مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

# آلودگی خاک و گیاه به کادمیوم در پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته (اصفهان، ایران)

علی جمشیدیان[۱]، عاطفه چمنی*[۲]، مژگان احمدی ندوشن[۲]

*۱- گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران*

*۲*- گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران*

**نوع مقاله:**
پژوهشی

**تاریخچه مقاله:**
دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹

**کلمات کلیدی:**
کادمیوم
موته
آلودگی خاک
درمنه دشتی

**چکیده**

**مقدمه:** مناطق حفاظت شده ابزارهایی حیاتی در مدیریت و حفاظت از محیط زیست خشکی و دریایی هستند. با این حال، تضاد بین اولویت‌های حفاظتی و برداشت منابع از مناطق حفاظت شده روز به روز در سراسر جهان حال افزایش است. پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته به واسطه تنوع زیستی بالا از ارزش حفاظتی برخوردار است، ولی در سال‌های اخیر به دلیل جاذبه‌های غنی معدنی به شدت مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. از این رو، مطالعه حاضر به بررسی غلظت کادمیوم خاک و گیاه درمنه دشتی، عامل انتقال و عوامل مؤثر در بروز آن پرداخته است.

**مواد و روش‌ها:** ۴۵ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و برگ گیاه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) در ۱۵ نقطه در منطقه دشتی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته (با وسعت ۴۲۳ کیلومترمربع) برداشت و غلظت کادمیوم نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل محاسبه شد. جذب کادمیوم توسط گیاه با استفاده از عامل انتقال محاسبه و تفسیر شد. با استفاده از روش معکوس فاصله وزنی در نرم افزار GIS، نواحی آلوده به کادمیوم در بخش خاک و گیاه تعیین و وسعت و موقعیت مکانی نواحی با غلظت کادمیوم بیش از ۵ mg/kg در خاک و بیش از ۰/۲ mg/kg در برگ گیاه بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا شناسایی شد. درنهایت از مدل‌های رگرسیون خطی، لگاریتمی، توانی، نمایی و چندجمله‌ای برای بررسی اثر حمل و نقل جاده‌ای در آلودگی به کادمیوم استفاده شد.

**نتایج:** متوسط غلظت کادمیوم در گیاه و خاک (mg/kg) به ترتیب برابر با ۰/۱۱ ± ۰/۳۹ و ۰/۱۵ ± ۲/۹۷ بدست آمد. بیشترین غلظت خاک این عنصر در میانه‌های منطقه برابر با ۰/۶۹ mg/kg ± ۱۵/۰۰ بدست آمد که با حرکت به سمت قسمت‌های جنوبی منطقه، به تدریج از غلظت آن کاسته شد. بیشترین غلظت این عنصر در برگ‌های گیاه درمنه در بخش‌های شمالی ناحیه برابر با ۰/۰۹ mg/kg ± ۰/۶۲ بود و کمترین مقدار نیز در بخش میانی (۰/۳۲ mg/kg ± ۰/۰۵) ثبت گردید. عامل انتقال بین دو مقدار ۰/۰۰۵ تا ۰/۵۴۴ با متوسط ۴/۹۳ قرار داشت. بر اساس حد استاندارد ۵ mg/kg کادمیوم در خاک، وسعتی برابر با ۲۰/۸۰ درصد از منطقه به عنوان ناحیه آلوده به این عنصر شناخته شد، حال آن‌که با در نظر گرفتن مقدار مجاز ۰/۲ mg/kg در گیاه، بخش‌های بسیار زیادی از پوشش گیاهی منطقه (بیش از ۹۵ درصد) آلوده به کادمیوم شناسایی شد. بهترین مدل رگرسیونی در حالت مدل نمایی با مقدار ضریب



* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: a.chamani@khuisf.ac.ir

تشخیص ۰/۳۰۱ نشان داد که حمل و نقل جاده‌ای بـه عنـوان یکـی از مهم‌تـرین عوامـل انسـانی موجـب افزایش آلودگی خاک و گیاه درمنه دشتی موته به کادمیوم شده است.

**بحث:** اکتشاف طلا و احداث معادن متعدد در منطقه موته و همچنین احداث کنارگذرهای شـمال اسـتان اصفهان باعث شد تا تهدیدات زیادی متوجه اکوسیستم و گونه‌های این ناحیه شود. بر اساس نتایج بدسـت آمده، خاک‌های منطقه دشتی موته به عنصـر کـادمیوم آلـوده شـده اسـت. غلظـت بـالای ایـن عنصـر در خاک‌های اطراف جاده‌ها و کاهش غلظت آن‌ها با افزایش فاصله از جاده معیاری از اثر حمل و نقل جاده‌ای بر افزایش آلودگی خاک است. بـر ایـن اسـاس، جلـوگیری از احـداث راه‌هـای مواصـلاتی در منـاطقی بـا اکوسیستم‌های ارزشمند، افزایش کیفیت سوخت و خودروهـا و همچنـین کـاهش بـار ترافیکـی از جملـه مهم‌ترین راهکارها برای حفظ محیط زیست و کاهش آلودگی به عناصر سمی بالقوه است.

## مقدمه

منـاطق حفاظـت شـده ابزارهـایی حیـاتی در مـدیریت و حفاظـت از محـیط زیسـت خشـکی و دریـایی هسـتند (Geldmann *et al.*, 2019). این مناطق با پشتوانه قـانونی یا شیوه های رایج سنتی، پناهگاه‌های امنی را برای طیـف وسیعی از گونه های گیاهی و جانوری، از جمله گونه هـای در معرض خطر فراهم می‌کنند. بر اساس داده‌هـای پایگـاه داده جهـانی منـاطق حفاظـت شـده، تقریبـاً ۱۵درصـد از مساحت زمین و ۷ درصد از اقیانوس‌ها به مجموعه منـاطق حفاظت شده جهان پیوسته‌اند تا حفاظت جهان شمولی از اکوسیستم‌های حساس و گونه‌هـای جـانوری و گیـاهی بـا ارزش آن‌ها بوجود آید (Wade *et al.*, 2020). در ایران نیز حفاظت از زیستگاه‌های طبیعی کشور به‌صورت غیررسمی بیش از ۱۵۰ سال پیش شروع و در حدود ۶۰ سال پـیش، الزام قانونی پیدا کرد. درحال حاضر ۱۱/۲ درصد از ایران با وسعتی بیش از ۱۸ میلیـون هکتـار از بیـوم‌هـای مختلـف تحت مدیریت مناطق حفاظت شده سازمان محیط زیسـت کشور قرار دارد (Darvishsefat, 2006).

