (Maksimtsev et al, 2021). در ایران، درختان سوزنی‌برگ در گیاه-پالایی و حذف فلزات سنگین از خاک توانایی بیشتری دارند. در نواحی مجاور کارخانه سیمان ایلام، درختان پهن‌برگ به‌ویژه گونه‌های بلوط، عرعر و اکالیپتوس در جذب فلزات سنگین قابلیت زیادی دارند. در باتلاق حویزه در جنوب عراق، غلظت فلزات سنگین در گیاهان آبی بیش از حد مجاز جهانی آن است که این شرایط باعث شده باتلاق به یک منبع آلودگی تبدیل شود (Al-Abbawy et al, 2021). در نواحی خشک و بیابانی مکزیک، درختان کهور توسط فلز آرسنیک آلوده می‌شوند و غلظت آن در برگ گیاهان به حداکثر می‌رسد. اگرچه این درختان به فلز آرسنیک مقاوم است، با توجه به اینکه برگ و میوه‌های این درخت یکی از منابع خوراکی دام‌ها به‌ویژه بُزهای این منطقه است، می‌تواند برای اکوسیستم و موجودات زنده خطر زیستی بالایی داشته باشد (Armienta et al, 2008). درختان کهور و آکاسیا در مناطقی که به عنوان خوراک دام مصرف نمی‌شود، می‌تواند به‌عنوان نشانگرهای زیستی کاربرد داشته باشد. در مکزیک این شیوه وجود دارد و در پنج نقطه از یک منطقه، از برگ این درختان برای بررسی فلزات سنگین استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت شش برابر کادمیوم نسبت به حد استاندارد آن، ناشی از غبارهای صنعتی و غلظت بالای سرب، ناشی از کشاورزی و تردد خودروها است (Jáuregui et al, 2018).

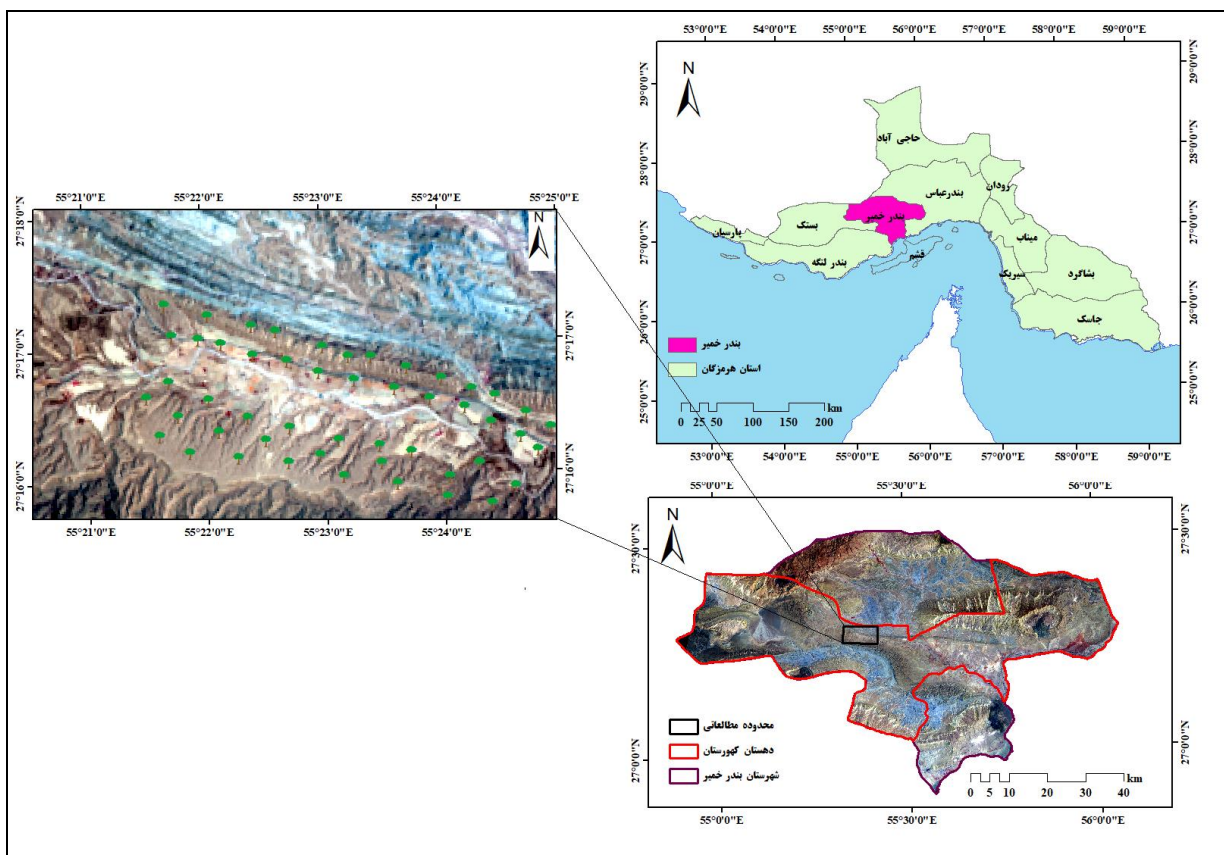
در محیط کشت آزمایشگاهی، بذر کهور کاشته شد و فلزات کروم و کادمیوم با غلظت‌های مختلف به بستر خاک آنها اضافه شد. نتایج نشان داد که در مراحل اولیه رشد گیاه، غلظت بالای کادمیوم و کروم به کوچک شدن برگ گیاه منجر می‌شود و بیشترین تجمع این فلزات در برگ این گیاه است؛ اما پس از رشد و مرحله بلوغ، گیاه سازگاری بالایی را در برابر کادمیوم و کروم نشان می‌دهد. ریشه‌های کهور فلزاتی را که به خاک وارد شده بود، جذب و در اندام خود انباشته کرد (Buendía-González et al, 2010). اگرچه کهور می‌تواند با محیط آلوده سازگار باشد، فلزات موجود در

