

ارزیابی و تعیین ریسک اکولوژیک سرب، روی و کادمیوم در گرد و غبار اتمسفری شهر اصفهان

اکرم کریمی^۱، گلنار مخفی^{۲*}، عیسی سلگی^۳، سحر باقرپور^۴

^۱ گروه محیط‌زیست ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

^{۲*} گروه محیط‌زیست ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران (مسول مکاتبات).

^۳ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

^۴ گروه علوم محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: گرد و غبار یکی از منابع مهم فلزات سنگین در محیط زیست است. فلزات سنگین با اتصال به ذرات گرد و غبار قادرند در مقیاس‌های وسیعی منتشر شوند. هدف از این پژوهش ارزیابی و سنجش میزان آلودگی فلزات سنگین در غبار ریزشی دشت سجزی اصفهان می باشد که در حال حاضر مهمترین منبع ریزگرد ها برای شهر اصفهان است.

روش بررسی: در این پژوهش پس جمع آوری نمونه ها برای سه فصل، میزان سرب و روی و کادمیوم موجود در آنها تعیین و با استفاده از شاخص‌های آلودگی نظیر شاخص زمین انباشتگی (Igeo)، فاکتور آلودگی (CF) و شاخص ارزیابی پتانسیل خطر محیط زیستی (RI) منطقه از نظر میزان آلودگی ارزیابی شد و براساس داده‌ها نقشه‌ی آلودگی منطقه استخراج گردید.

یافته‌ها: بررسی شاخص درجه آلودگی نشان می‌دهد کادمیوم و سرب در درجه بسیار پایین آلودگی و روی در طبقه پایین آلودگی قرار دارند که نشان دهنده عدم وجود آلودگی در منطقه است. همچنین شاخص خطر اکولوژیکی برای کادمیوم و سرب و مس در محدوده ریسک کم قرار دارد و همچنین خطر محیط زیستی برای هر سه عنصر در محدود کمتر از ۱۵۰ قرار دارد که نشان دهنده پتانسیل ریسک کم می باشد.

نتیجه گیری: به طور کلی می‌توان گفت توزیع آلودگی برای کادمیوم در فصول مختلف متفاوت است و ایستگاه ۲ و ۴ که در جنوب قرار دارند، بیشترین میانگین آلودگی را برای عنصر روی دارند همچنین ایستگاه ۴ برای عنصر سرب بیشترین میانگین آلودگی را نشان می دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت شیب آلودگی برای عنصر روی و سرب از شمال شرقی به طرف جنوب غربی می‌باشد و توزیع آلودگی برای کادمیوم در فصول مختلف متفاوت است.

کلید واژه: آلودگی هوا، فلزات سنگین، گرد و غبار اتمسفری، اصفهان

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مشکلات بزرگ محیط زیستی و اقتصادی در کلانشهرها می‌باشد و این مسئله به ویژه در شهرهای بزرگ صنعتی، به صورت مشکل حادث‌تری مطرح می‌شود. منابع آلاینده هوا می‌توانند طبیعی یا ناشی از فعالیت‌های انسان‌ها باشد البته عمده‌ترین منابع آلودگی هوا ناشی از فعالیت‌های انسانی، معدنکاری، صنایع و وسایل نقلیه هستند^{۱-۳}. نحوه ورود و تاثیر آلاینده‌ها بر موجودات زنده و فعالیت‌های آنها به ویژه انسان‌ها مسئله مهمی می‌باشد که نیاز به تحقیق و بررسی در این زمینه را نشان می‌دهد^۴.

با ورود این آلاینده‌ها به هوا، اولین حلقه آلودگی ایجاد می‌شود و سپس این مواد می‌توانند از طریق فرونشست (خشک یا مرطوب) به طور مستقیم (استنشاق، بلع و تماس پوستی) و یا غیر مستقیم از طریق تجمع در خاک، نشست بر گیاه و در نهایت با مصرف محصولات گیاهی وارد زنجیره غذایی انسان شوند^{۵-۶}.

به صورتی که ابراهیم ثانی در سال ۲۰۱۹ مطالعه‌ای در شهر پتالینگ جایا در کشور مالزی انجام داد در این مطالعه ۲۱ نمونه گرد و غبار جمع اوری شد و چهار عنصر کادمیوم، سرب، کروم و مس با استفاده از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت القایی (ICP-MS) آنالیز گردید. تجزیه و تحلیل ضریب غنی سازی (EF) نشان داد که تمام فلزات دارای مقادیر ضریب غنی سازی بیشتر از ۱/۵ هستند که نشان دهنده منشا انسانی آلودگی‌ها است. همچنین تجزیه و تحلیل چند متغیره انجام شده نشان داد که فعالیت‌های انسانی و باد می‌توانند منابع فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه باشند^۷.

وجود ارتباط بین ذرات معلق هوا و بیماریهای قلبی-عروقی و تنفسی در اواسط قرن اخیر به وسیله مطالعات اپیدمیولوژیک مختلفی که انجام گرفته است، به اثبات رسیده است^{۷،۸}. به طوری که شواهد نشان داده است که در روزهایی که آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق زیاد بوده است، موارد

پذیرش افرادی که دچار مشکلات قلبی، عروقی و تنفسی شده بوده‌اند، بیشتر بوده است^{۹،۱۰}. از طرفی خاصیت سمی و قابلیت تجمع زیستی فلزات سنگین در گیاهان و جانوران و ورود آنها به زنجیره غذایی، خطرهای ناشی از آنها را دو چندان کرده است و تأثیرات اکولوژیکی زیادی به وجود می‌آورد^{۱۱،۱۲}.

این در حالی است که آلودگی هوا به فلزات سنگین هر ساله در حال افزایش است علاوه بر آن حجم گرد و غبار که حامل این فلزات می‌باشد در سال‌های اخیر به دلیل کاهش پوشش گیاهی و فرسایش خاک روند صعودی به خود گرفته است.

تأثیرات زیانبار فلزات سنگین بر سلامتی انسان از جهات مختلف به اثبات رسیده است و مواجهه با این دسته از آلاینده‌ها موجب مسمومیت‌های حاد و مزمن و همچنین بیماری‌های مختلف از جمله اختلالات عصبی، برهم خوردن تعادل هورمون‌ها، اختلالات تنفسی و قلبی، کاهش حافظه، انواع سرطان و سرانجام مرگ می‌شود^{۱۳،۱۴}. سازمان بهداشت جهانی تخمین می‌زند که سالانه ۲/۴ میلیون نفر به دلیل آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند^{۱۵}. آلودگی هوا سبب افزایش شدید انواع بیماریهای تنفسی، پوستی، نقص‌های مادرزادی، ضعف جسمانی و بسیاری امراض دیگر شده، همچنین سبب افزایش بی رویه هزینه‌های جاری به منظور حذف این آلودگی‌ها می‌شود^{۱۶،۱۷}.