تضاد بین اولویت‌های حفاظتی و برداشت منابع از منـاطق حفاظت شده روز به روز در سراسـر جهـان حـال افـزایش است. این تضاد امری پیچیده و چالش برانگیز است که بـه دلیل منافع و ارزش های رقابتی به‌وجود می‌آید (Yilmato & Takele, 2019). از یک طـرف، منـاطق حفاظـت شـده برای حفظ تنوع زیستی، اکوسیستم‌ها و میراث فرهنگـی و طبیعی ایجاد شده‌انـد و از سـوی دیگـر، منـافع اقتصـادی متعددی در بهره برداری از منابع موجـود در ایـن منـاطق برای مقاصد مختلف مانند استخراج معادن (Sonter *et al.*, 2020)، کشـاورزی (Clerici *et al.*, 2020) یـا گردشـگری (Ristić *et al.*, 2019) وجود دارد. در صـورت عـدم وجـود تعادل در این راستا، تخریب و از دست روی اکوسیسـتم و موجودات آن امری گریزناپذیر خواهد بود. آلودگی محـیط زیست یکی از مهمترین اثرات بهره‌برداری خارج از ظرفیت برد منابع طبیعی در مناطق حفاظت شده است. مطالعـات مختلفـی از قبیـل Sun و همکـاران (۲۰۱۹)، Kan و همکاران (۲۰۲۱) و Zhang و Wang (۲۰۲۰) نشان دادند که فعالیت‌هایی از قبیل اکتشافات و استخراج مواد معدنی، حمل و نقل جاده‌ای برای انتقال آن‌ها و افـزایش ترافیـک می‌تواند به انتشار و تجمـع عناصـر بـالقوه سـمی (عناصـر سنگین) در بخـش‌هـای مختلـف اکوسیسـتم‌هـای تحـت حفاظت منجر شود.

فلـزات سـنگین بـه آن دسـته از عناصـر شـیمیایی گفتـه می‌شود که چگالی آنهـا بیشـتر از ۳ گـرم بـر سـانتی‌متـر مکعب است. این عناصر بیشتر در قسمت مرکـزی جـدول تناوبی و فلـزات انتقـالی حضـور دارنـد و بـه صـورت آزاد، اکسید و یا سـولفید دیـده مـی‌شـوند (Gu *et al.*, 2022). برخی از این عناصر به علت خواص سمی و تجمع پـذیری حتی در غلظت‌های بسیار کم نیز از اهمیت محیط‌زیسـتی بالایی برخوردارند و به دلیل تشکیل کمپلکس‌های پایـدار، در طولانی مدت اثرات شدید سلامتی از جملـه اخـتلالات عصبی، مشکلات تولید مثل، سرکوب سیستم ایمنی برجـا خواهنـد گذاشـت (Mehrandish *et al.*, 2019). عناصـر سمی بالقوه را می‌توان به طور طبیعـی در سـنگ و خـاک یافت اما تجمع بـالای آن‌هـا در محـیط عمومـاً بـه دلیـل تشدید فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد (Gu *et al.*, 2022). کادمیوم یکی از مهمترین و خطرناک‌تـرین عناصـر سـمی است که می تواند از طریق فعالیت های مختلـف صـنعتی،

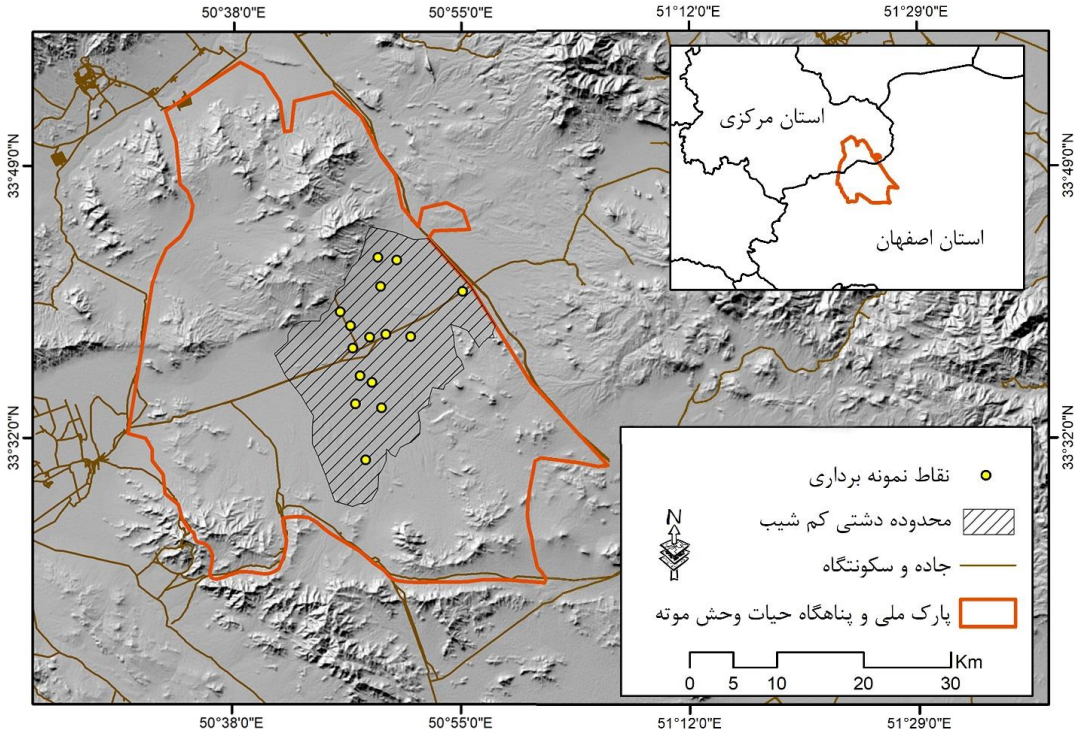
کشاورزی و شهری در خاک تجمع یابد و چرخه مواد مغذی را مختل کند. بر اساس طبقه‌بندی آژانس مواد سمی و ثبت بیماری‌ها، این عنصر هفتمین ماده خطرات بیماری‌زا شناخته شده است (Suhani *et al.*, 2021). در حال حاضر، آلودگی به کادمیوم در سراسر جهان به یک بحران تبدیل شده است و میزان انتشار آن با نرخ ۷ هزار تن در سال رو به افزایش است. در جنوب شرق آسیا، وسعتی بالغ بر ۲۵ میلیون هکتار به این فلز آلوده شده است و نرخ افزایش آن منطقه اسکاندیناوی برابر با ۰/۲ درصد در سال تخمین زده شده است (Suhani *et al.*, 2021). در انسان و سایر جانوران، سطوح بالای کادمیوم منجر به مشکلات کلیوی، تنفسی، عصبی می‌شود (Lordan & Zabetakis, 2022). در گیاهان نیز باعث اختلال در جذب نور و سرکوب رشد و فتوسنتز می‌شود (Haider *et al.* 2021). Wang و همکاران (۲۰۲۳b) در مطالعه بر روی تجمع کادمیوم در خاک و گیاه نشان دادند که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، میزان تجمع آن در بخش‌های مختلف گیاهان بوته‌ای به بیش از ۷۵ میلیگرم بر کیلوگرم نیز می‌رسد. Li و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که رشد و نمو گیاهان بوته‌ای در مناطق خشک به شدت تحت تأثیر غلظت کادمیوم خاک قرار دارد و امکان تجمع آن در سایر موجودات وجود دارد. نتایج مطالعه Gholinejad و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیانگر افزایش غلظت کادمیوم در خاک‌های سطحی اطراف نواحی صنعتی و معدنی و همچنین افزایش مقدار آن در گیاهان بوته‌ای بود.

پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته با وسعتی حدود ۲۰۰۰۰۰ هکتار در اطراف روستای موته از توابع شهرستان میمه استان اصفهان قرار دارد و به واسطه ویژگی های طبیعی و غنای گیاهی و جانوری از ارزش حفاظتی بالایی برخوردار است (Khosravi *et al.*, 2018). ارتفاع منطقه از سطح دریا بین ۱۹۰۰ تا ۳۰۰۰ متر و اقلیم منطقه نیمه خشک با تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان سرد است. متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۳۰۰-۲۵۰ میلی‌متر که بیش‌ترین بارندگی آن در زمستان و اوایل بهار است. پناهگاه حیات‌وحش موته از دو بخش اصلی، مناطق دشتی و هموار که زیستگاه آهو و مناطق کوهستانی که محل زیست قوچ و میش و کل و بز می‌باشد، تشکیل شده است. جنس‌های گون (*Astragalus*)، علف‌شور (*Salsola*) و درمنه از فراوانترین گونه‌های گیاهی منطقه هستند (Asri, 2008). موته به دلیل برخورداری از منابع معدنی و کانی‌های بسیار غنی از نقطه نظر اقتصادی برای ساکنان منطقه و بسیاری از ساکنین مناطق دور و نزدیک آن حائز اهمیت است. به طوری که بیش از ۳۴ درصد از اشتغال منطقه را تأمین کرده است (Khatoon Abadi, 2001). در سال‌های اخیر به دلیل جاذبه‌های معدنی و ذخایر غنی از کانی‌های مختلف به شدت مورد توجه بوده است. با این حال معادن طلای متعدد در پناهگاه حیات‌وحش موته باعث شده تا آلودگی خاک و گیاهان بومی این منطقه به طیفی از آلاینده‌هایی شیمیایی و معدنی بخصوص کادمیوم شود. از این رو در مطالعه حاضر، نمونه‌های خاک و گیاهان بوته‌ای (درمنه دشتی؛ *Artemisia sieberi*) در چند نقطه برداشت و غلظت کادمیوم آن‌ها برای آگاهی از شرایط این منطقه مورد بررسی و مقیاسه قرار گرفت. همچنین عامل انتقال عنصر به گیاه محاسبه و نقش زیرساخت‌های انسانی در بروز این آلودگی بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته با وسعت تقریبی ۲۰۴۴۱۵ هکتار در اطراف روستای موته، از توابع شهرستان میمه در حد واسط دو استان اصفهان (شهرستان میمه) و مرکزی (شهرستان دلیجان) واقع شده است (شکل ۱). در این مطالعه، بخش دشتی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته با وسعت ۴۲۳/۸ کیلومترمربع مورد مطالعه قرار گرفت.




**شکل ۱- منطقه مورد مطالعه: بخش دشتی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته**

## نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه

نمونه‌های خاک (از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) و برگ گیاه درمنه دشتی در ۱۵ نقطه با سه تکرار (شکل ۱) در پاییز سال ۱۳۹۸ از قسمت‌های مختلف در منطقه برداشت شد. نمونه‌های گیاه از قسمت‌های برگ و نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برداشته و در ظروف پلی‌اتیلن به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های گیاه ابتدا با آب شسته، با آب مقطر تمیز و در هوای آزاد کاملاً خشک شدند. گیاهان به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس آسیاب شدند. برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در فضای باز قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند تا سنگ‌ها و سنگ‌ریزه‌های آن جدا شوند. در نهایت برای اندازه‌گیری غلظت کل کادمیوم در نمونه‌های خاک و گیاه از روش هضم با اسیدنیتریک غلیظ (Hortwiz, 2000) استفاده شد. در نهایت غلظت کادمیوم در هر نمونه توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer 3030 با قرائت شد. برای تأیید صحت روش کار و اطمینان از روش آماده‌سازی نمونه‌های گیاه و خاک، از روش افزودن استاندارد و درصد بازیابی استفاده شد. بدین منظور، نمونه‌های شاهد (بدون خاک و گیاه) و مرجع استاندارد خاک SQC-001 و گیاه CRM 402 خریداری شده از شرکت سیگما-آلدریچ اسپانیا به‌طور همزمان برای تضمین کیفیت و کنترل کیفیت اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که درصد بازیابی کادمیوم از ۹۷/۸-۹۱/۳ درصد برای نمونه‌های خاک و از ۱۰۱-۸۹/۹ درصد برای نمونه‌های گیاهی متغیر بوده و نشان‌دهنده‌ی اطمینان و دقت روش مورد استفاده برای تعیین مقادیر کادمیوم است. همچنین، مقادیر حد تشخیص و محدودیت کمی برای کادمیوم به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱۵ و ۰/۰۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است.

توزیع نرمال غلظت‌های بدست آمده در گیاه و خاک با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[۱] محاسبه و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لوین[۲] بررسی گردید. از آنجایی که غلظت‌های محاسبه شده دارای توزیع نرمال نبوده و واریانس داده‌ها نیز همگن نبود، از آزمون غیرپارامتری کروسکال والیس[۳] برای مقایسه غلظت‌های محاسبه شده بین ایستگاه‌های مختلف استفاده شد.

۱- Kolmogorov-Smirnov
۲- Levene's test
۳- Kruskal-Wallis test

**میانیابی غلظت کادمیوم:** امروزه روش‌های بسیار زیادی برای شناسایی مقادیر نامعلوم در مکان‌های مختلف با استفاده از مقادیر معلوم در نقاط محدود ارائه شده که به روش‌های میانیابی موسوم هستند. بسته به نوع داده و توزیع آماری آن‌ها و همچنین داده‌های کمکی، روش‌های موجود به دسته‌های مختلفی از قبیل رگرسیون کاربری اراضی، کریجینگ و معکوس فاصله وزنی[۴] تقسیم‌بندی شده‌اند (Yanto *et al.* 2022). در این مطالعه به دلیل توزیع غیر نرمال داده‌های بدست آمده هم در گیاه و هم در خاک از روش معکوس فاصله وزنی در نرم‌افزار ArcGIS برای پهنه‌بندی غلظت کادمیوم خاک و گیاه در منطقه دشتی موته استفاده شد. این روش فرض می‌کند که نقاط مجاور تأثیر بیشتری بر مقدار نامعلوم متغیر در مکان‌های نزدیک‌تر نسبت به مکان‌های دورتر دارد. به عبارت دیگر، هر چه یک نقطه با مقدار مشخص به مکان هدف نامعلوم نزدیک‌تر باشد، تأثیر بیشتری بر ویژگی‌های هدف دارد، و بنابراین باید وزن یا تأثیر بیشتری بر مقدار درونیابی داشته باشد. این روش با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است که در آن: $IDW_{(x_0)}$ مقدار درونیابی شده در مکان نامعلوم، n تعداد نقاط معلوم، $W_i(x_i)$ وزن اختصاص داده شده به نقطه داده شناخته شده بر اساس فاصله آن تا مکان نامعلوم و $z_i$ مقدار عددی نقطه معلوم است (de Oliveira Júnior *et al.*, 2019). پس از استخراج نتایج میانیابی، وسعت و موقعیت مکانی نواحی با غلظت کادمیوم بیش از ۵ mg/kg در خاک و بیش از ۰/۲ mg/kg در برگ گیاه بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (Rafati *et al.*, 2020) به عنوان بخش‌های آلوده گزارش گردید.

$$IDW_{(x_0)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i(x_i) \times z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i(x_i)} \quad (۱)$$

**عامل انتقال کادمیوم از خاک به گیاه:** عامل انتقال معرف انتقال عناصر از خاک به گیاهان بر اساس نسبت غلظت یک عنصر خاص در بافت های گیاه به غلظت همان عنصر در خاکی است که گیاه در آن رشد می کند (Singh & Rathore, 2020). افزایش مقدار این عامل به عدد ۱ نشان‌دهنده‌ی افزایش تمایل گیاه به جذب عنصر در بافت‌های خود است. این شاخص به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود که $C_{plant}$ غلظت عنصر در برگ گیاه و $C_{Soil}$ غلظت عنصر در خاک پای گیاه است (Moradi *et al.*, 2021).