خاک را جذب کند و در اندام خود نگه دارد و می‌تواند به‌عنوان یک گونه گیاه‌پالایی شناخته شود؛ اگر برگ و میوه آن به‌عنوان خوراک دام استفاده شود، عواقب زیستی خواهد داشت. پسماندهای معادن و صنایع که در یک منطقه تخلیه می‌شود، حاوی فلزات سنگین است و به‌منظور تصفیه منطقه از این فلزات، از کاشت گیاه کهور در این مناطق استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که اگر چه فلزات سنگین بر ارتفاع، اندازه برگ و رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد، گیاه در طی یک‌سال با این شرایط سازگار می‌شود و فلزات سنگین را از بستر می‌گیرد، در برگ خود انباشته می‌کند و می‌توان از آن به‌عنوان یک راهکار تصفیه گیاهی استفاده کرد (Muro-González et al, 2020). در پنج جاده بین‌شهری و منتهی به شهر آناند در هندوستان، غلظت فلزات سنگین ناشی از گرد و غبار جاده‌ای ارزیابی شد و غلظت سرب، نیکل و کادمیوم بیش از حد مجاز بود. پژوهشگران نشان دادند که منبع این فلزات سنگین، انسانی و ناشی از تردد وسایل نقلیه است (Tanushree et al, 2011). در حاشیه جاده‌های منتهی به شهر داکا در بنگلادش، غلظت فلزات سنگین ناشی از غبار جاده‌ای بود و نتایج نشان داد که به‌جز نیکل، غلظت دیگر فلزات سنگین خطر آلودگی بالایی داشت. ریزگردهای صنعتی نیز بر غلظت فلزات سنگین در درختان بی‌ثمر موجود در حاشیه شهر تأثیر گذاشته و باعث شده بود غلظت این فلزات در درختان پهن‌برگ افزایش یابد. غلظت فلزات سنگین به‌دلیل وجود ریزگردهای صنعتی و دود ناشی از وسایل نقلیه، در کمربند سبز جاده‌ای بیش از درختان حاشیه شهر بود و تنها ریزگردهای صنعتی به شکل‌گیری فلزات سنگین در برگ درختان بود (Sultan et al, 2021). در جاده‌های منتهی به شهر نانجینگ در کشور چین، درختان حاشیه جاده غبارهای ناشی از وسایل نقلیه و ریزگردهای صنعتی را جذب می‌کنند و در لطافت بخشیدن به هوای منطقه نقش مهمی دارند. از طرفی با توجه به بی‌ثمر بودن این درختان، جمع شدن فلزات سنگین در آنها نمی‌تواند خطری برای اکوسیستم به همراه داشته باشد (Jia et al, 2021). در هندوستان از درختان بی‌ثمر و ثمر دهنده برای ارزیابی فلزات سنگین استفاده شد و نتایج نشان داد که درختان آکاسیا - که از برگ و میوه آنها برای دام استفاده می‌شود - انباشت‌گر زیستی فلزات سنگین است و اگرچه در جذب این فلزات از خاک نقش مهمی دارد، با توجه به اینکه میوه آن برای مصرف دام کاربرد دارد نمی‌توان از آن برای گیاه‌پالایی استفاده کرد (Maiti et al, 2016). درختان کهور با ریشه‌های دراز و قدرتمندی که دارند، می‌توانند فلزات سنگین را از محیط جذب کنند و پژوهشگران از آن به‌عنوان نشانگرهای زیستی برای فلزات سنگین و گیاه‌پالایی استفاده می‌کنند (Keeran et al, 2019). اگرچه گیاه‌پالایی روشی مناسب برای حذف فلزات سنگین از محیط زیست است، در صورتی که گیاه یکی از منابع تغذیه موجودات زنده باشد گیاه‌پالایی نمی‌تواند روشی مناسب برای حفاظت از محیط‌زیست باشد. در نواحی خشک و نیمه‌خشک استان هرمزگان، اندام‌های گیاهی درختان کهور، آکاسیا و گُنا به‌ویژه برگ و میوه آنها به‌عنوان زنجیره غذایی دام‌های محلی و وحشی منطقه محسوب می‌شود. اگر این گیاهان به فلزات سنگین آلوده باشند و میزان سمی بودن آنها بالا باشد، موجودات زنده را با خطر آلودگی مواجه می‌سازد. از طرفی، میزان آلودگی فلزات سنگین در گیاهان این منطقه شناسایی نشده‌است و کارشناسان نیز اطلاعاتی در این زمینه ندارند تا بتوانند برنامه‌ای برای کنترل آن تدوین کنند. اگر درختان ذکر شده به فلزات سنگین آلوده باشند، مشخص نیست که منابع انتشار آن چیست؛ به‌همین دلیل، پژوهش حاضر می‌کوشد به این سؤال‌ها و مجهول‌های پیش‌رو پاسخ دهد. فرض بر این است که آلودگی هوا به‌ویژه ریزگردهای بیابانی و غبارهای جاده‌ای، عامل

اصلی تجمع فلزات سنگین در درختان است. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، آشکارسازی غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی از طریق غبارهای جوی است که در جنگل‌های طبیعی منطقه کهورستان انجام شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

در راستای دستیابی به اهداف پژوهش مبنی بر شناسایی غلظت فلزات سنگین در گونه‌های درختی نواحی خشک بندرعباس، ابتدا مکان و جامعه آزمایش مشخص شد. این آزمایش در منطقه کهورستان - که در فاصله ۹۰ کیلومتری شمال غربی بندرعباس واقع است - در استان هرمزگان با موقعیت جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی با دامنه ارتفاعی ۲۵۰ تا ۳۲۰ متر از سطح دریا در فصل بهار و تابستان ۱۳۹۹ انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه (استان هرمزگان، شهرستان بندر خمیر، دهستان کهورستان)

۳- مواد و روش

جامعه آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. این جامعه حاوی ۱۸۰ درخت است که شامل جنس‌های درختی آکاسیا (*Acacia*)، کُنار (*Ziziphus*) و کهور (*Prosopis*) می‌باشد. از هر گونه درختی نیز تعداد شصت اصله انتخاب شد و بر روی آنها سه تیمار به شرح زیر در نظر گرفته شد؛ به گونه‌ای که هر تیمار شامل شصت اصله بود که از هر گونه درختی، بیست اصله برای هر تیمار در نظر گرفته شد.

۱- تیمار غبار جاده‌ای و ریزگردهای بیابانی که درختان کهور، کُناَر و آکاسیا در مجاورت جاده ارتباطی بندرعباس - لار قرار دارد و ذرات جامد خروجی از اگزوز خودروها بر روی برگ و بستر خاک گیاه، رسوب و ریشه درختان آن را جذب کرده‌است.

۲- تیمار ریزگرد بیابانی که از جاده بیش از یک کیلومتر فاصله دارد و فقط ریزگردهای بیابانی بر خاک و برگ درختان رسوب می‌کند.

۳- تیمار شاهد که از لحاظ فاصله از جاده، بعد از تیمار ریزگرد بیابانی قرار دارد و درختان در این تیمار در بادپناه کوهستان و دور از مسیر ریزگردهای بیابانی قرار دارند.

هر تیمار حاوی شصت درخت است که بیست اصله آکاسیا، بیست اصله کهور و بیست اصله کُناَر می‌باشد. بنابراین، ۱۸۰ اصله حاوی سه گونه درختی (بلوک) و سه تیمار، جامعه آزمایش را تشکیل می‌دهد.

پس از معرفی جامعه آزمایش و شناسایی تیمارها و گونه‌های درختی، غلظت فلزات سنگین در برگ تیمارهای آزمایش و درختان اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در دو فصل بهار و تابستان - که ریزگردهای بیابانی در آن اتفاق می‌افتد - انجام شد. فصل رشد این درختان از اواسط بهار تا تابستان و فرایند جذب توسط ریشه نیز در این زمان فعال است. این درختان به دلیل مقاوم بودن در برابر شرایط خشکی، کم‌آبی و داشتن ریشه‌های طویل، بدون تقویم آبیاری نیز می‌توانند به رشد خود ادامه دهند و آب موردنیاز خود را از بارش‌های موقتی در طول سال - که اغلب در فصل زمستان و بارش‌های موسمی تابستانه است - تأمین کنند. البته وجود قطرات مه صبحگاهی در زمستان نیز در تأمین آب این درختان نقش دارد.

از هر اصله درخت، پنج برگ نمونه‌برداری شد و پس از نشانه‌گذاری به آزمایشگاه انتقال یافت. در آزمایشگاه نیز غلظت فلزات سنگین در برگ شامل سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، روی (Zn) و منگنز (Mn) اندازه‌گیری شد. در آزمایشگاه بعد از شستشوی برگ، برای ثابت ماندن وزن آن به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و خشک شد. پس از خشک‌شدن، نمونه‌ها آسیاب و مقدار ۰/۵ گرم از پودر وزن شد و به مدت چهار ساعت در دمای پانصد درجه سانتی‌گراد در کوره نگهداری شد. پس از خارج کردن نمونه‌ها از کوره، مقدار ده میلی‌لیتر اسید کلریدریک به نمونه‌ها اضافه شد و به مدت پانزده دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس اسید نیتریک به آن اضافه و به مدت یک ساعت به آن گرما داده شد تا نمونه، تبخیر و مواد آلی آن هضم شود. در نهایت، پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک شش مول و ده میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه شد و مجدداً مخلوط به - دست آمده در حمام گرم با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در برابر گرما قرار گرفت. سپس مخلوط سرد شد، با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ فیلتر و نمونه‌ها در بالن‌های پنجاه میلی‌لیتر قرار گرفت و با آب دی‌یونیزه به حجم رسانده شد. سپس فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم و با استفاده از دستگاه جذب اتمی ارزیابی شد (Ronyasi and Parvizi Masaed, 2016).

