مجله مهندسی بهداشت محیط، بهار ۱۳۹۹، سال ۷، شماره ۳: ۳۳۷-۳۱٤

ارزیابی شاخص‌های آلودگی منفرد و تلفیقی برخی فلزات سنگین در غبار اتمسفری راسب شونده پیرامون صنایع خاک چینی، کاشی سرامیک، شن ماسه و شیشه شهرستان اردکان در زمستان سال ۱۳۹۷

سعید شجاعی برجوئی*، حمیدرضا عظیم زاده، اصغر مصلح آرانی

گروه محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۹/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۳۰

چکیده

زمینه و هدف: تلاش برای اشتغال‌زایی در کشورهای در حال توسعه، هم سو با توسعه صنایع، فلزات سنگین به طور پیوسته به محیط زیست انتشار می‌یابند. این مطالعه با هدف سنجش غلظت فلزات سنگین و ارزیابی سطح آلودگی غبار اطراف تعدادی از صنایع با استفاده از شاخص‌های اکولوژیکی صورت گرفت.

روش کار: این مطالعه توصیفی تحلیلی و مقطعی در فصل زمستان با نصب ۳۵ تله غبارگیر در اطراف صنایع خاک چینی، کاشی سرامیک، شن ماسه و شیشه در شهرستان اردکان انجام شد. با استفاده از دستگاه ICP-MS غلظت فلزات سنگین در غبار اندازه‌گیری شد. با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی (CF)، شاخص آلودگی (PI)، غنی شدگی (EF)، شاخص آستانه آلودگی (PI_T)، قدر مطلق بردار شاخص آلودگی (PI_{vector})، شاخص آلودگی جدید (PI_N)، شاخص آلودگی چند عنصره (MEC)، میانگین وزنی شاخص آلودگی (PI_{wAvg})، شاخص آلودگی تلفیقی (IPI)، فاکتور مواجهه (ExF) و نسبت میانگین محدوده اثرات میانه (MERMQ) سطح آلودگی غبار مورد ارزیابی و در GIS نسخه ۱۰/۵ پهنه بندی شد.

یافته ها: میانگین غلظت فلزات سنگین در غبار به صورت روی (۳۳۱۰/٥٤ mg/kg)> سرب (۱۳۷/۲۸ mg/kg)> مس (۶۳/۶۵ mg/kg)> نیکل (٤٥/۹۱ mg/kg)> آرسنیک (۳۵/۱۲ mg/kg)> کبالت (۱۳/۷۳ mg/kg)> مولیبدن (٤/٤۰ mg/kg) اندازه‌گیری شد. در کلیه ایستگاه‌های نمونه برداری شاخص CF عناصر سرب، آرسنیک و روی در کلاس آلودگی بسیار بالا و شاخص PI سرب در کلاس آلودگی شدید قرار گرفت. فلز روی در ۳۰ ایستگاه غنی شدگی خیلی بالا را نشان داد. برای کاربری حفاظت محیط زیست، شاخص PI_T عنصر روی در کلیه ایستگاه‌های نمونه برداری در کلاس آلودگی خیلی شدید قرار گرفت. همچنین بر اساس شاخص IPI کلیه ایستگاه‌ها در کلاس شدیدا آلوده قرار گرفتند. فلزات سنگین در ۳۲ ایستگاه بر اساس شاخص MERMQ، دارای ۷۶ درصد سمیت و بر اساس شاخص PI_N در کلاس آلوده بودند. بیشترین مقادیر شاخص‌های MEC (۳/٤۳) و PI_{vector} (۳۵/۹۳) در ایستگاه‌های S_1 و S_{10}، PI_{wAvg} (٤۲/۲۷) در ایستگاه‌های S_1 و S_{12} و ExF (۱۱۷/۱۱) در ایستگاه S_1 به دست آمد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج پهنه‌بندی تعدادی از شاخص‌های آلودگی، جهت باد غالب منطقه نقش مهمی در افزایش غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های پایین دست صنایع دارد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، صنایع، شاخص‌های آلودگی، غبار اتمسفری راسب شونده

* **نویسنده مسئول:** گروه محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران
ایمیل: said.shojaee71@gmail.com - تلفن تماس: ۰۹۱۳۸۳۶۸۴۳۶

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

مقدمه

غبار اتمسفری راسب شونده از مهمترین راه‌های ورود آلاینده‌های سمی نظیر فلزات سنگین به چرخه بوم شناختی است. تلاش برای صنعتی شدن و اشتغال زایی در کشورهای در حال توسعه، به تلاش‌های گسترده ای برای جذب صنایع سنگین با پتانسیل آلودگی بالا منجر شده است. هم سو با توسعه صنایع، به علت رشد مداوم شهرنشینی در بسیاری از بخش‌های جهان فلزات سنگین از طریق غبار اتمسفری به طور پیوسته به محیط زیست انتشار می‌یابند و تهدید بزرگی بر سلامت انسان می‌گذارند [۱،۲].