$$TF = \frac{C_{plant}}{C_{Soil}}$$

**بررسی ارتباط غلظت کادمیوم و حضور ساختارهای انسانی:** شبکه جاده در منطقه موته برای دسترسی شهر گلپایگان به مسیر مواصلاتی شمال به جنوب مرکز ایران و همچنین برای حمل و نقل ماشین‌آلات و محصولات سنگی و معدنی از معادن طلای موته طراحی شده است. از آن‌جا که این شبکه ارتباطی تنها عامل حضور فعالیت‌های انسانی در منطقه است، ابتدا از تحلیل همبستگی برای شناسایی ارتباط خطی بین غلظت کادمیوم در خاک و گیاه و همچنین ارتباط آن‌ها با فاصله از شبکه جاده استفاده شد. سپس اثر جاده بر غلظت کادمیوم با استفاده از تعدادی از مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا، لایه فاصله اقلیدسی از جاده تولید گردید و فاصله هر نقطه نمونه‌برداری تا جاده به عنوان فاکتور مستقل محاسبه شد. سپس غلظت کادمیوم خاک نیز به عنوان پارامتر وابسته در نظر گرفته شد. بهترین مدل رگرسیونی از بین مدل‌های خطی، لگاریتمی، توانی، نمایی و چندجمله‌ای (Guthery & Bingham, 2007) بر اساس مقدار ضریب تشخص (Chicco *et al.*, 2021) مدل انتخاب و ارائه شد.

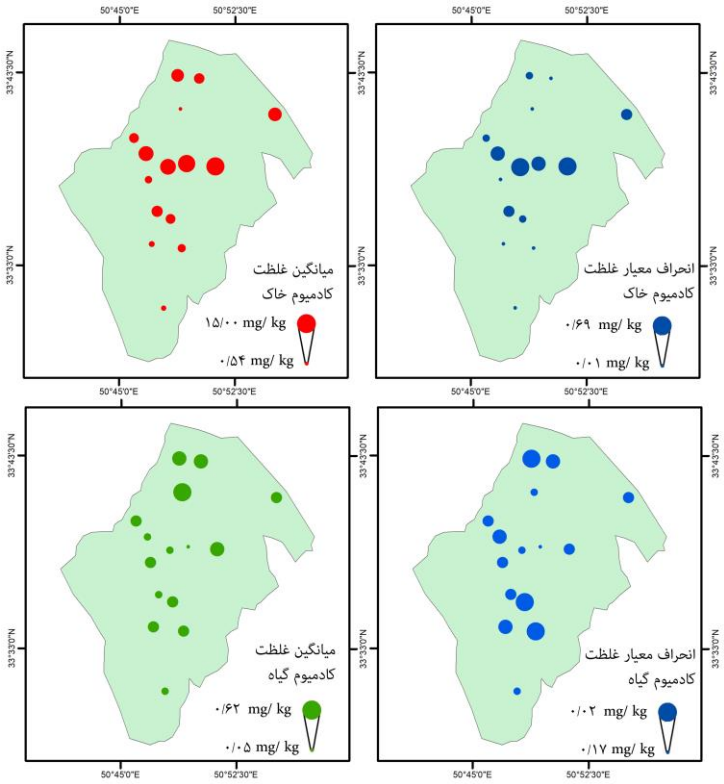
## نتایج

غلظت عنصر کادمیوم در نمونه‌های خاک و گیاه منطقه دشتی موته با سه تکرار با استفاده از دستگاه جذب اتمی بدست آمد (شکل ۲). بیشترین غلظت این عنصر در میانه‌های منطقه برابر با ۰/۶۹ mg/kg ± ۱۵/۰۰ بدست آمد که با حرکت به سمت قسمت‌های جنوبی منطقه، به تدریج از غلظت آن کاسته شد. کمترین غلظت ثبت شده از کادمیوم نیز برابر با ۰/۰۳ mg/kg ± ۰/۵۴ بدست آمد. غلظت کادمیوم در نمونه‌های گیاه به مراتب کمتر از نمونه‌های خاک بدست آمد. بیشترین غلظت این عنصر در برگ‌های گیاه درمنه در بخش‌های شمالی ناحیه برابر با ۰/۰۹ mg/kg ± ۰/۶۲ بود و کمترین مقدار نیز در بخش میانی (۰/۰۵ ± ۰/۳۲ mg/kg) ثبت

[۴]- Inverse distance weighted (IDW)

گردید (شکل ۲). نتایج حاصل از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای غلظت کادمیوم در خاک و گیاه نشان دهنده‌ی توزیع غیر نرمال آن‌ها بود (p-value = ۰/۰۰۱). همچنین مقادیر p-value آزمون لوین برای غلظت کادمیوم در خاک و گیاه به ترتیب برابر با ۰/۰۱۳ و ۰/۰۱۲ بدست آمد که نشان‌دهنده‌ی ناهمگنی واریانس بین داده‌ها است. نتایج مقایسه میانگین حاصل از آزمون کروسکال-والیس در جدول ۱ نشان داده شده است. برای گیاه، تنها در ایستگاه ۷ و ۱۵، اختلاف معنی‌داری بین غلظت کادمیوم دیده شد حال آن‌که در خاک، بجز شباهت آماری بین ایستگاه‌های ۲ تا ۴ و ۹ و همچنین ۱، ۷، ۱۰ و ۵ تا ۷، سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری را از یکدیگر نشان دادند.