پس از اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی مورد مطالعه و تیمارهای مورد استفاده، تحلیل آماری آن با تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها و گونه‌های درختی (بلوک‌ها) با آزمون دانکن انجام و از نرم-افزار SPSS استفاده شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

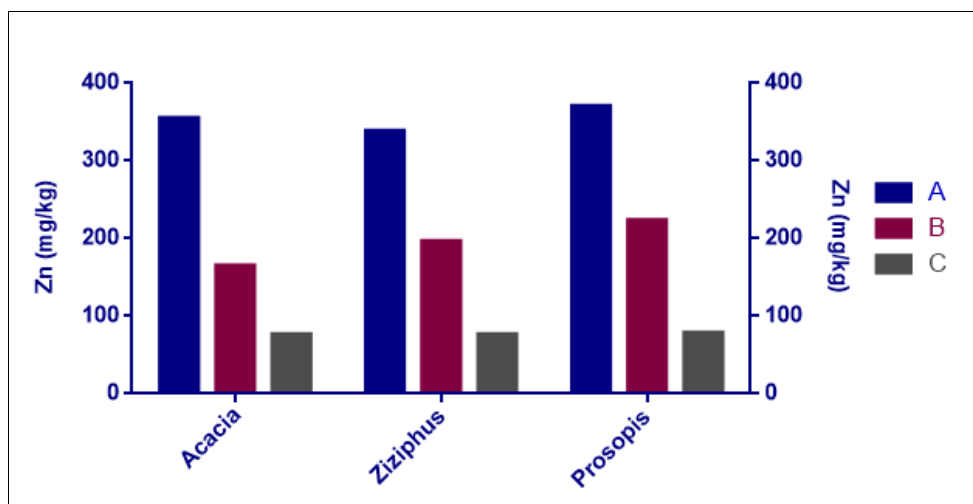
بررسی آماری غلظت فلزات سنگین در جامعه آزمایش بیانگر این است که میانگین غلظت سرب، منگنز و کادمیوم در جامعه آزمایش از حدود استاندارد آن در گیاه بیشتر است، اما غلظت عنصر روی کمتر از حد مجاز آن می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱: نتایج آماری غلظت فلزات سنگین در جامعه آزمایش

فلزات سنگین	حد استاندارد در گیاه (Alloway, 2001)	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس
روی	۴۰۰ تا ۱۰۰	۲۸	۴۸۷	۲۰۹	۱۲۲	۱۵۱۱۵
سرب	۱۰ تا ۰/۱	۸	۶۷	۳۵	۱۴	۲۱۸
منگنز	۱۰۰ تا ۱۵	۴۳	۲۱۱	۱۱۵	۳۹	۱۵۵۷
کادمیوم	۰/۸ تا ۰/۲	۰/۰۲	۱۳/۵	۲/۹۳	۲/۸۷	۸/۲۷

روی (Zn)

میانگین غلظت روی در جامعه آزمایش، ۲۰۹ میلی گرم در کیلوگرم و استاندارد آن در گیاه صد تا چهارصد میلی گرم در کیلوگرم است. اما پراکنش آن در جامعه آزمایش به گونه‌ای است که حداکثر تجمع آن، در برگ تیمار گرد و غبار ناشی از حمل و نقل جاده‌ای (A) است که از آگروز خودروها منتشر می‌شود و میانگین آن در این تیمار، بین سیصد تا چهارصد میلی گرم در کیلوگرم است که استاندارد این عنصر در گیاه نزدیک به حدی بالا است. در تیمار ریزگرد بیابانی (B) که عنصر روی از طریق ریزگردهای بیابانی به بافت و برگ درختان وارد می‌شود، غلظت روی بین ۱۸۰ تا ۲۲۰ میلی گرم در کیلوگرم است و در گونه‌های کهور بیش از آکاسیا و کُنار جمع می‌شود. کمترین غلظت روی نیز در تیمار شاهد (C) دیده می‌شود که دامنه آن بین هفتاد تا هشتاد میلی گرم در کیلوگرم و حتی کمتر از حد پایینی استاندارد گیاه است (شکل ۲).



شکل ۲: توزیع آماری غلظت روی (Zn) در تیمارها و گونه‌های درختی جامعه آزمایش

A: تیمار غبار جاده‌ای، B: تیمار ریزگرد بیابانی و C: تیمار شاهد

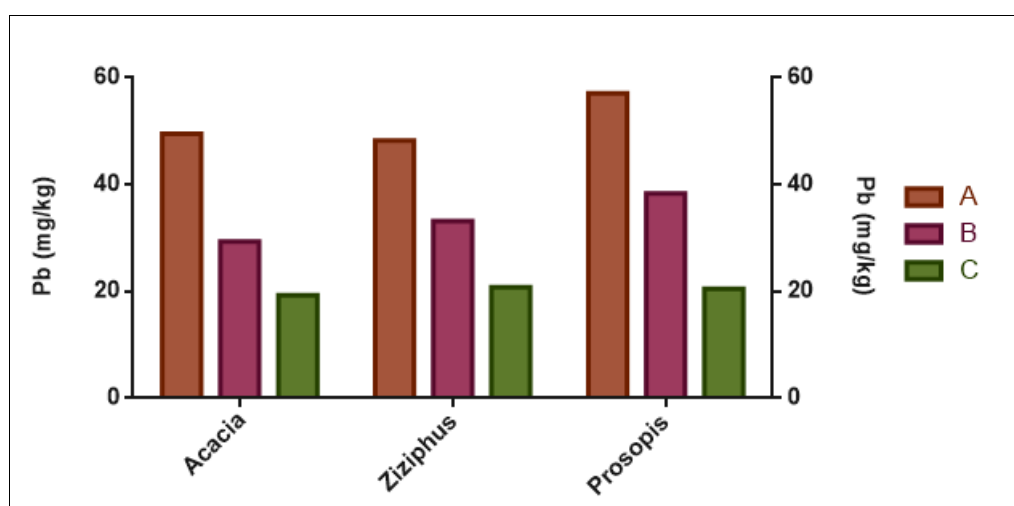
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که غلظت فلز روی در بین بلوک (گونه‌های درختی) و تیمارهای آزمایش در سطح یک درصد معنی دار است؛ به این معنی که هر یک از گونه‌های درختی از نظر تجمع فلز روی در آن نسبت به دیگر گونه‌ها تفاوت دارد. همچنین هر یک از تیمارهای آزمایش بر غلظت فلز روی در برگ گونه‌های درختی جامعه آزمایش اثر متفاوتی دارند (جدول ۲).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس غلظت فلز روی (Zn) در برگ‌های گونه‌های درختی

عامل تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
بلوک	۲۱۸۱۷	۲	۱۰۹۰۸	۵/۲۹	۰/۰۰۰
تیمار	۲۳۲۳۰۵۵	۲	۱۱۶۱۵۲۷	۵۶۳/۲۵	۰/۰۰۶
خطا	۳۶۰۸۷۹	۱۷۵	۲۰۶۲	-	۰/۰۰۰
کل	۱۰۵۷۹۶۲۳	۱۸۰	-	-	-