فلزات سنگین غبار اتمسفری راسب شونده به عنوان یکی از آلاینده‌های اصلی محیط زیست می‌توانند علاوه بر معلق بودن در هوا و کاهش کیفیت هوای اتمسفری، به دلیل خاصیت تجزیه ناپذیری که دارند در خاک و بافت زنده موجودات تجمع پیدا کنند. از آن جا که فلزات سنگین تاثیر قابل توجهی بر کیفیت محیط زیست دارند به عنوان یکی از منابع اصلی آلاینده محیط زیست به شمار آیند. فعالیت‌های مختلف موجب پراکنده شدن فلزات سنگین در اتمسفر شده و در نتیجه به صورت گرد و غبار آلوده در خاک‌های سطحی انباشته می شوند. از سوی دیگر، خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در صورت وزش باد، با تولید گرد و غبار می‌توانند سهم مهمی در افزایش غلظت فلزات در هوا داشته باشند و بر کیفیت هوا اثر گذارند. بنابراین وجود فلزات سنگین معلق در هوا و خاک یکی از نگرانی‌های مورد توجه کارشناسانی است که در زمینه کاهش اثرات بهداشتی مرتبط با محیط، فعالیت می‌کنند [۳،۴]. بدین منظور اندازه گیری فلزات سنگین در خاک و گرد و غبار می‌تواند در تعیین روش مناسب کنترل آلودگی محیط زیست بسیار مهم باشد.

اثرات فلزات سنگین بر سلامت انسان بسیار متنوع است. برای مثال ترکیبات آرسنیک سبب بروز سرطان، نارسایی در رشد جنین، آسیب دیدگی پوست و مشکلات گردش خون می‌گردد [۵].

سرب، سیستم اعصاب مرکزی را تحت تاثیر قرارمی دهدو همچنین سبب ایجاد کم خونی، عقب افتادگی فیزیکی و ذهنی و کاهش توانایی یادگیری در کودکان می‌شود [۶].

مس نیز در مقادیر اندک یک عنصر ضروری برای بدن بوده و اجزای اصلی آنزیم‌های اکسایشی – کاهشی و هموسیانین است که کمبود آن سبب بروز کم خونی و فرورفتگی در ستون فقرات می‌شود ولی در مقادیر بیش تر سمی بوده و سبب بروز مسمومیت مزمن مس، آسیب دیدگی کبد و کلیه و بیماری‌های ویلسون و بدلینگتون می‌شود [۷].

مولیبدن در مقادیر اندک برای بدن ضروری است و در عملکرد آنزیم ها نقش ایفا می‌کند. از طرف دیگر به نظر می‌رسد که این عنصر سمی بوده و سبب نارسایی در رشد جنین می‌شود [۸].

روی در مقادیر اندک برای بدن ضروری بوده و اجزای اصلی بسیاری از آنزیم‌ها را تشکیل می‌دهد. همچنین در بلوغ جنسی و تولیدمثل نیز نقش ایفا می‌کند. کمبود آن سبب کاهش رشد و عقب ماندگی گنادها و یا سلول‌های تولیدکننده گامت می شود. مقادیر بیش تر آن سمی بوده و سبب بروز اسهال و بیماری تب فلزی می‌شود [۸].

ترکیبات نیکل سبب اختلالات عصبی نظیر سرفه، گیجی، سردرد، بی خوابی، توهم، تشنج، اختلالات تنفسی نظیر سرفه های خشک، خیز ریه، تب و سیانوز، اختلالات قلبی–عروقی نظیر تاکیکاردی، آسیب میوکارد و افزایش تعداد گلبولهای قرمز می‌شود [۹].