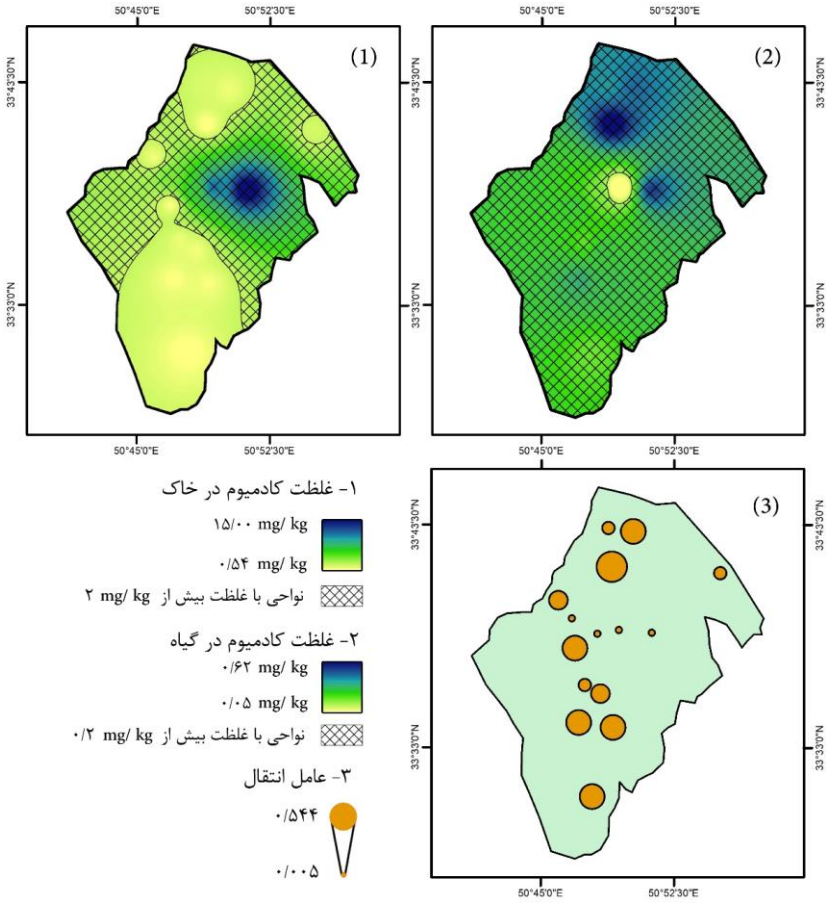
پهنه‌های حاصل از میانیابی غلظت کادمیوم در خاک و گیاه با استفاده از روش معکوس فاصله وزنی بدست آمد (شکل ۳). غلظت کادمیوم خاک در دو نقطه در مرکز منطقه مقادیر بسیار زیادی نسبت به سایر نقاط از خود نشان داد. بر اساس حد استاندارد ۲ mg/kg کادمیوم در خاک (European Union, 2006; DOE, 2014) وسعتی برابر با ۲۴۵/۳۹ کیلومترمربع از منطقه به عنوان ناحیه آلوده به این عنصر از سایر نواحی جدا شد، حال آن‌که با در نظر گرفتن مقدار مجاز ۰/۲ mg/kg در گیاه، بخش‌های بسیار زیادی از پوشش گیاهی منطقه آلوده به کادمیوم شناسایی شد. چنانچه در شکل ۳ نشان داده شده، مقدار کادمیوم گیاه تنها در یک نقطه نمونه‌برداری در محدوده قابل قبول ۰/۰۵ mg/kg قرار داشت و وسعت نواحی با پوشش گیاهی آلوده برابر با ۱۸/۶۱ کیلومترمربع (کمتر از ۵ درصد از بخش دشتی موته) تعیین گردید. مقدار و توزیع مکانی عامل انتقال کادمیوم از خاک به برگ‌های درمنه در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس، عامل انتقال بین دو مقدار ۰/۰۰۵ تا ۰/۵۴۴ با متوسط ۰/۲۴ ± ۰/۳۲ بدست آمد. کمترین مقدار عامل انتقال در نواحی دیده شد که آلودگی خاک به کادمیوم در مقدار حداکثر قرار داشته است. به عبارت دیگر، بالاتر بودن غلظت کادمیوم در میانه‌های منطقه دشتی موته عاملی بر افزایش انتقال کادمیوم به گیاه نبوده ولی با این حال، مقدار انباشت این عنصر سمی در درمنه دشتی بیش از مقدار مجاز بوده است.




**شکل ۲- میانگین و انحراف معیار غلظت کادمیوم در نمونه‌های خاک و گیاه در نقاط نمونه‌برداری در بخش دشتی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته (پاییز ۱۳۹۸)**

**جدول ۱- متوسط غلظت کادمیوم در خاک و گیاه و مقایسه میانگین بین ایستگاه‌های مختلف با استفاده از آزمون غیر پارامتری کروسکال- والیس (حروف متفاوت نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها است)**

| ایستگاه | غلظت کادمیوم در خاک | غلظت کادمیوم در گیاه |
|---|---|---|
| ۱ | ۱/۰۷ ± ۰/۱۱ ab | ۰/۲۶ ± ۰/۱۰ ab |
| ۲ | ۰/۶۸ ± ۰/۰۳ a | ۳۷ ± ۰/۱۲ ab |
| ۳ | ۰/۷۲ ± ۰/۰۴ a | ۰/۳۱± ۰/۱۱ ab |
| ۴ | ۰/۵۷ ± ۰/۰۴ a | ۰/۲۵ ± ۰/۰۹ ab |
| ۵ | ۰/۸۱ ± ۰/۰۳ ab | ۰/۳۳ ± ۰/۱۴ ab |
| ۶ | ۰/۹۲ ± ۰/۰۵ ab | ۰/۳۲ ± ۰/۱۵ ab |
| ۷ | ۱/۰۰ ± ۰/۰۱ ab | ۰/۴۶ ± ۰/۱۲ b |
| ۸ | ۱/۵۰ ± ۰/۰۷ b | ۰/۴۱ ± ۰/۱۷ ab |
| ۹ | ۰/۵۴ ± ۰/۰۳ a | ۰/۶۲ ± ۰/۰۹ ab |
| ۱۰ | ۰/۹۲ ± ۰/۰۵ ab | ۰/۳۰ ± ۰/۱۰ ab |
| ۱۱ | ۳/۶۲ ± ۰/۲۱ c | ۰/۲۸ ± ۰/۱۲ ab |
| ۱۲ | ۱۵/۰۰ ± ۰/۶۹ f | ۰/۵۱ ± ۰/۱۱ ab |
| ۱۳ | ۱/۶۰ ± ۰/۱۵ b | ۰/۳۶ ۰/۱۰ ab |
| ۱۴ | ۵/۷۳ ± ۰/۵۱ d | ۰/۲۴ ± ۰/۰۸ ab |
| ۱۵ | ۱۰/۰۰ ± ۰/۲۰ e | ۰/۰۵ ± ۰/۰۲ a |

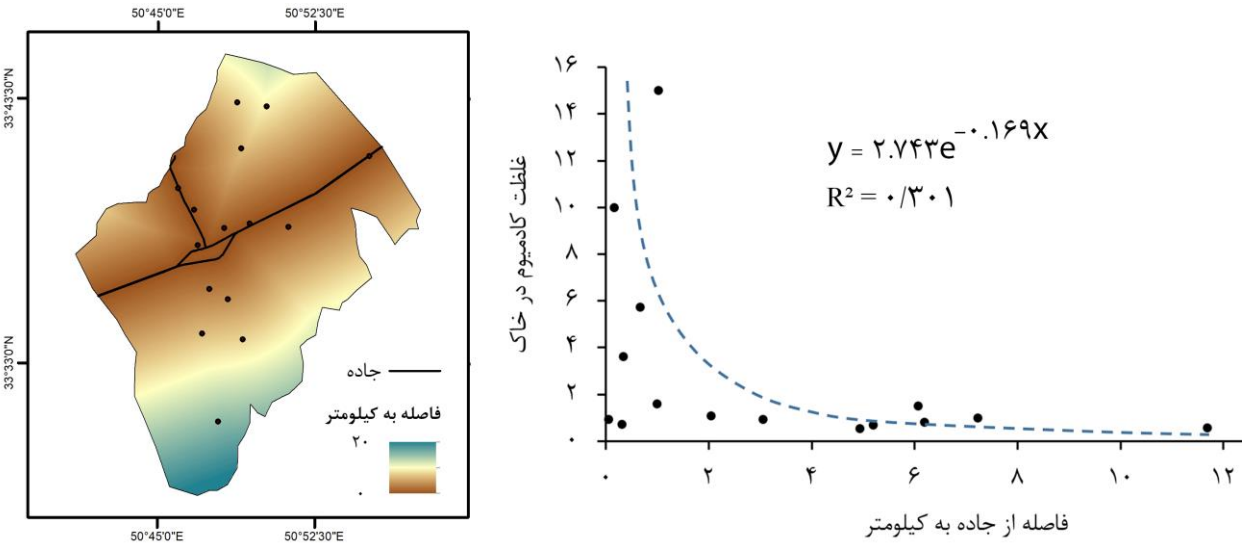



**شکل ۳- پهنه‌بندی توزیع غلظت کادمیوم در خاک و گیاه با استفاده از روش معکوس فاصله وزنی و مقادیر عامل انتقال در نقاط نمونه‌برداری**