سرب

بررسی آماری غلظت سرب در جامعه آزمایش نشان داد که میانگین آن ۳۵ میلی گرم در کیلوگرم و فراتر از حد مجاز آن در گیاه بود. بیشترین غلظت سرب در درختانی دیده شد که در مجاورت جاده قرار داشتند و در تیمار غبار ناشی از حمل و نقل جاده‌ای و رسوب آن بر برگ و بستر خاک گونه‌های گیاهی مشاهده شد. غلظت آن نیز بین پنجاه تا شصت میلی گرم در کیلوگرم بود و حداکثر آن در گونه کهور دیده شد که تجمع فلز سرب در آن بیش از آکاسیا و کُنار بود. در تیمار ریزگردهای بیابانی و رسوب آن بر سطح برگ و خاک بستر درختان، غلظت سرب بین ۲۵ تا ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم بود و در رتبه دوم قرار داشت. در بین گونه‌های درختی نیز کهور نسبت به آکاسیا و کُنار، توانایی بیشتری برای جذب سرب و تجمع این فلز در خود داشت. در تیمار شاهد کمترین غلظت سرب مشاهده شد که در جامعه آزمایش، غلظت آن کمتر از بیست میلی گرم در کیلوگرم بود (شکل ۳).



شکل ۳: توزیع آماری غلظت سرب (Pb) در تیمارها و گونه‌های درختی جامعه آزمایش

A: تیمار غبار جاده‌ای، B: تیمار ریزگرد بیابانی و C: تیمار شاهد

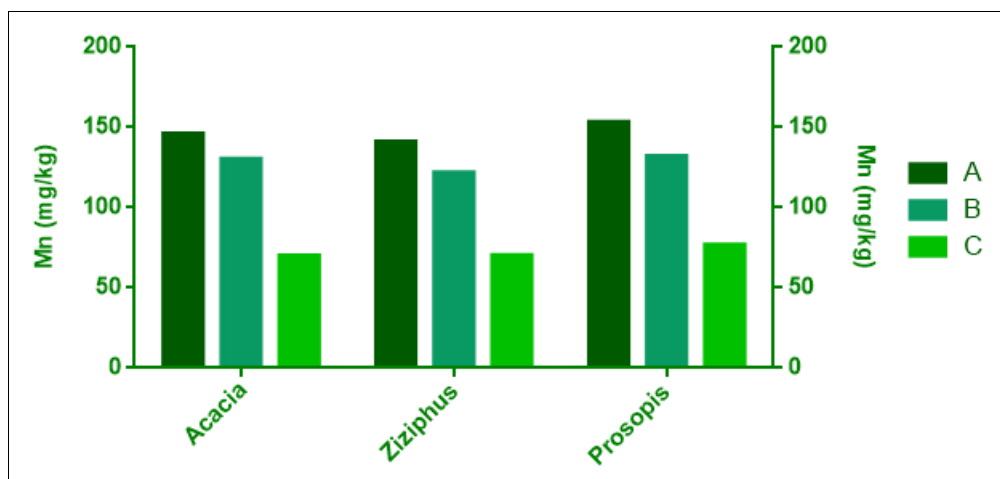
نتایج تجزیه و تحلیل واریانس برای تفاوت آماری بین تیمارها و بلوک‌های جامعه آزمایش (گونه‌های درختی) در زمینه غلظت سرب نشان داد که اختلاف بین تیمارهای آزمایش و گونه‌های درختی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس غلظت فلز سرب (Pb) در برگ‌های گونه‌های درختی

عامل تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
بلوک	۱۱۵۵	۲	۵۷۷	۱۲/۵	۰/۰۰۰
تیمار	۲۹۹۴۳	۲	۱۴۹۷۱	۳۲۴	۰/۰۰۰
خطا	۸۰۷۷	۱۷۵	۴۶	-	۰/۰۰۰
کل	۲۶۱۳۶۰	۱۸۰	-	-	-

منگنز

غلظت فلز منگنز در برگ گونه‌های درختی و تیمارهای آزمایش بررسی شد و نتایج نشان داد که میانگین آن ۱۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و فراتر از حد مجاز آن در گیاه (پانزده تا صد میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. بیشترین غلظت منگنز، در تیمار غبار حاصل از حمل و نقل جاده‌ای مشاهده شد و غلظت آن بین ۱۴۵ تا ۱۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. حداکثر آن نیز در گونه کهور بود که فلز منگنز در آن بیش از آکاسیا و کُنار جمع شده بود. غلظت این فلز بین تیمار غبار جاده‌ای و ریزگرد بیابانی نیز به هم نزدیک بود اما با تیمار شاهد اختلاف بسیار محسوسی داشت؛ به گونه‌ای که غلظت منگنز در برگ تیمارهای شاهد کمتر از هفتاد میلی‌گرم در کیلوگرم بود که این مقدار حدود دو برابر کمتر از تیمارهای غبار جاده‌ای و ریزگرد بیابانی بود. بیشترین غلظت فلز منگنز با ۲۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار غبار جاده‌ای و کمترین آن با ۱۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد (شکل ۴).



شکل ۴: توزیع آماری غلظت منگنز (Mn) در تیمارها و گونه‌های درختی جامعه آزمایش

A: تیمار غبار جاده‌ای، B: تیمار ریزگرد بیابانی و C: تیمار شاهد

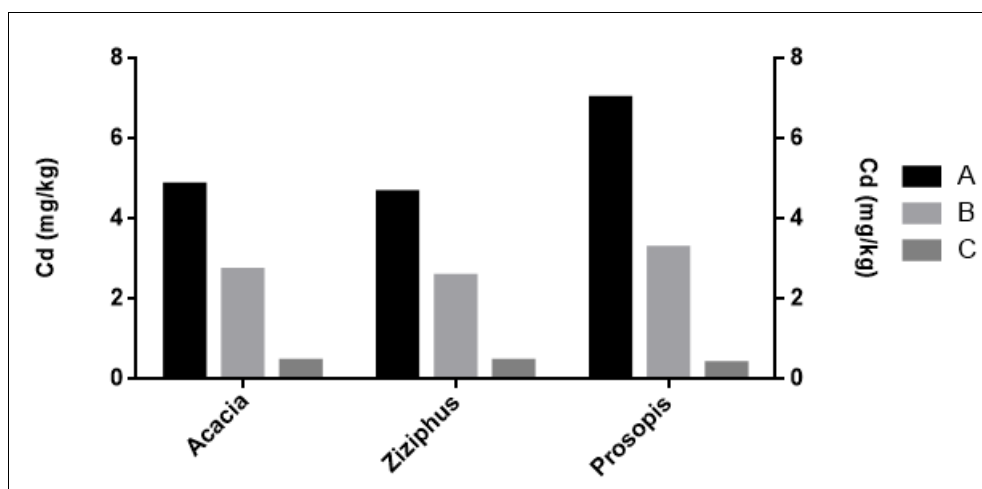
نتایج تجزیه و تحلیل واریانس برای تفاوت آماری بین تیمارها و بلوک‌های جامعه آزمایش (گونه‌های درختی) در زمینه غلظت منگنز نشان داد که اختلاف بین تیمارهای آزمایش و گونه‌های درختی در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴: نتایج تجزیه واریانس غلظت فلز منگنز (Mn) در برگ‌های گونه‌های درختی

عامل تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
بلوک	۲۷۶۹	۲	۱۳۸۴	۲/۵	۰/۰۰۰
تیمار	۲۱۱۲	۲	۱۲۸۴	۱/۶	۰/۰۱۳
خطا	۹۶۲۰۲	۱۷۵	۵۴۹	-	۰/۰۰۰
کل	۲۶۹۲۴۵۸	۱۸۰	-	-	-

کادمیوم (Cd)