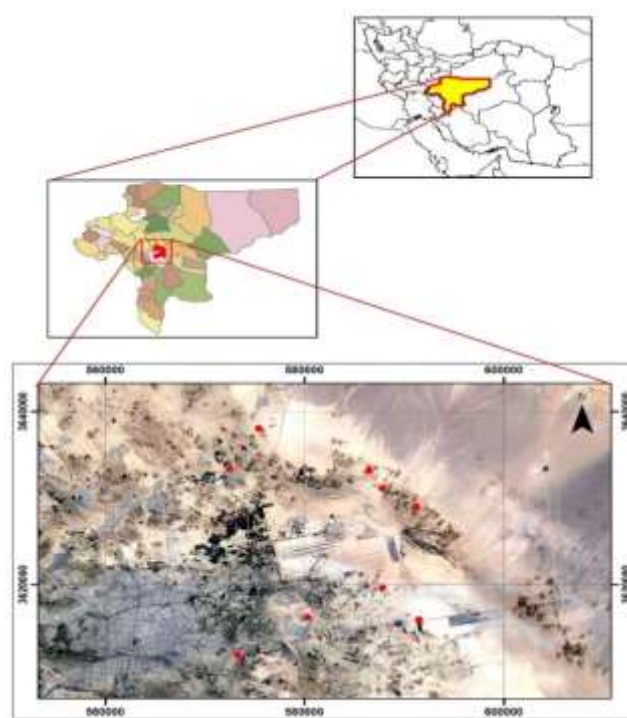
از عمده‌ترین منابع ورود فلزات سنگین به خاک می‌توان به فرونشست اتمسفری، لجن فاضلاب، کود حیوانی، آهک، کودهای شیمیایی و آب آبیاری اشاره نمود^{۱۸،۱۹}. لو و همکاران منابع ورود عناصر سنگین به خاک‌های کشاورزی منطقه‌ای از چین را بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که ۴۳ تا ۸۵٪ کل عناصر آرسنیک، کروم، جیوه، نیکل و سرب از طریق فرونشست جوی به خاک وارد می‌شود^{۲۰}.

موقعیت منطقه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷/۲۹ (۱۰۷/۲۹) کیلومتر مربع حدود ۶/۲۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است و بین ۳۰ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است.^{۲۲} منطقه مورد مطالعه (دشت سجزی) در فاصله ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان واقع شده است. اقلیم منطقه مورد مطالعه براساس روش گوسن نیمه بیابانی است و دارای پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد می باشد. این دشت هم اکنون بحرانی ترین کانون بیابانی استان اصفهان می باشد. (نقشه ۱)

باید توجه داشت که شدت اثرات آلاینده های شیمیایی به نوع، مقادیر ورودی و میزان تجمع آنها در منطقه عملیاتی بستگی دارد، که خود نیز به نوع محیط آبی یا خشکی و شرایط دوری و نزدیکی نسبت به منابع آلاینده بستگی دارد.^{۲۱} برای ارزیابی کمی و کیفی آلودگی فلزات سنگین و منشاء آنها، در محیط های خشکی، روش های متفاوتی وجود دارد. یکی از روش های رایج کمی سازی آلودگی، استفاده از شاخص های محیط زیستی می باشد. هدف اصلی در این مطالعه تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار جوی می باشد که به منظور کمی سازی آنها از شاخص های آلودگی استفاده می گردد.

مواد و روش ها



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

نمونه برداری

منطقه سجری مهم ترین کانون از ۱۶ کانون فرسایش بادی استان می باشد. از دلایل مهم تجمع ریزگردها در دشت سجری وجود مناطق صنعتی، معادن و کوره های گچ و آجرپزی دانست که با کمک بادهای غالب غربی و به همراه آلودگی شهری و ریزگردها به سمت شرق اصفهان و دشت سجری رانده می شوند. باد غالب می تواند آلودگی شهر اصفهان و منطقه صنعتی غرب اصفهان که بسیاری از صنایع آلاینده همچون ذوب آهن، صنایع فولاد و سیمان اصفهان و سپاهان، نیروگاه های منطقه اسلام آباد و شهید منتظری و شرکت پالایش نفت و پتروشیمی اصفهان را که در مسیر خود قرار دارد را به این منطقه انتقال دهد و همراه با گردوغبار موجود در خود منطقه شرایط

بحرانی را ایجاد نماید از این رو ۹ ایستگاه در سطح منطقه جهت نمونه برداری انتخاب گردید. نمونه بردای گرد و غبار توسط تله شیشه ای پیشنهادی مندز و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. این تله متشکل از یک صفحه ای شیشه ای مسطح به ابعاد ۱ در ۱ متر است که روی آن یک مش پلاستیکی به ابعاد ۲ میلی متر توسط ۸ پیچ به شیشه متصل می شود. در هر نقطه نمونه برداری گرد و غبار، ساختمان هایی با ارتفاع یک طبقه انتخاب شدند. این ارتفاع به دلیل فراهم آوردن گرد و غبار فرونشسته بر سطح تله ها که تحت تاثیر فرآیندهای بادی نزدیک به سطح زمین قرار نگرفته اند، مناسب است و در عین حال نسبت به ساختمان های بلند به مقدار قابل استنشاق توسط افراد نزدیک است. نمونه برداری به صورت ماهانه به مدت ۹ ماه و در ماه های دی الی شهریور سال ۹۶ انجام شد ۲۳.



شکل ۲: تله مورد استفاده جهت جمع آوری گرد و غبار

تجزیه های آزمایشگاهی

پس از انتقال نمونه های گرد و غبار به آزمایشگاه، ابتدا تمام نمونه ها به منظور جداسازی ذرات خار و خاشاک از الک ۰/۵ میلی متری عبور داده شده و به دقت توزین شدند. پس از تعیین وزن ماهانه نمونه های گرد و غبار در هر ماه و برای هر ایستگاه، با ترکیب نمونه های ماه های مربوط به فصول زمستان، بهار و تابستان با روش میانگین وزنی و با در نظر گرفتن نرخ

فرونشست گرد و غبار در هر ماه، نمونه های مرکب فصلی برای هر نقطه نمونه برداری تهیه شد و مطالعات آزمایشگاهی برای تعیین خصوصیات گرد و غبار روی نمونه های فصلی انجام شد^{۲۴}. برای این منظور یک گرم خاک درون ارلن ۱۰۰ ریخته شد و ترکیب اسید نیتریک، اسید کلرید و اسید پرکلریک به نسبت ۳: ۱: ۱ به هر ارلن اضافه گردید. بعد از گذشت ۲۴ ساعت روی حرارت هیتز قرار گرفت تا فرآیند هضم کامل

شاخص زمین انباشتگی

شاخص زمین انباشتگی اولین بار توسط مولر معرفی شده است (۱۹۶۹) روشی متداول برای تخمین شدت آلودگی رسوبات خاک و گرد و غبار به فلزات سنگین می‌باشد که از به‌دست آوردن غلظت فلزات سنگین در نمونه به غلظت زمینه آن فلز، در رابطه (۱) بدست می‌آید.^{۲۵}

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

در این معادله؛ I_{geo} شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات، C_n غلظت فلز سنگین در نمونه B_n غلظت زمینه (غلظت عنصر در پوسته) است. ضریب ۱/۵ به منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که بطور عمومی به تغییرات سنگ شناسی رسوبات و تاثیر عوامل زمینی نسبت داده می‌شود، منظور شده است.^{۲۵} رده‌بندی مربوط به شاخص شدت آلودگی مولر در جدول ۱ آمده است.^{۲۶، ۲۷}

شود. سپس توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲ در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتر جمع آوری شد و سرانجام با آب مقطر حجم نهایی عصاره به ۵۰ میلی‌لیتر رسید. عناصر مذکور توسط دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر^۱ قرائت گردید.

آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از انتقال نمونه‌های گرد و غبار به آزمایشگاه، ابتدا تمام نمونه‌ها به منظور جداسازی ذرات خار و خاشاک از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شده و به دقت توزین شدند. پس از تعیین وزن ماهانه نمونه‌های گرد و غبار در هر ماه و برای هر ایستگاه، با ترکیب نمونه‌های ماه‌های مربوط به فصول زمستان، بهار و تابستان با روش میانگین وزنی و با در نظر گرفتن نرخ فرونشست گرد و غبار در هر ماه، نمونه‌های مرکب فصلی برای هر نقطه نمونه‌برداری تهیه شد و مطالعات آزمایشگاهی برای تعیین خصوصیات گرد و غبار روی نمونه‌های فصلی انجام شد.^{۲۸} برای این منظور یک گرم خاک درون ارلن ۱۰۰ ریخته شد و ترکیب اسید نیتریک، اسید کلرید و اسید پرکلریک به نسبت ۳:۱:۱ به هر ارلن اضافه گردید. به منظور تکمیل فرایند هضم، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت روی حرارت هیتر قرار گرفته‌اند. سپس از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شده‌اند و در نهایت با استفاده از آب مقطر به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسیدند. در نهایت غلظت فلزات در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتم (ContrAA700) تعیین شد.^{۲۹}

شاخص‌های آلودگی

جهت تعیین شدت آلودگی به فلزات سنگین از شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})، فاکتور آلودگی (CF) و شاخص ارزیابی پتانسیل خطر محیط زیستی (RI) استفاده گردید.

^۱ Perkin-Elmer3030

جدول ۱: طبقه‌بندی درجه آلودگی براساس شاخص شدت آلودگی مولر^{۲۵}

مقدار Igeo	درجه آلودگی	وضعیت آلودگی رسوبات
۰	۰	غیرآلوده
۱-۰	۱	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
۲-۱	۲	آلودگی متوسط
۳-۲	۳	آلودگی متوسط تا زیاد
۴-۳	۴	آلودگی زیاد
۵-۴	۵	آلودگی زیاد تا به شدت آلوده

فاکتور آلودگی

Cf: فاکتور آلودگی n: تعداد پارامترهای مورد بررسی

رده بندی مربوط شاخص درجه آلودگی در جدول (۲) آمده است

اصولا مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می‌توانند توصیفی از آلودگی مربوط به عنصر سنگین مورد بررسی و آلودگی محیط را ارائه دهد، فاکتور آلودگی توصیفی از آلودگی مربوط به فلز مورد بررسی را ارائه می‌دهد. ضریب آلودگی هاکنسون از رابطه (۲) زیر بدست می‌آید^{۲۸}. در این رابطه M_x غلظت عنصر در نمونه و M_b غلظت همان فلز در ماده مرجع (پوسته زمین) می‌باشد که بیان کننده رابطه (۲) است^{۲۹-۳۱}

$$C_f = \frac{M_x}{M_b} \quad \text{رابطه (۲)}$$

شاخص درجه ی آلودگی Cd

به‌طور کلی مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه‌ی کلی از میزان آلودگی نمونه را نشان می‌دهند که به آن درجه آلودگی هاکنسون^۲ گفته می‌شود. برای تعیین درجه آلودگی می‌توان از فاکتور آلودگی استفاده نمود به صورتی که مقدار فلزات را نسبت به مقدار طبیعی آنها مورد سنجش قرار داد و میزان آلاینده‌ی نمونه را تعیین نمود^{۲۸}. رابطه‌ی شاخص درجه ی آلودگی مطابق معادله زیر می‌باشد:

$$C_d = \sum_{i=1}^8 C_f^i \quad \text{رابطه (۳)}$$

² Hakanson

جدول ۲: طبقه بندی درجه آلودگی

Class کلاس	Cd مقدار ضریب	CF مقدار ضریب	Pollution degree درجه آلودگی
۱	$Cd < 6$	$CF < 1$	ضریب آلودگی کم
۲	$6 \leq Cd < 12$	$1 \leq CF < 3$	ضریب آلودگی متوسط
۳	$12 \leq Cd < 24$	$3 \leq CF < 6$	ضریب آلودگی زیاد

ن: تعداد پارامترهای مورد بررسی $mC_{\bar{d}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n}$ آلودگی

رابطه (۴)

شاخص درجه آلودگی بازبینی شده Cf:

به خاطر وجود محدودیت‌های که در شاخص درجه آلودگی هاکنسون وجود داشت، Abraham و همکاران در سال ۲۰۰۵ رابطه اصلاح شده زیر را براساس شاخص درجه آلودگی ارائه نمودند^{۳۲}. در جدول (۳) شاخص درجه آلودگی بازبینی شده Cf آمده است.

جدول ۳: طبقه بندی شاخص درجه آلودگی بازبینی شده

Class	mCd مقدار ضریب	درجه آلودگی
۱	$mCd \leq ۱.۵$	درجه بسیار پایین از آلودگی
۲	$۱.۵ \leq mCd \leq ۲$	درجه پایین از آلودگی
۳	$۲ \leq mCd \leq ۴$	درجه متوسط از آلودگی
۴	$۴ \leq mCd \leq ۸$	درجه بالا از آلودگی
۵	$۸ \leq mCd \leq ۱۶$	درجه بسیار بالا از آلودگی
۶	$۱۶ \leq mCd \leq ۳۲$	درجه بشدت بالا از آلودگی
۷	$mCd > ۳۲$	آلودگی با درجه ما فوق بالا

رابطه (۵)

شاخص پتانسیل خطر محیط زیستی

شاخص ارزیابی پتانسیل خطر محیط زیستی برای اولین بار توسط Hakanson در سال ۱۹۸۰ ارائه شد از این شاخص (رابطه ۵) به طور گسترده‌ای برای ارزیابی آلودگی رسوبات استفاده می‌شود. همچنین رده‌بندی مربوط شاخص پتانسیل خطر محیط زیستی در جدول (۴) آمده است^{۳۳، ۳۴}.

C_f^i فاکتور آلودگی یک عنصر منفرد

C_n^i مقدار زمینه عنصر

C_s^i مقدار عنصر در نمونه

T_r^i فاکتور سمیت بیولوژیکی یک عنصر منفرد

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i = T_r^i \times (C_s^i / C_n^i)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

جدول ۴: طبقه‌بندی شاخص پتانسیل خطر محیط زیستی

شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک (RI)	
کم	$RI < 150$
متوسط	$150 < RI < 300$
زیاد	$300 < RI < 600$
خیلی زیاد	$RI \geq 600$

کادمیوم در ایستگاه ۵ بیشترین میزان بخود اختصاص داده است که در شمال غربی قرار دارد.

در این مطالعه به منظور مقایسه مقدار عناصر در ایستگاه‌ها و فصل‌های مختلف، از آزمون‌های آماری استفاده گردید و همچنین به منظور شناسایی هر چه بهتر مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی به فلزات سنگین، اقدام به تهیه نقشه پراکنش آلودگی شد. بدین منظور از دورنمایی به روش وزن دهی براساس معکوس فاصله^۳ جهت بررسی توزیع آلودگی استفاده گردید.