نتایج همبستگی (اسپیرمن) بین غلظت کادمیوم در خاک و گیاه و همچنین ارتباط آن‌ها با فاصله از شبکه جاده (جدول ۲) نشان داد که ارتباط خطی معنی‌داری بین هیچ کدام از اجزای مورد بررسی وجود ندارد. همچنین، نتایج مدل رگرسیونی نشان داد که غلظت‌های بالاتر از mg/kg ۲ کادمیوم در خاک همگی در فاصله کمتر از ۱۵۰۰ متر از راه‌های ارتباطی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته قرار داشته و با افزایش فاصله از جاده به بیش از این مقدار، غلظت کادمیوم خاک افت شدید و ناگهانی را تجربه و به کمتر از mg/kg ۲ رسیده است (شکل ۴). با درنظر گرفتن غلظت کادمیوم در خاک به عنوان متغیر وابسته و فاصله از جاده به عنوان متغیر مستقل، بهترین مدل رگرسیونی در حالت مدل نمایی با مقدار ضریب تشخیص ۰/۳۰۱ ساخته شد (شکل ۴) که بر این اساس، غلظت کادمیوم خاک را می‌توان به عنوان پارامتری غیرخطی از نزدیکی به شبکه جاده در پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته درنظر گرفت.

**جدول ۲- همبستگی اسپیرمن بین غلظت کادمیوم در خاک و گیاه و فاصله از شبکه جاده در منطقه دشتی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته**

| | فاصله از جاده | غلظت کادمیوم در خاک | غلظت کادمیوم در گیاه |
|---|---|---|---|
| **فاصله از جاده** | ۱ | | |
| **غلظت کادمیوم در خاک** | -۰/۴۲۳ | ۱ | |
| **غلظت کادمیوم در گیاه** | ۰/۲۵۹ | -۰/۱۰۹ | ۱ |




**شکل ۴- فاصله از جاده‌های اصلی در منطقه دشتی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته (چپ) و توزیع غلظت کادمیوم خاک در برابر فاصله از جاده (راست): نمودار رگرسیون نمایی با مقدار ضریب تشخیص ۰/۳۰۱ به صورت خطچین نشان داده شده است.**

## بحث

آلودگی خاک به عناصر سمی بالقوه بخصوص عناصر غیر ضروری یکی از چالش‌های مهم عصر حاضر است. این امر به طور خاص در مناطقی که دارای ارزش‌های اکولوژیکی هستند (مانند زیستگاه‌های حفاظت شده) از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است زیرا با افزایش آلودگی خاک و انتقال آلاینده‌ها به گیاهان، زنجیره غذایی با ارزش آن منطقه به شدت تهدید خواهد شد. پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته یکی از نمونه‌های مهم تعارض بین حفاظت از محیط زیست و بهره‌برداری از منابع آن است. اکتشاف طلا و احداث معادن متعدد در این منطقه و همچنین احداث کنارگذرهای شمال استان اصفهان باعث شد تا تهدیدات

زیادی متوجه اکوسیستم و گونه‌های این ناحیه شود. نتایج این مطالعه نشان داد که خاک‌های منطقه دشتی موته به عنصر کادمیوم آلوده شده است. مقادیر بالای این عنصر در برخی از نقاط که به محدوده‌ی mg/kg ۱۵ نیز رسیده است گواهی بر این مدعاست. تا محدوده‌های ۱ و حتی mg/kg ۵، اثر کادمیوم اغلب ناچیز و قابل چشم پوشی است و ممکن است تنها در برخی گیاهان و انسان‌های حساس، ایجاد مسمومیت کند ولی با افزایش سطح آن به بیش از mg/kg ۲، بروز برخی از اختلالات بیولوژیکی و افزایش تجمع زیستی آن دور از انتظار نخواهد بود ( Raj & Maiti, 2020). بر این اساس، محدوده‌ای به وسعت ۲۴۵/۳۹ کیلومترمربع در قسمت‌های مرکزی و محور شرقی-غربی منطقه دشتی موته را می‌توان در این بخش طبقه‌بندی کرد که نیازمند اتخاذ رویکردهای مدیریتی برای جلوگیری از انتشار بیشتر این عنصر و تلاش برای احیای خاک‌های این ناحیه است.

گونه‌های مختلف درمنه بسته به منطقه جغرافیایی و جانداران علفخوار، طیف بزرگی از خوشخوراکی بالا تا متوسط را نشان می‌دهند( Rashtian & Karimian, 2014). همچنین تیپ‌های رویشی درمنه در حالت متراکم می‌توان زیستگاه‌های مناسبی برای بسیاری از گونه‌های حیات‌وحش فراهم کنند. با این حال نتایج نشان داد که در منطقه موته، این گیاهان به سطوح بالایی از کادمیوم آلوده شده‌اند. به دلیل سمیت بالای کادمیوم، سطح مجاز این عنصر در محدوده mg/kg ۰/۲ – ۰/۱ قرار دارد (European Union, 2006; DOE, 2014). با در نظر گرفتن این غلظت مجاز، بجز یک نقطه در مرکز منطقه، تمام تیپ پوشش گیاهی منطقه با وسعت ۲۱۶/۱۹ کیلومترمربع به سطوح بسیار بالای کادمیوم آلوده شده است. نتایج مطالعات مختلفی از قبیل Haider و همکاران (۲۰۲۱) نشان داده است که این سطوح از غلظت کادمیوم می‌تواند در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف گیاه مانند فتوسنتز، جذب مواد مغذی، فعالیت آنزیم‌ها و رشد تداخل ایجاد کند. همچنین زمانی که درمنه در معرض غلظت بالای کادمیوم در خاک قرار می گیرد، می تواند کادمیوم را در بافت های خود انباشته کند (Wang *et al.*, 2023a) که تهدید بالقوه برای گیاهخواران یا مصرف کنندگان سطح بالاتر است. عامل انتقال بدست آمده در این مطالعه در محدوده عددی ۰/۰۰۵ تا ۰/۵۴۴ قرار گرفت که به معنی ظرفیت متوسط تا متوسط رو به بالا برای جذب کادمیوم از خاک است. وجود نتایج متفاوت بین این مطالعه و مطالعاتی مانند Moradi و همکاران (۲۰۲۱) گویای این است که عامل انتقال می تواند بسته به شرایط محیط مانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، اقلیم، شدت آلودگی خاک و تیپ‌های گیاهی متفاوت باشد.