کبالت یکی از عناصر مهم در تولید سیانوکوبالامین بوده که در رشد و عملکرد طبیعی سلول‌های بدن به ویژه سلول‌های مغز استخوان و سیستم عصبی ضروری است. اما مقادیر بالای آن موجب ایجاد تغییرات ژنتیکی، سرطان، نکروز سلول‌های کلیه، اختلالات تنفسی و قلبی، کاهش وزن و بی اشتهایی در انسان می‌شود [۱۰].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

هر چند یکی از دلایل حضور فلزات سنگین در محیط زیست، سنگ مادری و طبیعی است ولی بسیاری از تحقیقات انجام گرفته در محیط‌های طبیعی، منشاء آلودگی‌های فلزات سنگین را عوامل و فعالیت‌های انسانی مختلف از جمله صنایع و ماشین آلات صنعتی دانسته اند. از این رو شناخت صنایع آلوده کننده و میزان آلودگی ناشی از فعالیت آن ها از نظر مدیریت آلودگی‌های محیط زیست، برنامه ریزی برای کاهش این آلودگی ها (به عنوان مثال از طریق گیاه پالایی و غیره) و مدیریت سیمای سرزمین ضروری به نظر می‌رسد [11].

EPA (۱۹۹۸) ارزیابی ریسک اکولوژیک را به عنوان فرآیندی برای ارزیابی احتمال رویداد اثرات اکولوژیکی مضر به صورت نتیجه ای از در معرض محرک بودن تعریف نمود. هدف از ارزیابی ریسک اکولوژیک، ارزیابی اثرات اکولوژیکی فعالیت‌های انسان برای حفاظت و مدیریت محیط زیست است. امروزه بسیاری از ضرایب ریسک آلودگی (با هدف تشخیص تجمع غیرعادی آلاینده ها) توسعه داده شده برای آب و رسوب می‌توانند برای تجمع طولانی مدت فلزات سنگین در خاک ها، مواد آلی، گرد و غبار و سایر مواد محیطی استفاده شوند [12,13].

ضرایب ریسک آلودگی با استفاده از شاخص‌های کمی نظیر شاخص غنی شدگی (Enrichment Factor)، فاکتور آلودگی (Contamination Factor)، فاکتور مواجهه (Exposure Factor)، شاخص آلودگی چند عنصره (Multi-Element Contamination)، شاخص آلودگی (Pollution Index)، شاخص آلودگی تلفیقی (Integrated pollution index)، شاخص آلودگی آستانه (Treshold Pollution Index)، شاخص آلودگی جدید (New Pollution Index)، قدر مطلق بردار شاخص آلودگی (Vector Modulus of Pollution Index)، شاخص آلودگی آستانه تلفیقی (Integrated Threshold Pollution Index)، میانگین وزنی شاخص آلودگی (Weighted Average of Pollution Index) و نسبت میانگین محدوده اثرات میانه (Mean Effects Range-Median Quotien) قابل محاسبه است [14]. در تمام این روش ها تلاش این است که بر اساس مقایسه مناطق، تحلیل های آماری و استفاده از غلظت مرجع میزان آلودگی مشخص شود. مقادیر مرجع معمول مورد استفاده شامل غلظت زمینه، غلظت پوسته زمین و مقادیر مرجع نظارتی هستند که مناسب ترین مرجع، غلظت زمینه منطقه مورد مطالعه است. غلظت زمینه خارج از منطقه برای ارزیابی مناطق با آلودگی ضعیف مناسب نیست، در حالیکه به طور خاص و دقیق، غلظت زمینه داخل منطقه روشی بهینه جهت ارزیابی آلودگی غبار یا خاک است. غلظت زمینه وابسته به مکان و مقیاس منطقه است و به طور معمول باید به مقیاس محلی، محدود شود. شواهد نشان داده است که غلظت زمینه در داخل و بین مناطق مختلف، متفاوت است [15].

از آن جا که روش‌های کمی ارزیابی آلودگی غبار به مقادیر غلظت مرجع تکیه دارند یک مشکل عمده در ارتباط با روش صحیح ارزیابی آلودگی غبار، شناسایی مقادیر مناسب مرجع در شرایطی است که خاک منطقه آلوده نشده باشد [16].