یافته ها

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه در نمونه‌های گرد و غبار در جدول (۵) خلاصه شده است. بر این اساس بیشترین میانگین غلظت مربوط به عنصر روی می‌باشد و کادمیوم کمترین میانگین غلظت را دارد. بدین ترتیب روند میانگین غلظت را می‌توان به صورت (روی) < سرب < کادمیوم) تعریف نمود. افزون بر این بیشترین میانگین آلودگی برای فلز روی در ایستگاه‌های ۲ و ۴ می‌باشد و کمترین آن مربوط به ایستگاه ۳ که در شرق قرار گرفته است. بیشترین غلظت ثبت شده نیز مربوط به ایستگاه ۲ است. میانگین غلظت برای عنصر سرب در ایستگاه ۴ بالاترین میزان را دارد و ایستگاه ۶ کمترین میانگین غلظت را به خود اختصاص داده است. همچنین بالاترین غلظت ثبت شده برای عنصر سرب مربوط به ایستگاه ۴ می‌باشد. میانگین غلظت برای عنصر

³IDW

جدول ۵: توصیف آماری غلظت کل فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گرد و غبار منطقه مطالعاتی

ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	ایستگاه ۶	ایستگاه ۷	ایستگاه ۸	ایستگاه ۹		
۶۳/۲	۳۸/۷	۸۸/۱	۷	۷۵/۲	۶۳/۲	۲۵/۲	۱۳/۳	۷۵/۱	روى	کمینه
۰۸/۴	۷۱/۲۶	۸۴/۳	۶۷/۲۹	۲۹/۷	۲۹/۱۰	۵۰/۸	۷۱/۴	۰۴/۷	میانگین	
۶/۵	۶۳	۷۵/۵	۵۹	۱۳/۱۲	۵/۲۴	۱۷	۷۵/۵	۵/۱۷	بیشینه	
۹/۰	۷۷/۱	۶۲/۰	۶/۱	۶/۱	۵/۰	۱۶/۱	۵۸/۰	۶۹/۰	سرب	کمینه
۴۵/۱	۰۸/۲	۳۸/۱	۸۹/۲	۹۰/۱	۳۴/۱	۷۶/۱	۸۴/۱	۵۰/۱	میانگین	
۲/۲	۶۶/۲	۱۲/۲	۸۵/۳	۲۸/۲	۱۸/۲	۳۲/۲	۹/۲	۹/۲	بیشینه	
۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	کادمیوم	کمینه
۰۲۷/۰	۰۲۳/۰	۰۲۰/۰	۰۲۰/۰	۰۲۷/۰	۰۲۰/۰	۰۲۳/۰	۰۲۰/۰	۰۲۰/۰	میانگین	
۰۳/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	۰۴/۰	۰۲/۰	۰۳/۰	۰۲/۰	۰۲/۰	بیشینه	

جهت محاسبات آمار ابتدا از آزمون کولموگراف _ اسمیرنوف جهت مشخص نمود نرمال بودن داده‌ها استفاده شد و به دلیل اینکه داده از حالت نرمال پیروی نمی‌کنند به منظور مقایسه بین ایستگاه‌ها و فصول مختلف از آزمون آماری کرسکال _ والیس استفاده گردید.

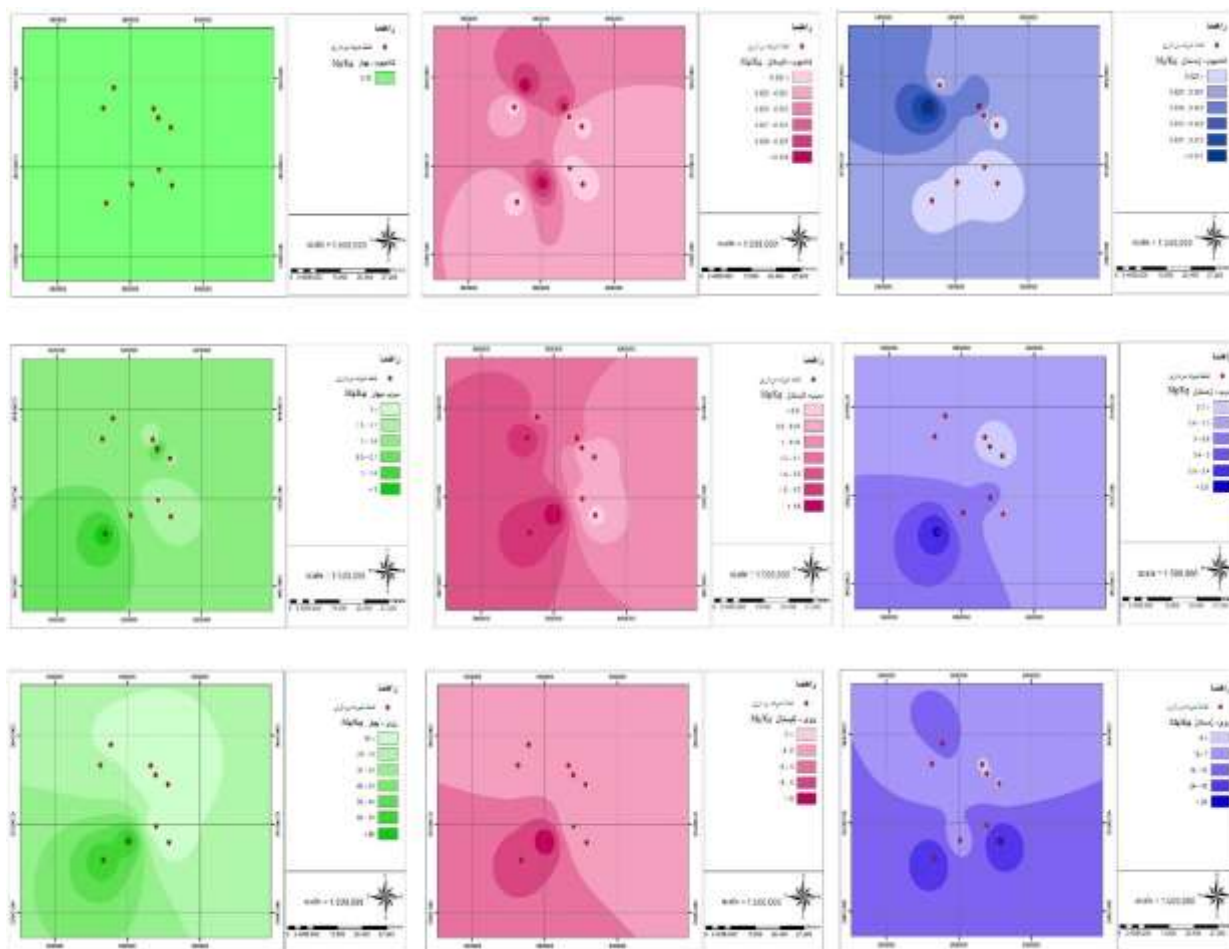
براساس بررسی‌های آماری صورت گرفته مشخص گردید که مقدار آلودگی برای عنصر کادمیوم در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان با هم تفاوت معنی‌داری ندارد.

همچنین میزان آلودگی این عنصر در ایستگاه‌های مختلف نیز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارد. با بررسی‌های صورت گرفته برای عنصر سرب مشخص گردید که در فصل مختلف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد به صورتی که در فصل زمستان با بیشترین آلودگی و در فصل تابستان با کمترین آلودگی مواجه می‌باشیم.