به طور کلی سه منبع اصلی آلودگی کادمیوم به وسیله فعالیت‌های انسانی وجود دارد که شامل احتراق سوخت‌های فسیلی توسط وسایل نقلیه، پساب های صنعتی و پسماندهای جامد است (Zhang & Wang, 2020). در موته، صنایع بزرگ تولید کننده پساب وجود ندارد و پسماندهای جامد شهرهای همجوار اجازه دفن در منطقه موته را ندارند اما عبور مرور وسایل نقلیه به‌خصوص به مقصد معدن طلای موته و همچین در مسیر مواصلاتی گلپایگان موجب افزایش آلودگی محیط به عناصر سمی بالقوه ناشی از احتراق درونی می‌شود. این امر به‌خصوص زمانی اهمیت پیدا می‌کند که سوخت بنزین و گازوئیل خودروها در ایران عموماً حاوی مقادیر بالایی از عناصر سمی بالقوه است. اثر معنی‌دار این منبع بر افزایش غلظت کادمیوم خاک با استفاده از تحلیل رگرسیون (نمایی) فاصله از جاده در برابر غلظت کادمیوم خاک به اثبات رسید. نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت‌های بالای کادمیوم خاک در حریم ۲ کیلومتری جاده‌های موته رخ داده است و در نواحی دورتر از این حریم، متوسط غلظت کادمیوم به کمتر از mg/kg ۵ و به محدوده استاندارد این عنصر نزدیک می‌شود. این نوع تغییر پذیری بیشترین تطابق را با مدل نمایی کاهشی دارد. این نتیجه مشابه با نتیجه مطالعه Bakirdere & Yaman (۲۰۰۸) که نشان دادند با افزایش فاصله از جاده، غلظت کادمیوم خاک روند کاهشی شدیدی را دنبال خواهد کرد. مشابه با نتایج این تحقیق، Khalilia (۲۰۲۰) و Kumar و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که غلظت بالای این عنصر در خاک‌های اطراف جاده‌ها و کاهش غلظت آن‌ها با افزایش فاصله از جاده معیاری از اثر حمل و نقل جاده‌ای بر افزایش آلودگی خاک است. عدم همبستگی خطی بین غلظت کادمیوم در خاک و گیاه را می‌توان به وجود عوامل متعددی که بر

دسترسی زیستی[۵] این فلز اثر می‌گذارد، مرتبط دانست. به طور مثل، جریانات اتمسفری و رونابهای سطحی می‌توانند در فواصل زمانی کوتاه موجب تغییر الگوی توزیع آلاینده‌های خاک و دسترسی آن‌ها برای گیاهان در تمام دوران رشد خود باشند. خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، فعالیت‌های میکروبی خاک و سن گیاه نیز از عوامل دیگری است که می‌تواند بر این نتایج تاثیرگذار باشد. بطور کلی، جلوگیری از احداث راه‌های مواصلاتی در مناطقی با اکوسیستم‌های ارزشمند، افزایش کیفیت سوخت و خودروها و همچنین کاهش بار ترافیکی به عنوان مهم‌ترین راهکارها برای حفظ محیط زیست و کاهش آلودگی به عناصر سمی بالقوه پیشنهاد می‌گردد.

این مطالعه به منظور بررسی آلودگی خاک و گیاهان منطقه دشتی پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش موته به فلز کادمیوم انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت‌های قابل توجهی از این عنصر در بخش‌های مختلف این ناحیه وجود دارد. بر اساس میانیابی به روش معکوس فاصله وزنی، به ترتیب ۵۱/۰۶ و ۹۵/۴ درصد از خاک و پوشش گیاهی (درمنه دشتی) منطقه دشتی موته به کادمیوم آلوده شد است. عامل انتقال فلز از خاک به گیاه در محدوده متوسط رو به بالا قرار داشت. بر اساس مدل رگرسیون نمایی نیز اینطور می‌توان نتیجه گرفت که حمل و نقل جاده‌ای در منطقه موته که به‌واسطه تسریع فعالیت‌های معدنی در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده، مهمترین عامل در افزایش غلظت کادمیوم در خاک‌های منطقه بوده است.

## منابع


1. **Asri, Y., 2008.** Vegetation diversity in mooteh wildlife refuge. Rostaniha, 9**,** 25-48.
2. **Bakirdere, S. and Yaman, M., 2008.** Determination of lead, cadmium and copper in roadside soil and plants in elazig, turkey. Environmental monitoring and assessment, 136**,** 401-140.
3. **Chicco, D., Warrens, M.J. and Jurman, G., 2021.** The coefficient of determination r-squared is more informative than smape, mae, mape, mse and rmse in regression analysis evaluation. Peerj computer science, 7**,** e623.
4. **Clerici, N., Armenteras, D., Kareiva, P., Botero, R., Ramírez-Delgado, J., Forero-Medina, G., Ochoa, J., Pedraza, C., Schneider, L. and Lora, C., 2020.** Deforestation in colombian protected areas increased during post-conflict periods. Scientific reports, 10**,** 4971.
5. **Darvishsefat, A.A., 2006.** Atlas of protected areas of iran.
6. **De Oliveira Júnior, A.J., De Souza, S.R.L., Dal Pai, E., Rodrigues, B.T. and De Souza, V.C., 2019.** Aurora: mobile application for analysis of spatial variability of thermal comfort indexes of animals and people, using idw interpolation. Computers and electronics in agriculture, 157**,** 98-101.
7. **Department of Environment, 2014.** Standards for quality of soil resources and its guides. Tehran: department of environment, of- fice of water and soil; 2014 (in persian).
8. **European Union, 2006.** Commission regulation (ec) no. 1881/2006 of 19 december 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official journal of european union l364/5.
9. **Geldmann, J., Manica, A., Burgess, N.D., Coad, L. and Balmford, A., 2019.** A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures. Proceedings of the national academy of sciences, 116**,** 23209-23215.
10. **Gholinejad, B., Mehrju, S., Bandak, I., Osati, K., Ghorbani, F. and Farajollahi, A., 2021.** Spatial distribution of heavy metal concentrations surrounding a cement factory and its effect on astragalus gossypinus and wheat in kurdistan province, iran. Global journal of ecology, 6**,** 014-027.
11. **Gu, H., Liu, X., Wang, S., Chen, Z., Yang, H., Hu, B., Shen, C. and Wang, X., 2022.** Cof-based composites: extraordinary removal performance for heavy metals and radionuclides from aqueous solutions. Reviews of environmental contamination and toxicology, 260**,** 23.
12. **Guthery, F.S. and Bingham, R.L., 2007.** A primer on interpreting regression models. The journal of wildlife management, 71**,** 684-692.
13. **Haider, F.U., Liqun, C., Coulter, J.A., Cheema, S.A., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M. and Farooq, M., 2021.** Cadmium toxicity in plants: impacts and remediation strategies. Ecotoxicology and environmental safety, 211**,** 111887.
14. **Horwitz, W., 2000.** Official methods of analysis of aoac. In: metals and other elements, 17nd ed.aoac int. Pp 22-27
15. **Kan, X., Dong, Y., Feng, L., Zhou, M. and Hou, H., 2021.** Contamination and health risk assessment of heavy metals in china's