در سال‌های اخیر با توسعه صنعتی در ایران، محققین مختلفی را واداشت تا به دنبال رصد آلودگی در محیط باشند. در بسیاری از استان‌های کشور، تحقیقاتی در رابطه با استفاده از شاخص‌های آلودگی برای ارزیابی وضعیت آلودگی به فلزات سنگین وجود دارد. از مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعات Naeini و همکاران با هدف ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در اطراف کارخانه سیمان نائین از شاخص های مختلف آلودگی نظیر PI و IPI برای کاربری حفاظت محیط زیست استفاده نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد آلودگی فلزات سنگین در منطقه در کلاس زیاد قرار دارد [17]، Siyahati Ardakani و همکاران با استفاده از شاخص‌های PI و EF وضعیت آلودگی فلزات سنگین در اطراف صنایع فولاد و گندله سازی شهرستان اردکان مورد

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

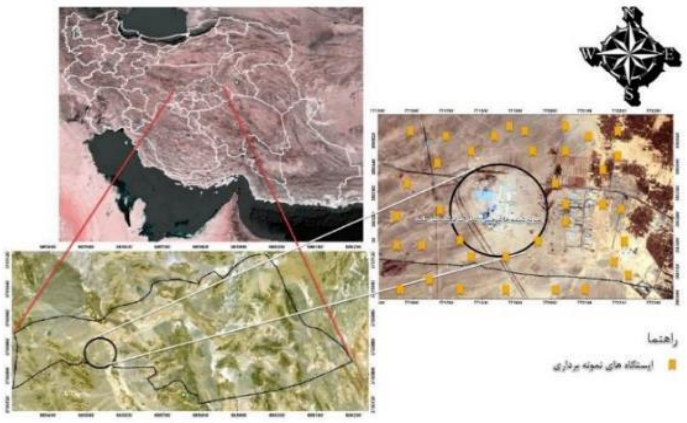
[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد، شاخص EF عمدتا کلاس پایین آلودگی خاک را نشـان می‌دهد و شـاخص PI در غالب ایسـتگاه‌ها در کلاس آلودگی متوسـط قرار دارد [18]، Huang و همکاران با استفاده از شاخص ارزیابی ریسک، فلزات سنگین در خاک‌های مجاور معدن سـرب و روی، کلاس آلودگی را متوسط تا زیاد برآورد نمودند [19]، اشاره کرد.

باتوجه به اینکه تاکنون مطالعه مقطعی در رابطه با آلودگی فلزات سنگین در غبار اتمسفری راسب شونده پیرامون صنایع شیشه، خاک چینی، کاشی سرامیک و شن ماسه در شهرستان اردکان در فصل زمستان صورت نگرفته است، تحقیق در این زمینه می‌تواند اطلاعات جامع و راهکارهای مناسـبی را در اختیار تصـمیم‌گیران برای ایجاد سـیاسـت‌های کاهش سـطح آلودگی و بهبود شرایط زندگی مردمان ساکن در آن ناحیه قرار دهد تا از گسترش آلودگی به محیط اطراف آن جلوگیری شود. از این رو تحقیق حاضـر با توجه به این موضـوع و اهمیت شـاخص‌های ریسـک اکولوژیکی در ارزیابی آغشـتگی فلزات سنگین در غبارهای راسب شونده اتمسفری، به بررسی سنجش غلظت فلزات سـنگین سـرب، کبالت، آرسـنیک، باریوم، مس، مولیبدن و روی در غبار اطراف صـنایع شـیشـه، خاک چینی، کاشی سرامیک و شن ماسه شهرستان اردکان در فصل زمستان و ارز یابی در جه آلودگی فلزات سـنگین با اسـتفاده از شـاخص‌های کمی نظیر شـاخص EF، CF، ExF، MEC، PI، PI_T، PI_N، PI_{vector}، IPI، PI_{wAvg} و MERMQ انجام شده است.