از طرف دیگر در بین ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری برای عنصر سرب دیده نمی‌شود. عنصر روی نیز با بیشترین میزان آلودگی در ایستگاه شماره ۴ که برابر با ۲۲/۵ می‌باشد و کمترین میزان آلودگی در ایستگاه شماره ۲ با مقدار ۸/۸۳ نشان داد که بین ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

محاسبات آماری صورت گرفته برای عنصر روی نشان می‌دهد که در بین فصل‌های مختلف تفاوت معنی‌داری از نظر میزان آلودگی وجود ندارد.

به منظور بررسی شیب آلودگی در منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های درون یابی برای هر عنصر به تفکیک فصل تهیه گردید (شکل ۳).

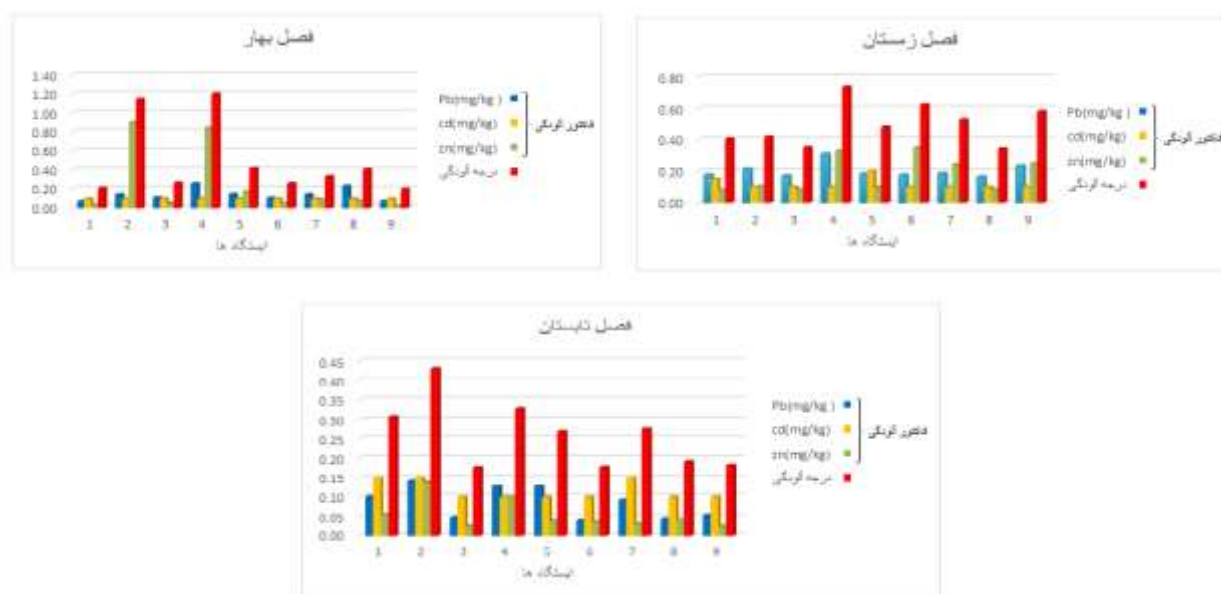


شکل ۳: نقشه های توزیع آلودگی به تفکیک فصل و عناصر (واحد اندازه گیری بر اساس mg/kg می باشد)

نتایج شاخص های محیط زیستی

با بررسی فاکتور آلودگی (Cf) برای همه ایستگاه ها در سه فصل مشخص گردید که میزان فاکتور آلودگی در طبقه اول که به معنی آلودگی کم می باشد، قرار دارد و میزان آن برای سرب بین ۰/۰۴ تا ۰/۲۳ می باشد. همچنین میزان فاکتور آلودگی برای کادمیوم بین ۰/۰۱ تا ۰/۱۵ و برای برای سرب بین ۰/۰۳ تا ۰/۳۳ قرار دارد.

همچنین یافته های پژوهش نشان می دهد در بیشتر ایستگاه ها درجه آلودگی (Cd) در حد پایین قرار دارد فقط در ایستگاه ۲ در فصل بهار درجه آلودگی در طبقه متوسط قرار گرفته است. بعلاوه با بررسی شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) می توان بیان نمود کادمیوم و سرب در درجه بسیار پایین آلودگی قرار دارند و روی در طبقه پایین آلودگی قرار گرفته است.



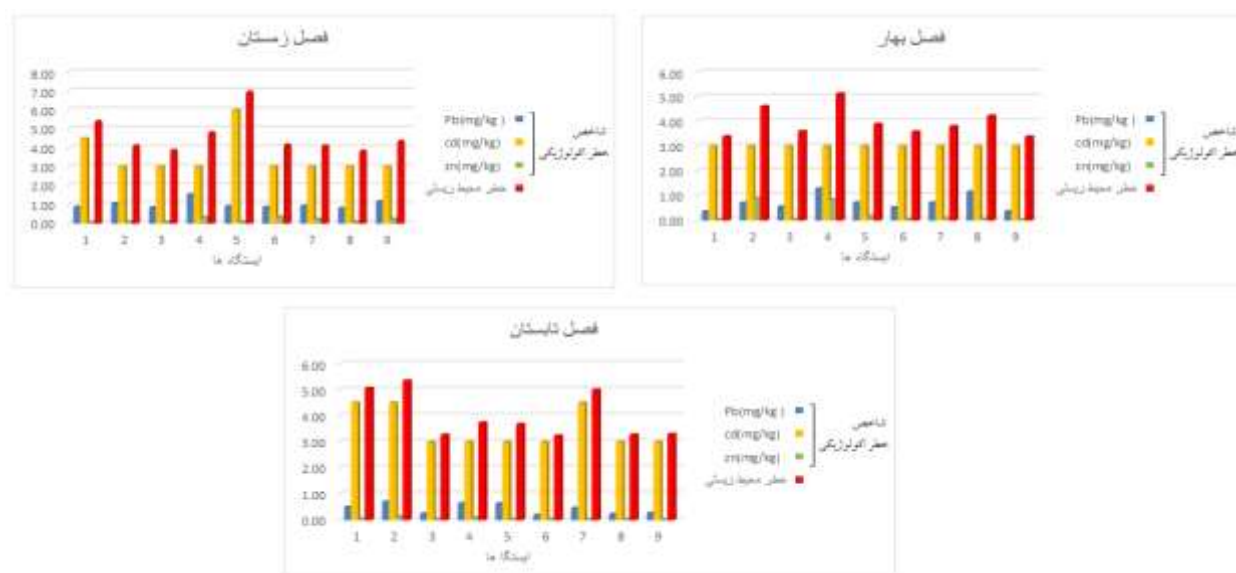
نمودار ۱: برآورد فاکتور آلودگی و درجه آلودگی در فصل های بهار، زمستان و تابستان در منطقه مورد مطالعه

ارزیابی خطر اکولوژیکی در منطقه مورد

مطالعه

برای ارزیابی آلودگی فلزات در محدوده مورد مطالعه، فاکتور پتانسیل ریسک اکولوژیک هاکنسون استفاده شده که نتایج نشان می دهد (نمودار ۲). شاخص خطر اکولوژیکی (Er)

برای کادمیوم و سرب و مس در محدوده ریسک کم قرار دارد و همچنین خطر محیط زیستی برای هر سه عنصر در محدود کمتر از ۱۵۰ قرار دارد که نشان دهنده پتانسیل ریسک کم می باشد.