[۵]- Bioavailability

16. **Khalilia, W.M., 2020.** Assessment of lead, zinc and cadmium contamination in the fruit of palestinian date palm cultivars growing at jericho governorate. Assessment, 10.
17. **Khatoon Abadi, A., 2001.** Socio-economic report, comprehensive plan of mote. Isfahan university of technology, faculty of natural resources. [in persian].
18. **Khosravi, R., Hemami, M.R. and Malekian, M., 2018.** Assessing landscape connectivity and dispersal corridors for goitered gazelle in central iran. Iranian journal of applied ecology, 6**,** 49-64.
19. **Kumar, M.S., Sangwan, P. and Karthik, R., 2020.** Effect of heavy metal concentrations in roadside soils: a review. Journal of pharmacognosy and phytochemistry, 9**,** 1812-1816.
20. **Li, X., Wang, Y., Guo, P., Zhang, Z., Cui, X., Hao, B. and Guo, W., 2023.** Arbuscular mycorrhizal fungi facilitate astragalus adsurgens growth and stress tolerance in cadmium and lead contaminated saline soil by regulating rhizosphere bacterial community. Applied soil ecology, 187**,** 104842.
21. **Lordan, R. and Zabetakis, I., 2022.** Cadmium: a focus on the brown crab (cancer pagurus) industry and potential human health risks. Toxics, 10**,** 591.
22. **Mehrandish, R., Rahimian, A. and Shahriary, A., 2019.** Heavy metals detoxification: a review of herbal compounds for chelation therapy in heavy metals toxicity. Journal of herbmed pharmacology, 8**,** 69-77.
23. **Moradi, H., Abbasi, M. and Soleimani, M., 2021.** Bioaccumulation of heavy metals in stachys inflata and scariola orientalis affected by particulate matters of a cement factory in central iran. Environmental science and pollution research, 28**,** 44098-44110.
24. **Rafati, M., Mohammadi Roozbahani, M. and Pirmoradi, Z., 2020.** Bioaccumulation of some heavy metals by the soil and leaves of ziziphus spina-christi in khouzestan oxin steel company. Iranian journal of forest and range protection research, 17**,** 173-184.
25. **Raj, D. and Maiti, S.K., 2020.** Sources, bioaccumulation, health risks and remediation of potentially toxic metal (loid) s (as, cd, cr, pb and hg): an epitomised review. Environmental monitoring and assessment, 192**,** 108.
26. **Rashtian, A. and Karimian, A., 2014.** Effects of exclosure on some vegetative characteristics and distribution pattern of artemisia sieberi in central steppes of iran. Iranian journal of range and desert research, 21**,** 476-755.
27. **Ristić, D., Vukoičić, D. and Milinčić, M., 2019.** Tourism and sustainable development of rural settlements in protected areas-example np kopaonik (serbia). Land use policy, 89**,** 104231.
28. **Singh, R. and Rathore, D., 2020.** Role of transitory starch on growth, development and metal accumulation of triticum aestivum cultivars grown under textile effluent fertilization. Environmental science and pollution research, 27**,** 24201-24217.
29. **Sonter, L.J., Dade, M.C., Watson, J.E. and Valenta, R.K., 2020.** Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. Nature communications, 11**,** 4174.
30. **Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V. and Singh, R.P., 2021.** Impact of cadmium pollution on food safety and human health. Current opinion in toxicology, 27**,** 1-7.
31. **Sun, Y., Li, H., Guo, G., Semple, K.T. and Jones, K.C., 2019.** Soil contamination in china: current priorities, defining background levels and standards for heavy metals. Journal of environmental management, 251**,** 109512.
32. **Wade, C.M., Austin, K.G., Cajka, J., Lapidus, D., Everett, K.H., Galperin, D., Maynard, R. and Sobel, A., 2020.** What is threatening forests in protected areas? A global assessment of deforestation in protected areas, 2001–2018. Forests, 11**,** 539.
33. **Wang, H., Gao, Z., Li, X. and Duan, Z., 2023a.** Cadmium accumulation and immobilization by artemisia selengensis under different compound amendments in cadmium-contaminated soil. Agronomy, 13**,** 1011.
34. **Wang, Z., Wang, H., Wang, H., Qin, Y., Cui, S. and Wang, G., 2023b.** Dual tolerance of ageratum (ageratum conyzoides l.) To combined pollution of acid and cadmium: field survey and pot experiment. Journal of environmental management, 326**,** 116677.
35. **Yanto, M., Apriyono, A., Santoso, P.B. and Sumiyanto, S., 2022.** Landslide susceptible areas identification using idw and ordinary kriging interpolation techniques from hard soil depth at middle western central java, indonesia. Natural hazards, 110**,** 1405-1416.
36. **Yilmato, A. and Takele, S., 2019.** Human-wildlife conflict around midre-kebid abo monastry, gurage zone, southwest ethiopia. International journal of biodiversity and conservation, 11**,** 212-229.
37. **Zhang, Q. and Wang, C., 2020.** Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution :a review. Water, air, & soil pollution, 231**,** 1-13.




2023, The Author(s). Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

**Environment & Interdisciplinary Development**
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

# Soil and Plant Contamination with Cadmium in Motteh National Park and Wildlife Refuge (Isfahan, Iran)

**Ali Jamshidian[1], Atefeh Chamani[*2], Mozhgan Ahmadi Nadoushan[2]**

**1- Environmental Science and Engineering Department, College of Agriculture and Natural resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.**
**2[*]- Environmental Science and Engineering Department, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (khorasgan)Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.**

**Original Article**

**Received:** 2023.08.17

**Accepted:** 2023.12.30

**Keywords:**
Cadmium
Muteh
Soil Pollution
Artemisia Sieberi

## Abstract

**Introduction:** Protected areas are vital tools in the management and conservation of both terrestrial and marine environments. However, the conflict between conservation priorities and resource extraction from protected areas is increasing worldwide. Due to its high biodiversity, Mouteh National Park and Wildlife Refuge hold significant conservation value; nevertheless, in recent years, it has been heavily exploited due to rich mineral attractions. Consequently, the current study investigates the Cd concentration in the soil and plants in the Mouteh Basin, its transfer factor, and the influencing factors.

**Materials and Methods:** 45 soil samples were collected from a depth of 0-30 cm, and leaf samples of the *Artemisia sieberi* plant were obtained at 15 locations within the plain region of the Mouteh National Park and Wildlife Refuge, which spans an area of 423 $km^2$. The concentrations of Cd in these samples were determined using an atomic absorption spectrometer. The uptake of Cd by the plants was calculated and interpreted using the transfer factor. The Inverse Distance Weighting method in ArcGIS software was used to identify areas contaminated with Cd, with concentrations exceeding 5 mg/kg in soil and 2.0 mg/kg in plant leaves, based on the standard limits set by the WHO and U.S. EPA. Finally, linear, logarithmic, power, exponential and polynomial regression models were employed to examine the impact of road transportation on Cd pollution.

**Results:** The mean Cd concentrations in plants and soil (mg/kg) were found to be 0.39 ± 0.11 and 2.97 ± 0.15, respectively. The highest soil concentration of this element was recorded in the central areas of the region, reaching 15.00 ± 0.69 mg/kg. This concentration gradually decreased towards the southern parts of the region. The highest concentration of Cd in the leaves of *Artemisia sieberi* was observed in the northern sections of the region, at 0.62 ± 0.05 mg/kg, while the lowest value was recorded in the central part (0.32 ± 0.05 mg/kg). The transfer factor of Cd ranged from 0.005 to 0.544, with a mean of 0.934. According to the standard limit of 5 mg/kg for Cd in



* Corresponding Author's email: a.chamani@khuisf.ac.ir

soil, an area equivalent to 20.80% of the region was identified as Cd-contaminated. However, considering the permissible limit of 0.2 mg/kg in plants, a significant portion of the vegetation cover in the area (more than 95%) was found to be contaminated with Cd. The best regression model was achieved in the exponential form with a coefficient of determination of 0.301, indicating that road transportation is one of the most significant human factors contributing to the increase in Cd pollution in the Mouteh soil and plant species *Artemisia sieberi*.

**Discussion:** The exploration of gold and the establishment of multiple mines in the Mouteh region, as well as the construction of highways in the northern province of Isfahan, have led to significant threats to the ecosystem and species of this area. Based on the results, the soils of the Mouteh plain region have been contaminated with Cd. The high concentration of this element in soils near the roads and its decrease with increasing distance from the road are indicators of the impact of road transportation on soil pollution. Therefore, preventing the construction of transportation routes in areas with rich biodiversity, improving the quality of fuels and vehicles, and reducing traffic congestion are among the most important measures for protecting the environment and reducing pollution from potentially toxic elements in natural areas.