مواد و روش‌ها

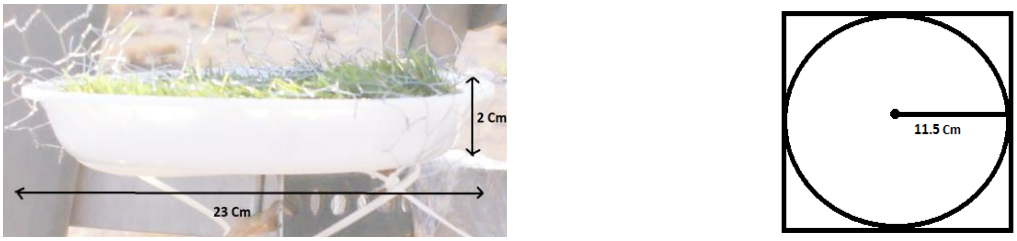
این مطالعه توصیفی – تحلیلی – مقطعی در فصل زمستان در اطراف تعدادی از صنایع بزرگ شامل صنایع خاک چینی، کاشی سرامیک، شن ماسه و شیشه در شهرستان اردکان انجام شـده اسـت. مختصـات جغرافیایی صـنایع مذکور به گونه ای است که در ″ ۲۰′۵۰ ° ۳۲ تا ″ ۱۸′٤٤ °۳۲ عرض شمالی و ″ ۵۳′۲۳ °۵۳ تا ″ ۵۷′۰٤ ° ۵۳ طول شرقی و در ضلع شمال غربی شهرستان اردکان واقع شده اند (شکل ۱). تولید گرد و غبار زیاد توسط این صنایع و انتقال آن در سطح رو ستاها و شـهرهای اطراف، آمار بالای ظهور بیماری‌های مادرزادی و تعداد زیاد شـکایات مردمی با تاسـیس این صـنایع از عوامل اصلی ضرورت انجام این پژوهش بود. محدود مطالعاتی برای انجام این پژوهش وسـعتی برابر با ۸ کیلومتر مربع انتخاب گردید. در این محدوده انواع مختلفی از کاربری ها اعم از کشاورزی، پارک، توسعه شهری و مرتع وجود دارد. بر اساس اطلاعات هواشناسی اخذ شده از سازمان هواشناسی استان یزد، اقلیم منطقه مطابق روش دومارتن در کلاس خشک و فرا سرد قرار می‌گیرد.



شکل ۱: موقعیت صنایع و ایستگاه‌های نمونه برداری در پهنه مورد بررسی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]



(آ) (ب)

شکل ۲: نمای گرافیکی (آ) و واقعی (ب) تله‌های غبارگیر از نوع چمن مصنوعی با قابلیت به دام اندازی ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون

برای اجرای پژوهش حاضر ابتدا اقدام به تهیه نمونه بردارهای گردید که قابلیت به دام انداختن ذرات گرد و غبار با قطر آئرودینامیکی کوچکتر از ۱۰ میکرون دارا بودند. بدین منظور از تله غبار گیر از نوع چمن مصنوعی استفاده شد. تله‌ها به گونه ای طراحی گردید که در بشقاب‌های پلاستیکی با قطر ۲۳ سانتی متر، شعاع ۱۱/۵ سانتی متر و عمق ۲ سانتی متر قرار داده شد (شکل ۲). همچنین ارتفاع بلندی چمن‌ها به گونه ای تنظیم گردید که حدود ۱ سانت از لبه بشقاب بزرگتر باشند تا ذرات غبار بیشتری به دام افتد. برای جلوگیری از نشستن پرنده بر روی بشقاب از خار ضد پرنده استفاده گردید [۱۷،۲۰]. بعد از آماده سازی تله‌های غبار گیر، نمونه برداری از غبار راسب شونده به روش سیستماتیک تصادفی صورت گرفت. به این صورت با بازدیدهای میدانی و بررسی عکس‌های هوایی در نرم افزار گوگل ارث، توزیع ایستگاه‌های نمونه برداری در منطقه به صورت سیستماتیک تصادفی تعیین شد. به این صورت منطقه مورد مطالعه به شبکه‌های ۱۰۰ m × ۱۰۰ m تقسیم بندی و محل تلاقی شبکه‌ها به عنوان موقعیت نقاط نمونه برداری تعیین شد. با حذف تعدادی از نقاط انتخابی که در مکان‌های نامناسب (زمین محل استقرار صنایع، جاده و غیره) قرار گرفته بودند، ۳۵ ایستگاه مشخص گردید و اطلاعات موقعیت مکانی آن‌ها در دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) برای نصب ایستگاه‌ها و شناسایی مجدد آنها در مرحله جمع آوری غبار ثبت گردید.