کادمیوم یکی از فلزات سمی است که بر محیط‌زیست اثر تخریبی بسیار زیادی دارد و دامنه استاندارد آن بین ۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است. میانگین کادمیوم در کل جامعه آزمایش مورد مطالعه، ۲/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که حداکثر آن با ۱۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار غبار جاده‌ای و گونه درختی کهور و حداقل آن با ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد. غبارهای جاده‌ای که از ترافیک خودرویی و آگزوز وسایل نقلیه شکل می‌گیرد، بر سطح برگ و خاک بستر گونه‌های درختی رسوب می‌کند، از طریق ریشه جذب گیاه می‌شود و به ساقه، برگ و میوه درختان انتقال می‌یابد. در پژوهش حاضر، بیشترین غلظت کادمیوم در درختانی بود که در کنار جاده قرار داشتند و به عنوان تیمار غبار جاده‌ای شناخته می‌شدند. پس از آن نیز تیمار رسوب ریزگردهای بیابانی بر برگ و خاک بستر گونه‌های درختی قرار داشت و کمترین غلظت کادمیوم نیز در تیمار شاهد بود که از ریزگردهای بیابانی و غبار جاده‌ای دور است (شکل ۵). همچنین تجزیه واریانس و تحلیل آماری نشان داد که بین غلظت کادمیوم در بین تیمارها و بلوک‌های آزمایش (گونه‌های درختی) اختلاف وجود داشت (جدول ۵).



شکل ۵: توزیع آماری غلظت کادمیوم (Cd) در تیمارها و گونه‌های درختی جامعه آزمایش

A: تیمار غبار جاده‌ای، B: تیمار ریزگرد بیابانی و C: تیمار شاهد

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس غلظت فلز کادمیوم (Cd) در برگ‌های گونه‌های درختی

عامل تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
بلوک	۳۶	۲	۱۸	۴/۶۸	۰/۰۰۰
تیمار	۷۷۲	۲	۳۸۶	۱۰۰/۴۵	۰/۰۱۰
خطا	۶۷۳	۱۷۵	۳/۸	-	۰/۰۰۰
کل	۳۰۳۲	۱۸۰	-	-	-

پس از تجزیه واریانس و تحلیل آماری غلظت فلزات سنگین در جامعه آزمایش، مقایسه میانگین بین تیمارها و بلوک‌های آزمایش (گونه‌های درختی) با آزمون دانکن انجام شد. مقایسه این میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سنگین در تیمار غبار، ناشی از حمل و نقل جاده‌ای بود و غلظت فلزات در این تیمار با دیگر تیمارها اختلاف داشت و در طبقه اول قرار می‌گرفت. درختانی که تحت تأثیر ریزگردهای بیابانی بود، از لحاظ غلظت فلزات سنگین در طبقه دوم قرار داشت و اختلاف آن با دیگر تیمارها معنی‌دار بود. در نهایت، درختان شاهد نیز کمترین غلظت را داشت و در طبقه آخر قرار گرفت. در تیمار ذرات غبار جاده‌ای، غلظت همه فلزات سنگین بیش از دامنه استاندارد فلزات در گیاه بود. در تیمار ریزگردهای بیابانی، فلزات سرب، منگنز و کادمیوم از حد استاندارد آن بیشتر بود؛ اما در درختان شاهد، غلظت سرب بیش از حد استاندارد بود و غلظت دیگر فلزات سنگین کمتر از حد استاندارد اندازه‌گیری شد (جدول ۶).

جدول ۶: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در تیمارهای آزمایش با آزمون دانکن

تیمار	روی	سرب	منگنز	کادمیوم
میانگین مشاهداتی	۲۰۹	۳۵	۱۱۵	۲/۹۳
ذرات معلق جاده‌ای	۳۵۴/۷ ^a	۵۱/۶۳ ^a	۱۴۶/۸۳ ^a	۵/۵۰ ^a
ریزگردهای بیابانی	۱۹۵/۲ ^b	۳۳/۶۱ ^b	۱۲۸/۱۳ ^b	۲/۸۵ ^b
شاهد	۷۷/۴ ^c	۲۰/۱۵ ^c	۷۲/۴۳ ^c	۰/۴۳ ^c

با توجه به اینکه جدول تحلیل واریانس نشان داد که غلظت فلزات سنگین در گونه‌های درختی (بلوک) جامعه آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت، از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین این گونه‌ها استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که بیشترین غلظت فلزات سنگین در گونه درختی کهور بود، اما در گونه‌های درختی آکاسیا و کُنار غلظت فلزات سنگین اختلاف آماری نداشت و بسیار نزدیک به هم بود (جدول ۷).

جدول ۷: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در گونه‌های درختی با آزمون دانکن

گونه‌های درختی	روی	سرب	منگنز	کادمیوم
میانگین مشاهداتی	۲۰۹	۳۵	۱۱۵	۲/۹۳
آکاسیا (<i>Acacia</i>)	۱۹۸/۹ ^b	۳۲/۷۱ ^b	۱۱۵/۵۶ ^{ab}	۲/۶۷ ^b
کُنار (<i>Ziziphus</i>)	۲۰۴ ^b	۳۴ ^b	۱۱۱/۱۱ ^b	۲/۵۶ ^b
کهور (<i>Prosopis</i>)	۲۲۴/۴ ^a	۳۸/۶ ^a	۱۲۰/۷۱ ^a	۳/۵۶ ^a

۵- بحث و نتیجه‌گیری

گیاهان از سلامت اکولوژیکی محیط‌زیست در برابر آلودگی فلزات سنگین حفاظت می‌کنند (Leyval et al, 1997)؛ بدین صورت ذرات جامدی که از آگزوز وسایل نقلیه، غبارهای صنعتی و ریزگردهای بیابانی منتشر می‌شود، حاوی فلزات سنگینی همچون سرب، مس، کادمیوم، منگنز، نیکل، روی و آهن است که پس از انتشار در سطح برگ و خاک بستر گیاهان رسوب می‌کند (Nagajyoti et al, 2010). ریشه‌های درختان، این فلزات را از خاک جذب و به بافت گیاه وارد می‌کند (Al-Taani et al, 2021). پژوهشگران نشان داده‌اند که بیشترین تجمع فلزات سنگین در ریشه و برگ گیاهان است که می‌تواند یک نشانگر زیستی در بررسی آلودگی‌های زیستی محسوب شود (Al-Awadhi and Aldhafiri, 2016). اگرچه گیاهان به‌ویژه گونه‌های درختی در گیاه‌پالایی و حذف آلودگی فلزات سنگین از محیط-زیست کاربرد زیادی دارند، در صورتی که درختان عضوی از زنجیره غذایی موجودات زنده باشند، تجمع فلزات سنگین در اندام گیاهی آنها زیان چند برابری دارد و سلامت اکوسیستم به‌ویژه حیوانات، پرندگان دانه‌خوار و انسان را به‌خطر می‌اندازد. گونه‌های درختی کهور، آکاسیا و کُنار یکی از منابع تغذیه حیوانات به‌ویژه دام‌های اهلی است که در منطقه کهورستان از سرشاخه‌ها و میوه آنها برای دام استفاده می‌شود.