نمودار ۲: شاخص خطر اکولوژیکی (Er) و خطر محیط زیستی (RI) در فصل های بهار ، زمستان و تابستان در منطقه مورد مطالعه

شاخص زمین انباشتگی

بندی مولر نشان می‌دهد که کادمیوم و سرب و روی در سه فصل زمستان و بهار و تابستان در کلاس صفر قرار دارند و مبین عدم آلودگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

مقادیر محاسبه شده برای شاخص زمین انباشتگی (Igeo) فلزات سنگین برای رسوبات منطقه مورد مطالعه در جدول ۶ ارائه شده است. بررسی شاخص زمین انباشتگی مطابق تقسیم

جدول ۶: مقادیر محاسبه شده برای شاخص زمین انباشتگی در منطقه مورد مطالعه

Igeo			ایستگاه‌های	فصل
Zn(mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb(mg/kg)		
-4/23	-3/32	-3/09	1	زمستان
-3/83	-3/91	-2/82	2	
-4/19	-3/91	-3/14	3	
-2/19	-3/91	-2/28	4	
-3/91	-2/91	-3/04	5	
-2/10	-3/91	-3/10	6	
-2/63	-3/91	-3/01	7	
-4/19	-3/91	-3/21	8	
-2/58	-3/91	-2/69	9	
-5/32	-3/91	-4/38	1	بهار
-0/74	-3/91	-3/38	2	
-4/76	-3/91	-3/75	3	
-0/83	-3/91	-2/54	4	
-3/11	-3/91	-3/36	5	
-4/81	-3/91	-3/82	6	
-4/07	-3/91	-3/37	7	
-4/32	-3/91	-2/69	8	
-5/91	-3/91	-4/35	9	
-4/71	-3/32	-3/90	1	تابستان
-3/43	-3/32	-3/41	2	
-5/80	-3/91	-4/92	3	
-3/91	-3/91	-3/55	4	
-5/25	-3/91	-3/55	۵	
-5/32	-3/91	-5/23	۶	
-5/54	-3/32	-4/01	۷	
-5/07	-3/91	-5/01	۸	
-5/80	-3/91	-4/76	۹	
-4/02	-3/78	-3/57	-	مجموع

بحث

پدیده گرد و غبار یکی از معضلات مهم مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم، خشکسالی و تغییر کاربری اراضی افزایش قابل توجهی داشته است.^{۳۵} به منظور کاهش خسارات و آسیب‌های این پدیده در این مناطق، نیاز به مدیریت، پایش و تعیین پراکنش گرد و غبار وجود دارد. طبق یافته‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نمونه برداری‌های زمینی از نه ایستگاه تعیین شده و بررسی غلظت فلزات سنگین سرب، روی و کادمیوم در غبار ریزشی نشان داد که یکی از کانون‌های اصلی تولید ریز گرد که بیشترین اثر را بر شهر اصفهان دارد دشت سجزی می باشد.^{۳۶} به طور کلی توالی میانگین غلظت فلزات در غبار ریزشی منطقه ی مورد مطالعه به صورت (روی < سرب < کادمیوم) به دست آمد که برابر با سرب ۱/۷۹، روی ۱۱/۳۴، کادمیوم ۰/۰۲۳ (میلیگرم بر کیلوگرم) بوده است.

وجود معادن گچ، در بیابانزایی منطقه سجزی و همچنین میزان عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی آن می‌تواند موثر باشد. این عامل باعث شکننده شدن ساختمان و سبک شدن بافت خاک می‌گردند که در نتیجه فرسایش خاک را به دنبال دارد و باعث افزایش میزان گرد و غبار می‌شود.^{۳۷} از آنجا که فلزات سرب، نیکل و کادمیوم کاربردهای فراوانی در صنعت، کشاورزی و محیط شهری دارند و از طریق فرسایش بادی وارد جو می‌شوند و سپس در طی فرایند ته نشینی توسط غبار ریزشی فرونشست می‌کنند. در بین فلزات اندازه‌گیری شده بیشترین میانگین آلودگی مربوط به فلز روی می‌باشد که در ایستگاه‌های ۲ و ۴ بیشترین میزان می‌باشد و کمترین آن مربوط به ایستگاه ۳ است. غلظت روی در مناطق شهری و کشاورزی بالا بوده است در مطالعات دیگر مشخص گردیده است که فعالیت‌های انسانی در کاربری کشاورزی و همچنین

حمل و نقل و فعالیت شهری در مناطق شهری، باعث افزایش غلظت عنصر مس و روی در این دو کاربری شده است.^{۳۸}

میانگین غلظت برای عنصر سرب در ایستگاه ۴ بالاترین میزان را دارد و ایستگاه ۶ کمترین میانگین غلظت را به خود اختصاص داده است. همچنین بالاترین غلظت ثبت شده برای عنصر سرب مربوط به ایستگاه ۴ می‌باشد. فلزات سرب نیز عمدتاً از منابع صنعتی و ترافیکی مشتق شده است میانگین غلظت برای عنصر کادمیوم در تمام ایستگاه‌ها یکسان بوده است. براساس مطالعه انجام شده در خاک‌های منطقه مرکزی اصفهان بالاترین غلظت روی، سرب و کادمیوم در خاک‌های اطراف معدن سرب و روی باما گزارش شده و خاک‌های منطقه از نظر سرب و روی جزو خاک‌های آلوده قرار گرفتند^{۳۹، ۱۸}. در مطالعاتی که در انگلستان و ولز روی میزان فلزات سنگین به خاک از طریق منابع مختلف صورت گرفته ات نشان داد که اتمسفر مهم‌ترین عامل توزیع فلزات سنگین به این خاک‌ها بوده و مسئول ورود ۵۸-۵۲٪ از کل ورودی فلزات سنگین به این خاک‌هاست. در این مطالعه سهم فرونشست در کل ورودی فلزات سنگین به خاک را برای مس و روی ۸۴-۸۳٪، سرب، نیکل و آرسنیک ۷۷-۵۵٪، کادمیوم ۳۵٪ و جیوه ۵۸٪ گزارش نمود^{۴۰}.

غلظت فلزات سنگین در خاک‌های دشت سجزی اصفهان نسبت به میانگین گزارش شده برای خاک‌های جهان در محدود قابل قبول می‌باشد. به علاوه غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار اصفهان چندین برابر میانگین غلظت آنها در دوره‌های دیگر است این نیز به سبب آلودگی ناشی از وسایل گرمایشی و همچنین رخداد وارونگی دمایی و به دنبال آن افزایش غلظت ذرات معلق و آلاینده در اتمسفر می‌باشد. غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار نسبت به غلظت گزارش شده برای آنها در خاک سطحی بالاتر است. دلیل این امر ریز بودن ذرات گرد و غبار نسبت به خاک و غنی

شدن ذرات گرد و غبار در طول حضورشان در اتمسفر به وسیله فلزات سنگین موجود در جو است. با توجه به نتایج این تحقیق می توان گفت وضعیت گرد و غبار اتمسفری در منطقه مورد مطالعه از نظر غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار نسبت به خاک های منطقه دور از انتظار نمی باشد. میزان فرونشست جوی فلزات سنگین با توجه به غلظت عناصر در اتمسفر، فاکتورهای اقلیمی و فاصله از منبع آلاینده (مانند صنایع فلزی یا جاده های بزرگ) دارای تغییرات شدید مکانی و زمانی است.