بعد از گذشت سه ماه از زمان نصب تله ها [۱۷]، تک تک تله های غبارگیر جمع آوری و در فویل های آلومنیومی قرار داده شدند. سپس بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل داده شد. برای جداسازی غبار از تله‌ها از دو روش تکاندن و شستشو با آب مقطر استفاده شد. غبارهای که به روش شستشو جمع آوری شده بود به مدت ۲٤ ساعت در آون در دمای معین قرار داده شدند تا کاملا خشک گردند [۱۷]. بعد از جمع آوری غبار از تله ها، اقدام به اندازه گیری فلزات سنگین سرب، کبالت، آرسنیک، روی، مس، مولیبدن و نیکل با استفاده از دستگاه طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القایی (ICP-MS، ELAN9000 USA، Perkin-Elmer) شد. بدین منظور حدود ۰/۱ گرم نمونه غبار، با حجم کافی از محلول هضم کننده مواد جامد که شامل ٤ میلی لیتر HNO_3، ۰/۱ میلی لیتر HCL و یک میلی لیتر HF بود به ظروف تفلونی افزوده و در سیستم مایکروویو هضم نمونه‌ها صورت گرفت. پس از هضم نمونه، ظروف تفلون بر روی صفحه گرمایی سرامیکی قرار داده شد تا نمونه‌ها خشک شوند. مواد باقی مانده نهایی در HNO_3 ۰/۱٤ مولار حل شدند و سپس به بطری‌های ۵۰ میلی لیتری PE منتقل گردیدند و در نهایت در دمای ٤ درجه سانتی گراد نگهداری شدند [۲۱]. در نهایت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های محلول و شاهد با استفاده از طیف سنجی جرمی پلاسمایی جفت شده القایی مورد اندازه گیری قرار گرفتند.

برای ارزیابی سطح آلودگی غبار آغشته به فلزات سنگین از شاخص‌های آلودگی مختلفی استفاده گردید که در جدول ۱ روابط و در جدول ۲ کلاس‌های هریک از شاخص‌های مورد

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

بررسی ارائه شده اند. در اغلب منابع شاخص‌های آلودگی در دو گروه شاخص‌های منفرد و شاخص‌های پیچیده شامل شاخص‌های تلفیقی و شاخص‌های ریسک اکولوژیکی طبقه بندی شده اند. شاخص‌های منفرد شامل شاخص‌های فاکتور غنی شدگی (Enrichment Factor)، فاکتور آلودگی (Contamination factor)، شاخص آلودگی منفرد (Single pollution index) و شاخص آستانه آلودگی (Treshold pollution index) هستند.

شاخص EF توسط محققین مختلف برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در بخش‌های مختلف محیط زیست و میزان تاثیر احتمالی فعالیت‌های انسان زاد بر غلظت فلزات سنگین گرد و غبار استفاده شده است و به پنج کلاس آلودگی تقسیم می شود (جدول ۲). در واقع این شاخص با استاندارد سازی یک فلز آزمایشی در مقابل فلز مرجعی که کمترین تغییر غلظت را در محیط دارد، محاسبه می‌شود. معمولا فلزات آهن، آلومنیوم و منگنز به عنوان فلزات مرجع در نظر گرفته می‌شوند [۲۲]. در این پژوهش از فلز آهن به عنوان فلز مرجع استفاده شد.

شاخص PI نسبت غلظت فلز مورد بررسی در غبار به غلظت مرجع فلزات در خاک منطقه مورد بررسی می‌باشد. در شاخص PI معمولا مقادیر مرجع مختلف نظیر مقادیر غلظت عناصر پیش از صنعتی شدن، میانگین پوسته زمین، مقادیر غلظت زمینه و غیره استفاده می‌شود. این شاخص آلودگی منطقه را به ۳ کلاس تقسیم می‌کند (جدول ۲). غلظت زمینه مورد استفاده در این پژوهش برای محاسبه شاخص ها، توسط Siyahati Ardakani و همکاران در عمق ۲ الی ۳ متری خاک منطقه مورد مطالعه، در جای که تغییرات غلظت فلزات سنگین بسیار ناچیز و هیچ گونه آلودگی به آن جا سرایت نکرده بود، اندازه گیری شد [۲۳]. علاوه بر استفاده از غلظت زمینه در شاخص‌های آلودگی، با مقایسه مقادیر غلظت فلزات سنگین در نمونه های غبار با مقادیر غلظت زمینه، تاثیر انتشارات صنعتی در افزایش غلظت هر یک از فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار گرفت.