پژوهش حاضر در راستای شناسایی غلظت فلزات سنگین ناشی از غبارهای سمی جاده‌ای و ریزگردهای بیابانی بر گونه‌های درختی ذکر شده در کهورستان انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سرب، منگنز و کادمیوم در برگ درختانی که در حاشیه جاده بندرعباس - لار قرار دارند و درختانی که ریزگردهای بیابانی بر خاک بستر آنها رسوب کرده‌است، بیش از حد استاندارد مجاز آن در گیاهان است. در برگ گونه‌های درختی اطراف کارخانه سیمان ایلام نیز غلظت فلزات سنگین بیش از حد استاندارد است که بیشترین مقدار سرب در اکالپتوس و منگنز و کادمیوم در عرعر مشاهده می‌شود. در سبزیجات مصرفی شهر کرج شامل کلم، کاهو، پیاز و اسفناج نیز غلظت فلزات سنگین در برگ بیش از ساقه و ریشه است و در بین فلزات سنگین، غلظت کروم، منگنز و آهن در تمامی گیاهان بیش از حد استاندارد جهانی آن است (Ronyasi and Parvizi Masaed, 2016). در بزرگراه پولیسیا اوکراین نیز غلظت کادمیوم، مس و سرب بیش از حد استاندارد آن است و ضریب انتقال آن از خاک به ریشه و از ریشه به برگ بسیار زیاد می‌باشد (Maksimtsev et al, 2021). یکی از مهم‌ترین فرضیه‌های پژوهش حاضر، اثر غبارهای اتمسفری بر غلظت فلزات سنگین در بافت گیاهی درختان نواحی خشک است که نتایج نشان داد تجمع آلودگی در درختان حاشیه جاده و درختان در معرض ریزگردهای بیابانی، نسبت به درختان شاهد - که به دور از تنش‌های ذرات معلق جوی است - بیشتر می‌باشد؛ به گونه‌ای که حداکثر غلظت روی، سرب، منگنز و کادمیوم در درختان حاشیه جاده دیده شد، سپس در درختان در معرض ریزگرد بیابانی و در آنها غلظت سرب، منگنز و کادمیوم بیش از حد استاندارد آن بود. بنابراین، پژوهش حاضر تأیید می‌کند غبارهای سمی جاده‌ای ناشی از تردد خودروها و کامیون‌های محور بندرعباس - لار که از کهورستان عبور می‌کند، به‌همراه ریزگردهای بیابانی که عمدتاً در نیمه گرم سال اتفاق می‌افتد، دلیل اصلی آلودگی درختان منطقه به فلزات سنگین است. از طرف دیگر برای شناسایی اختلاف درختان در تجمع فلزات سنگین، از سه گونه درختی غالب منطقه شامل کهور، آکاسیا و کُنار استفاده شد و نتایج نشان داد که درختان کهور بیشترین تجمع فلزات سنگین را داشت که غلظت سرب، منگنز و کادمیوم در این درختان - که در حاشیه جاده و در معرض

ریزگردهای بیابانی قرار داشت - بیش از حد استاندارد آن بود. ریشه‌های طویل و قوی این درختان می‌تواند عناصر و فلزات موجود در خاک را جذب کند و به همین دلیل است که بیشترین غلظت فلزات سنگین در این درختان مشاهده می‌شود. بنابراین، پژوهش حاضر نشان داد که نوع گونه‌های درختی بر انباشت و تجمع فلزات سنگین اثر می‌گذارد که این امر با نتایج پژوهشگران دیگر مطابقت دارد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج Armienta و همکاران (2008) در خصوص تجمع زیاد فلزات سنگین در برگ گونه‌های درختی به‌ویژه کهور و آکاسیا مطابقت دارد، اما از آنجایی که میوه و حتی برگ این درختان یک منبع خوراکی برای دام‌های اهلی و وحشی منطقه است، تجمع فلزات سنگین در اندام این گیاهان نمی‌تواند امیدوارکننده باشد. در مکزیک نیز این معضل وجود دارد؛ چون دام‌های منطقه از میوه کهور استفاده می‌کنند و ورود فلزات سنگین از گیاه به دام و در نهایت مصرف گوشت و شیر دام توسط انسان، این فلزات را به بدن انسان منتقل می‌سازد و به خطر زیستی منجر می‌شود.

ذرات معلق که از آگروز وسایل نقلیه انتشار می‌یابد و ریزگردهای بیابانی که از غبارهای صنعتی و بیابان‌های خشک عربستان، کویت و عراق به اتمسفر وارد می‌شود، حاوی فلزات سنگین است. رسوب این ذرات بر روی خاک و اندام هوایی درختان می‌تواند اکولوژی منطقه را با خطر آلودگی زیستی تهدید کند. استان هرمزگان همواره در معرض ریزگردهای جوی و ذرات معلق ناشی از ترافیک جاده‌ای قرار دارد و این ریزگردها می‌تواند سلامت اکوسیستم‌های ضعیف و بیابانی این استان را تحت تأثیر خود قرار دهد. گونه‌های کهور، آکاسیا و کُنار از درختان غالب منطقه کهورستان در شمال‌غربی بندرعباس است که در معرض ریزگردهای جوی قرار دارند. پژوهش حاضر نیز در راستای این هدف انجام شد که ریزگردها چه تأثیری بر غلظت فلزات سنگین در درختان منطقه دارند و کدام درخت نسبت به سایر درختان می‌تواند فلزات سنگین بیشتری را جذب کند. نتایج این پژوهش نشان داد درختانی که در حاشیه جاده بندرعباس - لار قرار دارند، در معرض غبارهای سمی وسایل نقلیه قرار گرفته‌اند. درختانی که در فاصله‌ای دورتر از جاده قرار دارند، اگرچه از غبارهای جاده‌ای فاصله دارند در معرض غبارهای جوی هستند که از صنایع و طوفان‌های گردوخاکی سرچشمه گرفته‌است. غلظت فلزات سنگین در برگ درختان حاشیه جاده و در معرض ریزگردها، از حد استاندارد آن بسیار بالاتر است. همچنین در بین گونه‌ها نیز درختان کهور به دلیل ریشه‌های طویل و قدرتمندی که دارد، می‌تواند فلزات سنگین را از خاک بستر جذب کند. در برگ این درختان به‌ویژه در حاشیه جاده و درختان در معرض ریزگردها، غلظت کادمیوم، سرب و منگنز بسیار بالاست و باعث می‌شود فلزات سنگین از محیط حذف شود. اما برگ و میوه درختان کُنار، کهور و آکاسیا یکی از منابع خوراکی مهم برای دام‌ها و حیوانات و در نهایت انسان، تهدیدی برای اکولوژی محسوب می‌شود. بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که غبارهای سمی جاده‌ای و ریزگردهای جوی به ترسیب فلزات سنگین در بستر خاک گیاهان علفی و یک‌ساله و درختان منطقه منجر می‌شود، سپس گیاه آن را از طریق ریشه جذب می‌کند و از این طریق به چرخه غذایی دام و انسان وارد می‌سازد. نتایج این پژوهش، آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌های خشک ناحیه کهورستان را آشکار ساخت و نتایج آن می‌تواند در اختیار کارشناسان محیط - زیست و بهداشت قرار گیرد. از طرفی، پیشنهاد می‌شود غلظت فلزات سنگین در گیاهان علفی یک‌ساله - که خوراک دام محلی منطقه است - ارزیابی و راهکاری برای کنترل آن یافته شود.