شاخص های محیط زیستی

ارزیابی وضعیت آلودگی غبار ریزشی ایستگاه های مختلف منطقه بر مبنای فاکتور آلودگی فلزات (cf) حاکی از آن است که میزان آلودگی فلزات سرب، روی کادمیوم پایین بوده، و در طبقه با آلودگی کم قرار دارد. فقط در ایستگاه ۲ در فصل بهار درجه آلودگی در طبقه متوسط قرار گرفته است. همچنین شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (mcd) نیز نشان می دهد آلودگی کادمیوم و سرب در درجه بسیار پایین آلودگی قرار دارند و روی در طبقه پایین آلودگی قرار گرفته است. این مطلب بیانگر تاثیر منابع انسانی است، چرا که این فلزات بیشتر از منابع حمل و نقل شهری و کشاورزی ناشی می شوند. ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات (RI) به طور گسترده ای به عنوان یک شاخص جامع اکولوژیکی در ارزیابی میزان غلظت فلزات سنگین به کار گرفته می شود یافته ها نشان داد، محدوده تغییرات مقدار این شاخص در نمونه های گرد و غبار جمع آوری شده کمتر از ۱۵۰ قرار دارد است. این موضوع بیان کننده عدم آلودگی منطقه به فلزات سنگین مورد مطالعه و سمیت پایین آنها است. شاخص زمین انباشتگی (Igeo) میزان عناصر سنگین نمونه های غبار در تمام ایستگاه ها در ارتباط با سه فلز بررسی نمود و مطابق تقسیم بندی مولر در کلاس صفر دسته بندی کرد. همچنین براساس محاسبات صورت

گرفته بیشترین و کمترین خطر اکولوژیکی به ترتیب مربوط به فلز روی و کادمیوم در منطقه ی مورد مطالعه است. همچنین تحلیل شاخص خطر محیط زیستی این فلزات سنگین براساس مقادیر بدست آمده نشان داد که خطر محیط زیستی این فلزات در غبار ریزشی منطقه پایین است. البته باید در نظر گرفت که مطالعات متعدد حاکی از آن است فلزاتی نظیر روی و سرب از عوام موثر در بیماری های خاص در انسان مانند مشکلات کلیوی، کبدی، سرطان و غیره هستند. این فزات می-توانند عملکرد اکولوژیکی منطقه ای را که دارای غلظت بالایی هستند را تحت تاثیر قرار دهند از اینرو کاهش سطوح فلزات سنگین در محیط و ارزیابی غلظت آن در هوای تنفسی مورد استفاده انسان به منظور جلوگیری از خطر بالقوه این آلاینده ها در محیط زیست باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین قابل ذکر است با توجه به محدودیت های زمانی و مالی، همچنین نبود پیشینه مطالعاتی در منطقه جهت مقایسه نتایج و ارزیابی روند تغییرات میزان فلزات سنگین در طول زمان، عدم مطالعه سایر بخش های بوم سازگان نظیر بافت خاک پیشنهاد می شود مطالعه جامعی در خصوص منشایابی فلزات سنگین در منطقه و همچنین ارزیابی خطر سلامتی ناشی از برای انسان و محصولات کشاورزی منطقه صورت گیرد.

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، از شاخص های آلودگی مختلف (فاکتور آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص ریسک اکولوژیکی) برای تعیین و ارزیابی فلزات سنگین کادمیوم، سرب و روی در شهر اصفهان استفاده گردید. همچنین برای مقایسه بین ایستگاه ها و فصول مختلف از آزمون آماری کمک گرفته شد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که گرد و غبار شهر اصفهان از نظر آلودگی به فلزات کادمیوم، سرب و روی در شرایط نامناسبی قرار ندارد ولی توجه به این نکته حائز اهمیت است که مطالعات صورت گرفته بر روی یک گرم خاک بوده است

اقدامات اصلاحی و همچنین احیای پوشش گیاهی در این دشت، شرایط را برای بهبود و کاهش میزان گرد و غبار اتمسفری فراهم نمود.

و ممکن است سالانه حجم بیشتری از طریق تنفس وارد بدن شود و از آنجا که اثرات سرب و کادمیوم بر سلامت انسان مانند نارسایی‌های کلیه و کبد و همچنین بیماری‌های خونی به اثبات رسیده است. از این رو پیشنهاد می‌شود تا با انجام

References

1. abbasmoftad a, Hamzeh F, moradi o, bahari n. Designing a model to reduce air pollution in order to increase the security of metropolitan areas with the approach of nanotechnology (Case study: Tehran). Regional Planning 2021; 17-27[In Persian].
2. Masoomzadeh J, Rahmani M. Determining the traffic contribution to air pollution of Tehran mega city and technological necessities for its improvement. Quarterly journal of Industrial Technology Development 2017;15(29): 75-88[In Persian].
3. Ismailnejad M, Thani ME, Barzaman S. Evaluation and Zoning of Urban air Pollution in Tabriz. Regional Planning 2015;5(19): 173-86[In Persian].
4. Lotfi Z, Abdoos A, Darparman H, Shokri S. Investigation of the Average Monthly Concentration of Air Pollution Index Pollutants in the West of Semnan Province and Its Control Strategies. Environment and Interdisciplinary Development 2020;5(68): 55-68[In Persian].
5. Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. Science of The Total Environment 2003;311(1): 205-19.
6. Farahmand kia Z, Mehrasbi MR, Sekhawatju MS, et al. Study of Heavy Metals in the Atmospheric Deposition in Zanjan, Iran. Iranian Journal of Health and Environment 2010;2(4): 240-9[In Persian].
7. Delbandi T. The effect of climatic factors and air pollution on cardiovascular mortality rates in people over 60 years old in the Tehran city 2008-20013. Human & Environment 2016: 57-78[In Persian].
8. Ghorbani N, Yazdani Charati J, Etemadinejad S. Relationship between Air Pollution and Mortality Rate due to Cardiovascular Diseases in Mashhad, Iran 2011. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 2017;26(146): 47-55[In Persian].
9. Fazli Z, Khodakarim S, Sajedifar J, et al. Occupational and Environmental Risk Assessment of Inhalation Exposure to Hexavalent Chromium for Cancerous Effects. 2016;2(3): 181-90[In Persian].
10. Sharifi S, Karami M, Esmailnasab N, et al. Association Between Increased Air Pollution and Mortality from Respiratory and Cardiac Diseases in Tehran: Application of the GLARMA Model. Iranian Journal of Epidemiology 2017;12(4): 36-43[In Persian].
11. Ahmadizadeh M. Industrial Toxicology(Heavy Metals). tehran: Hezaran; 1376.
12. Aazami J, Moradpour H, KianiMehr N. A Review of Biotic Indices for Heavy Metals in Polluted Environment. Human & Environment 2017;15(1): 13-24[In Persian].
13. Pathak AK, Yadav S, Kumar P, Kumar R. Source apportionment and spatial-temporal variations in the metal content of surface dust collected from an industrial area adjoining Delhi, India. Science of The Total Environment 2013;443: 662-72.
14. Baghaie AH, Aghili F. Evaluation of Lead and Cadmium Concentration of Arak City Soil and Their Non-Cancer Risk Assessment in 2017. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences 2018;17(8): 769-80[In Persian].
15. Mukai H, Suzuki M. Using air trajectories to analyze the seasonal variation of aerosols transported to the Oki Islands. Atmospheric Environment 1996;30(23): 3917-34.
16. ROHANI Y, PANJEHSHAHI MH, DABIR B. DEVELOPING THE APPLICATION OF PINCH TECHNOLOGY FOR AIR POLLUTION. NASHRIEH SHIMI VA MOHANDESI SHIMI IRAN (PERSIAN) 2006;25(1): -.
17. fotovvat k, khazini l, Abedini Y, Yousefi M. Investigation the concentration and health effects of heavy metals released from the industrial units of Naji Industrial Town. Environmental Sciences 2022: 56-81[In Persian].
18. Ahmadi Doabi S, Afyuni M, Khademi H, Karami M. Statistical Analysis of Heavy Metal Contamination in Atmospheric Dusts of Kermanshah Province, Iran. Journal of Water and Soil Science 2016;20(76): 29-43[In Persian].
19. Javanmardi S, Pourkhabbaz HR. Determination of Toxicity Metals Concentration and their Emission Source in Urban Areas (Case study: Mashhad city). Geography and Environmental Planning 2014;25(3): 207-16[In Persian].