منابع

1. Al-Abbawy, D. A.; Al-Thahaibawi, B. M. H., Al-Mayaly, I. K., & K. H. Younis, 2021. Assessment of some heavy metals in various aquatic plants of Al-Hawizeh Marsh, southern of Iraq, *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(1).
2. Al-Awadhi, J. M., & B. T. Aldhafiri., (2016). Heavy metal concentrations in roadside-deposited sediments in Kuwait City. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(8), 1-14.
3. Alloway, B. J., 2001. Heavy metal in soil, New York: John Wiley and sons Inc; 2001.p.20-28.
4. Al-Taani, A. A.; Nazzal, Y.; Howari, F. M.; Iqbal, J.; Bou Orm, N.; Xavier, C. M.; ... & C. S. Dumitriu, 2021. Contamination Assessment of Heavy Metals in Agricultural Soil, in the Liwa Area (UAE), *Toxics*, 9(3), 53.
5. Appenroth, K. J., 2010. What are “heavy metals” in plant sciences?, *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(4), 615-619.
6. Armienta, M. A.; Ongley, L. K.; Rodríguez, R.; Cruz, O.; Mango, H.; & G. Villaseñor, 2008. Arsenic distribution in mesquite (*Prosopis laevigata*) and huizache (*Acacia farnesiana*) in the Zimapán mining area, México, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 8(2), 191-197.
7. Askari, F., 2005. Nutritional value of twigs and fruits of two species of melon and acacia rangeland, *Research and Construction*, [online] 18 (3 (p. 68) in Natural Resources):48-55. [In Persian]
8. Bashiri Khuzestani, R.; & B. Souri., (2016). Investigation of physicochemical properties of suspended particles larger than 10 micrometers in Kurdistan province, western Iran. *Environmental Science and Technology*. 18(3), 67-79. [In Persian]
9. Beitlefteh, R.; Landi, A.; Hojati, S.; & G. Sayyad, 2015. Deposition Rate, Mineralogy and Size Distribution Pattern of Dust Particles Collected Around the Houralazim Marshland, Khuzestan Province, *Water and Soil*, 29(3), 695-707. [In Persian]
10. Buendía-González, L.; Orozco-Villafuerte, J.; Cruz-Sosa, F.; Barrera-Díaz, C. E.; & E. J. Vernon-Carter, 2010. *Prosopis laevigata* a potential chromium (VI) and cadmium (II) hyperaccumulator desert plant, *Bioresource Technology*, 101(15), 5862-5867.
11. Buzea, C.; Pacheco, I. I.; & K. Robbie, 2007. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity, *Biointerphases*, 2(4), MR17-MR71.
12. Chakraborty, J.; Maantay, J. A.; & J. D. Brender, 2011. Disproportionate proximity to environmental health hazards: methods, models, and measurement, *American journal of public health*, 101(S1), S27-S36.
13. Gardea-Torresdey, J. L.; Peralta-Videa, J. R.; De La Rosa, G.; & J. G. Parsons, 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy, *Coordination chemistry reviews*, 249(17-18), 1797-1810.
14. Guala, S. D.; Vega, F. A.; & E. F. Covelo, 2010. The dynamics of heavy metals in plant–soil interactions, *Ecological Modelling*, 221(8), 1148-1152.
15. Jáuregui, J. A.; Ortiz, J. C. R.; Montoya, A. H.; Filippini, M. F.; Carretero, E. M.; Flores, P. E. D.; ... & F. A. B. Morales, 2018. Heavy metals in atmospheric dust deposited in leaves of *Acacia farnesiana* (Fabaceae) and *Prosopis laevigata* (Fabaceae), *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 50(2).
16. Jia, M.; Zhou, D.; Lu, S.; & J. Yu, 2021. Assessment of foliar dust particle retention and toxic metal accumulation ability of fifteen roadside tree species: Relationship and mechanism, *Atmospheric Pollution Research*, 12(1), 36-45.
17. Keeran, N. S.; Balasundaram, U.; Govindan, G.; & A. K. Parida, 2019. *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* (pp. 381-393). Academic Press.

18. Kozanecka, T.; Chojnicki, J.; & W. Kwasowski, 2002. Content of heavy metals in plant from pollution-free regions, *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(4), 395-400.
19. Leyval, C.; Turnau, K.; & K. Haselwandter, 1997. Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects, *Mycorrhiza*, 7(3), 139-153.
20. Maiti, S. K.; Kumar, A.; & J. Ahirwal, 2016. Bioaccumulation of metals in timber and edible fruit trees growing on reclaimed coal mine overburden dumps, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 30(3), 231-244.
21. Maksimtsev, S.; Dudarets, S.; & V. Yukhnovskyi, 2021. Accumulation of heavy metals in soil and litter of roadside plantations in Western Polissia of Ukraine, *Folia Forestalia Polonica*, 63(3), 232-242.
22. Muro-González, D. A.; Mussali-Galante, P.; Valencia-Cuevas, L.; Flores-Trujillo, K.; & E. Tovar-Sánchez, 2020. Morphological, physiological, and genotoxic effects of heavy metal bioaccumulation in *Prosopis laevigata* reveal its potential for phytoremediation, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40187-40204.
23. Nagajyoti, P. C.; Lee, K. D.; & T. V. M. Sreekanth, 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review, *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
24. Popek, R.; Mahawar, L.; Shekhawat, G. S.; & A. Przybysz, 2021. 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.
25. Pourkhbaz, H., & S. Javanmardi., (2018). Determination of heavy metal concentration in vegetation around Behbahan Cement Factory by plant bioindicators. *Geographical Space*. [online] 18(62), 19-29. [In Persian]
26. Rajabi, M., & B. Souiri., (2015). Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran 2012-2013. *Journal Health and Environment*. 8(1), 11-22. [In Persian]
27. Ronyasi, N., & H. Parvizi Masaed., (2016). Investigation of heavy metals in different parts of some vegetables consumed in Karaj. *Health and the Environment*. 9(2), 171-184. [In Persian]
28. Salahi, B., & M. Behrozi., (2020). Identification of dust centers and physicochemical analysis of its particles in Dezful region. *Journal Natural Hazards*. 23, 187-208. [In Persian]
29. Sardar, K.; Ali, S.; Hameed, S.; Afzal, S.; Fatima, S.; Shakoor, M. B.; ... & H. M. Tauqeer, 2013. Heavy metals contamination and what are the impacts on living organisms, *Greener Journal of Environmental management and public safety*, 2(4), 172-179.
30. Sultan, M. B.; Rahmana, M. M.; Alam, M. N. E.; Doza, M. B.; & T. R. Choudhury, 2021. Soil, Dust, and Leaf-based Novel Multi-sample Approach for Urban Heavy Metal Contamination Appraisals in a Megacity, Dhaka, Bangladesh, *Environmental Advances*, 100154.
31. Tanushree, B.; Chakraborty, S.; Bhumika, F.; & B. Piyal, 2011. Heavy metal concentrations in street and leaf deposited dust in Anand City, India, *Research Journal of Chemical Sciences*.
32. Thomson, G., 1965. Air pollution—a review for conservation chemists, *Studies in Conservation*, 10(4), 147-167.
33. Toulabi, A.; Zare, M.; Zare, M.; Mahvi, A.; Shahriari, A.; Sarkhosh, M.; & A. Rahmani, 2012. Study of air quality index in the air around Bandar Abbas refinery, *Hormozgan Medical Journal of Hormozgan University*, 16(2), 123-133. [In Persian]
34. Zayimda, M., 2018. Phytoremediation strategy of tree species to reduce pollution, *Environmental management and sustainable development*, [cited 2021 November 13]; 1. [In Persian]

Investigating the Effect of Air Pollution on the Accumulation of Heavy Metals in Plant Species in Arid and Desert Areas (Case Study: *Acacia*, *Prosopis* and *Ziziphus C*, in Kahouristan, Hormozgan Province)

Mirdad Mirdadi: PhD student in Environment, Environmental management and education, Kish International Campus, University of Tehran, Iran.

Ahmad Nohegar¹: Professor of Geomorphology, Department of Management Planning and Environmental Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Iran.