20. Liu Q-T, Diamond ML, Gingrich SE, et al. Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore. *Environmental Pollution* 2003;122(1): 51-61.
21. Darivasi S, Saeb K, Mollashahi M. Effects of Distance from Pollutant Sources on Heavy Metal Concentrations around Neka cement Factory Soil. *Journal of Environmental Science and Technology* 2015;17(4): 33-44[In Persian].
22. Zohraei H, Ezzatian V. A case study of the dust phenomenon in Isfahan province using ground stations and satellites data. The 1st International Conference of Iranian Natural Hazards and Environmental Crises, Strategies and Challenges 1395.
23. Menéndez I, Díaz-Hernández JL, Mangas J, et al. Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environments* 2007;71(1): 57-81.
24. Norouzi S, Khademi H. Spatial and Temporal Variation in Dust Deposition Rate in Isfahan and its Relationship with Selected Climatic Parameters. *Journal of Water and Soil Science* 2015;19(72): 149-62.
25. MÜLLER G. INDEX OF GEOACCUMULATION IN SEDIMENTS OF THE RHINE RIVER. *GEO JOURNAL* 1969;2: 108 - 18.
26. Zhang L, Ye X, Feng H, et al. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin* 2007;54(7): 974-82.
27. Seshan BRR, Natesan U, Deepthi K. Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. *Int J Environ Sci Technol (Tehran)* 2010;7(2): 291-306.
28. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. *Water Research* 1980;14(8): 975-1001.
29. Abraham GMS, Parker RJ. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment* 2008;136(1): 227-38.
30. Mortazavi S, Hatami-Manesh M, Joudaki F. Evaluation of toxicity and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Sezar River, Lorestan Province. *Iranian Journal of Health and Environment* 2019;11(4): 487-504.
31. Shakeri A, Moore F, Modabberi S. Heavy metal contamination and distribution in the Shiraz industrial complex zone soil, South Shiraz, Iran. *World Appl Sci J* 2009;6(3): 413-25.
32. Abraham GMS. Holocene sediments of Tamaki Estuary: characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand: The University of Auckland; 2005.
33. Sheykhi V, Moore F. Evaluation of potentially toxic metals pollution in the sediments of the Kor river, southwest Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 2013;185(4): 3219-32.
34. Zhao S, Feng C, Yang Y, et al. Risk assessment of sedimentary metals in the Yangtze Estuary: New evidence of the relationships between two typical index methods. *J Hazard Mater* 2012;241-242: 164-72.
35. boroghani m, moradi H, Zangane Asadi M, Pourhashemi S. Evaluation of the role of drought in frequency of dust in Khorasan Razavi province. *Journal of Environmental Science and Technology* 2019;21(5): 109-21.
36. Nooraie H, Shokrani SM. Spatial Analysis and Ranking of Fifteen Regions of Isfahan Metropolis based on the Distribution of Air Pollution. *Geography and Environmental Planning* 2021;32(2): 83-102[In Persian].
37. Jozaqian A, Bashari H, Pahlavanravi A, Ajorlo M. The Impacts of Clay and Gypsum Mining on Vegetation and Soil Conditions in Arid Ecosystems (Case Study: Segzi-Isfahan). *Iranian Journal of Applied Ecology* 2016;5(15): 65-75[In Persian].
38. Sohrabizadeh Z, Sodaiezhadeh H, Hakimzadeh MA, et al. Evaluation of Heavy Metal Contamination in Soil Samples around the Lead-Zinc Mine of Kushk, Bafq, using Pollution Indicators and Principal Component Analysis. *Geography and Environmental Planning* 2020;31(1): 15-34[In Persian].
39. Esmaeilpourfard N, Givi J, Davodian A. Contamination of Soil, Water, Plant and Dust by Zinc, Lead and Cadmium in Southwest Isfahan. *Water and Soil* 2015;29(2): 441-52[In Persian].
40. Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, et al. Quantifying heavy metal inputs to agricultural soils in England and Wales. *Water Environ J* 2006;20(2): 87-95.
41. Norouzi S, Khademi H. Spatial and Temporal Variation in Dust Deposition Rate in Isfahan and its Relationship with Selected Climatic Parameters. *Journal of Water and Soil Science* 2015;19(72): 149-62[In Persian].
42. Teymori G, Jafari MJ, Asilian Mahabadi H, Khodakarim S. The Relationship between WBGT Index with Physiological Responses of Open-Pit Mine Workers in Hot and Dry Weather. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences* 2016;23(2): 360-9[In Persian].
43. Aminipour M, Barkhordari A, Ehrampoush M, Hakimian A. Blood Lead Levels in Workers at Kooshk Lead and Zinc Mine. *The Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences* 2008;16(2): 24-30[In Persian].

Evaluation and determination of the ecological risk of lead, zinc and cadmium in the atmospheric dust of Isfahan city

Akram Karimi¹, Golnar Makhfi^{2*}, Eisa Solgi³, Sahar Bagherpor⁴

¹⁻²⁻³-Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environments, Malayer University, Hamedan, Iran.

⁴- Department of Environmental Science, Isfahan (khorasghan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Email: makhfi_g@yahoo.com

Received: 3 August 2022 , Accepted: 19 November 2022

ABSTRACT

Background and Objective: Dust is one of the most important sources of heavy metals in the environment. Heavy metals can be dispersion on a large scale by binding to dust particles. This study aimed to evaluate and measure the pollution of heavy metals in subsidence dust of Sajzi plain in Isfahan. That now is the most important source of dust in Isfahan city.

Materials and Methods: After collecting samples for three seasons, this study determined the amount of lead, zinc, and cadmium, and then pollution indicators were assessed, such as accumulation index and contamination degree, etc

Results: The contamination degree showed that cadmium and lead were in a very low degree of contamination and zinc was in a low degree of contamination. Also, the ecological risk index was a low-risk range for cadmium, lead, and copper. The environmental risk for the three elements was less than 150, which showed low-risk potential.

Conclusion: According to the distribution of pollution, it can be concluded that the pollution slope for the zinc and lead element was from northeast to southwest. The distribution of contaminated cadmium was different in three seasons. Stations 2 and 4 had the highest average pollution for the zinc element. Also, station 4 for the lead element showed the highest average pollution

Keywords: Air pollution, Heavy metals, Atmospheric dust, Isfahan