Article History (Received: 2021/11/13

Accepted: 2022/01/26)



20.1001.1.22517812.1401.12.2.11.8

Extended abstract

1- Introduction

Acacia trees, whose leaves and fruits are used for livestock, are a bio accumulator of heavy metals and although they play an important role in absorbing heavy metals from the soil, their fruits are used for livestock consumption. *Prosopis* trees with their long and strong roots have the ability to absorb heavy metals from the environment and researchers use them as biomarkers for heavy metals as well as phytoremediation. Although phytoremediation is a good way to remove heavy metals from the environment, it cannot be a good way to protect the environment if the plant is a source of nutrition for living organisms. In arid and semi-arid regions of Hormozgan province, the plant organs of *Prosopis*, *Acacia* and *Ziziphus* trees, especially their leaves and fruits, are considered as the food chain of local and wild cattle in the region. If these plants are contaminated with heavy metals and their toxicity is high, they endanger living organisms. Nevertheless, the amount of heavy metal contamination in these plants has not been identified and experts do not have information in this field to be able to develop a plan to control it. If these trees are contaminated with heavy metals, it is not clear how the contaminant accumulated in the plant and the sources of its spread are not known. For this reason, the present study tries to answer these leading questions and it is assumed that air pollution, especially desert dust and road dust is the main cause of heavy metal accumulation in trees. Therefore, the main purpose of this study was to detect the concentration of heavy metals in the leaves of tree species through atmospheric dust and the intended experiments were carried out in the natural forests of Kahouristan region.

2- Methodology

In order to achieve the objectives of the study on identifying the concentration of heavy metals in tree species in arid areas of Bandar Abbas, first the location and population of the experiment was determined. The test site is in Kahouristan region -90 km northwest of Bandar Abbas- in Hormozgan province with a geographical position of 27 degrees and 17 minutes north latitude and 55 degrees and 21 minutes east longitude with an altitude range of 250 to 320 meters above sea level. The experiment was conducted in the spring and summer of 2020. The experimental population was selected in a randomized complete block design. The community contains 180 trees, including the species *Acacia*, *Ziziphus* and *Prosopis*. 60 trees were considered from each tree species. On these trees, three treatments were considered in such a way that each treatment included 60 pieces, of which 20 trees were considered for each treatment: 1-Treatment of road dust and desert dust in *Acacia*, *Ziziphus* and *Prosopis* trees located near the Bandar Abbas-Lar transportation road and solid particles emitted from the exhaust of vehicles are deposited on the leaves and soil substrate of the plant and absorb the roots of the trees. 2- Treatment of desert dust that is far from the road and only desert dust settles on the soil and

¹ Corresponding Author: nohegar@ut.ac.ir

leaves of trees. 3- Control treatment which in terms of distance is far from the road, after the treatment of desert dust and the trees in this treatment are located in the mountain shelter and away from the path of desert dust. Each treatment contained 60 pieces, of which 20 were related to *Acacia*, 20 pieces of *Ziziphus* and 20 pieces of *Prosopis*. Therefore, 180 specimens containing three tree species (blocks) and three treatments formed the experimental community. After introducing the experimental population and identifying the treatments and tree species, the concentrations of heavy metals in the leaves of the experimental treatments and trees were measured. The measurements were taken in two seasons, spring and summer, when desert dust occurs. From each tree, 5 leaves were sampled and transferred to the laboratory after labeling. In the laboratory, the concentrations of heavy metals in leaves including lead (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn) and manganese (Mn) were measured.

3- Results

Statistical analysis of heavy metal concentrations in the experimental population shows that the average concentration of lead, manganese and cadmium in the experimental population is higher than the standard limits in the plant, but the concentration of zinc is less than the allowable limit. The concentration of zinc in the experimental community is such that the average is 209 mg/kg, the standard in the plant is 100 to 400 mg/kg, but its distribution in the experimental community is normal. The maximum accumulation in the leaves of dust treatment is due to road transport and the fume that is emitted from car exhaust and its average in this treatment is between 300 to 400 mg/kg, which is close to the upper limit of the standard of this element in a plant. In the treatment of desert dust, the concentration of zinc is between 180 to 220 mg/kg, which in honeysuckle species has a higher concentration than *acacia* and *Ziziphus*. The lowest concentration of zinc in the control treatment was between 70 and 80 mg/kg and even lower than the plant standard. Statistical analysis of lead concentration in the experimental community showed that its average was 35 mg/kg, which is higher than the permissible limit in the plant. The highest concentration of lead was in the trees near the road and in the treatment of dust caused by road transport and its deposition on the leaves and soil substrate of plant species and its concentration was between 50 to 60 mg/kg. The maximum was in the species of *Prosopis*, which has accumulated more lead metal than *acacia* and *Ziziphus*. In the treatment of desert dust and its deposition on the surface of leaves and soil of trees, the concentration of lead was between 25 to 40 mg/kg and was in the second place, and among the tree species, *Prosopis* has a greater ability to withstand the adsorption and accumulation of lead metal compared to *acacia* and *Ziziphus*. The average of manganese metal is 115 mg/kg, which is higher than the permissible limit in the plant (15 to 100 mg kg). The highest concentration of manganese in the dust treatment was due to road transport and its concentration was between 145 to 155 mg/kg, the maximum of which was in the species of *Prosopis*, which is more concentrated than *acacia* and *Ziziphus*, manganese metal. Manganese concentrations are close to each other between road dust treatment and desert dust, but their differences with the control are very noticeable. The standard range of cadmium is between 0.2 and 0.8 mg/kg, the average of which in the whole study population is 2.93 mg/kg, with a maximum of 13.5 mg/kg, and at least 0.02 mg/kg in control treatment. Comparison of the mean of treatments showed that the highest concentration of heavy metals in the dust treatment was due to road transport and the concentration of metals in this treatment was different from other treatments and was in the first category. Trees affected by desert dust were in the second category in terms of heavy metal concentrations and the difference with other treatments was significant. Finally, the control trees have the lowest concentration of heavy metals and are located in the last floor. In the treatment of road dust particles, the concentration of all heavy metals was higher than the standard range of metals in the plant. In the treatment of desert dust, the metals of lead, manganese and cadmium were higher than the standard; however, in control trees, the concentration of lead was higher than the standard and the concentration of other heavy metals was less than the standard. The highest concentration of heavy metals was in the *Prosopis* tree species, but in *Acacia* and *Ziziphus* tree species, the concentrations of heavy metals were not statistically different and were very close to each other.

4- Discussion & Conclusions

The results of this study showed that the trees along the Bandar Abbas-Lar Road have been exposed to toxic dust from vehicles. Farther from the road, trees, although far from road dust, are exposed to atmospheric dust from industry as well as dust storms. The concentration of heavy metals in the leaves of roadside trees and then exposed to fine dust is much higher than the standard. Also, among the species, *Prosopis* trees, due to their long and strong roots, have the ability to absorb heavy metals from the soil and in the leaves of these trees, especially on the roadside and exposed to fine dust, cadmium concentration, lead and manganese are very high and cause heavy metals to be removed from the environment, but the leaves and fruits of *Ziziphus*, *Prosopis* and *Acacia* trees are one of the important food sources for cattle and animals and even birds of Kahouristan region. The accumulation of heavy metals in the limbs of these trees and their transfer from plants to animals and eventually humans is a

threat to ecology. Therefore, it can be concluded that toxic road dusts and atmospheric dust have caused the deposition of heavy metals in the soil bed of annual and herbaceous plants and trees of the region, which are absorbed through the roots of the plant and thus enter the food cycle. It becomes a trap for the existing living and nonliving species and human beings. The results of this study showed heavy metal pollution in the dry ecosystems of Kahouristan area and the results can be made available to environmental and health experts. In addition, it is suggested that the concentration of heavy metals in annual herbaceous plants, which are the food of local livestock in the region, be evaluated in order to find a way to control their spread and contamination of environment.

Keywords: Lead; Aerosol; *Prosopis*; Kahouristan; Heavy metals.