شاخص PI_T در واقع نسبت متوسط غلظت فلز سنگین اندازه گیری شده به سطوح آستانه آن فلز در خاک است. برای محاسبه شاخص آلودگی آستانه از مقادیر آستانه ای که توسط سازمان محیط زیست ایران ارائه شده است، استفاده گردید [۲۴، ۲۵]. مطابق مرجع، غلظت آستانه فلزات سرب، کبالت، آرسنیک، روی، مس، مولیبدن و نیکل برای کاربری پارک به ترتیب برابر ۲۹۰، ۵۰، ۷۰، ۵۰۰، ۵۰۰، ۴۰ و ۵۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم، برای کشاورزی به ترتیب ۷۵، ۵۰، ۴۰، ۵۰۰، ۲۰۰، ۴۰ و ۱۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم، برای مرتع به ترتیب ۲۹۰، ۵۰، ۷۰، ۵۰۰، ۵۰۰، ۴۰ و ۵۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم، برای مسکونی ۸۰، ۵۰، ۴۰، ۵۰۰، ۴۰۰، ۴۰ و ۱۵۵ میلی گرم بر کیلوگرم و برای حفاظت محیط زیست به ترتیب ۳۰۰، ۲۰، ۱۷، ۲۰۰، ۶۳، ۴ و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم است.

علاوه بر شاخص‌های منفرد، شاخص‌های تلفیقی و ریسک اکولوژیکی مختلفی برای ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین در کنار یک دیگر استفاده گردید. شاخص تلفیقی PI_{Vector} یا قدر مطلق بردار شاخص آلودگی اولین بار توسط Gong و همکاران معرفی شد که از تقسیم توان دوم شاخص آلودگی برای هر فلز سنگین به تعداد فلزات سنگین مورد بررسی به دست می‌آید [۲۶].

شاخص PI_{wAvg} یا میانگین وزنی شاخص آلودگی از یک روش آماری ساده برای ارزیابی سمیت فلزات سنگین در منطقه مورد نظر است. این شاخص تلفیقی توسط Qingjie و Jun با وزن دادن به هر شاخص آلودگی فلز سنگین به دست می‌آید. ارزش وزنی فلزات سنگین سمی در این شاخص از ۱ تا ۵ متغیر بوده که مقادیر آن توسط Qingjie و Jun پیشنهاد شده است. بر اساس این پیشنهادیه ارزش ۵ و ۱ به ترتیب مربوط به فلزی است که بیشترین و کمترین سمیت را دارد[۲۷،۲۸]. در این مطالعه ارزش وزنی برای شاخص های

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

آلودگی ســـرب و آرســـنیک برابر ۵، کبالت و باریوم برابر ۱، مس، مولیبدن و روی برابر ۲ در نظر گرفته شد.

جدول ۱: شاخص‌های آلودگی شامل شاخص‌های منفرد، تلفیقی و ریسک اکولوژیکی

شاخص	نوع شاخص	فرمول	رفرنس
EF	منفرد	$EF = \frac{\frac{C_n(sample)}{C_{Ref}(sample)}}{\frac{B_n(background)}{B_{Ref}(background)}}$	34
CF	منفرد	$CF = \frac{C_M}{C_{np}}$	35
PI	منفرد	$PI = \frac{C_n}{B_n}$	36
PI_T	منفرد	$PI_T = \frac{C_i}{C_{TL}}$	37
PI_{Vector}	تلفیقی	$PI_{Vector} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} PI^2}$	26
PI_{wAvg}	تلفیقی	$PI_{wAvg} = \sum_{i=1}^{m} w_i PI_i$	27
PI_N	تلفیقی	$PI_N = \sum_{i=1}^{m} W_1^2 PI_i$	29
IPI	تلفیقی	$IPI = mean(PI_i)$	30
ExF	تلفیقی	$y = \sum \frac{C_n - C_{av}}{C_{av}}$	31
MEC	تلفیقی	$MEC = \frac{(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + ... + \frac{C_n}{T_n}}{n}$	32
MERMQ	ریسک اکولوژیکی	$MERMQ = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{ERM_i}}{n}$	33

تو ضیحات: C_n غلظت فلزات سنگین در غبار، B_n غلظت زمینه ژئو شیمیایی فلز سنگین (n)، C_n(sample) غلظت فلز سنگین در نمونه غبار آنالیز شده، C_{Ref}(sample) غلظت مرجع در نمونه غبار آنالیز شـده، B_n(background) غلظت فلز در محیط مرجع، B_{Ref}(background) غلظت فلز مرجع در محیط مرجع، C_M غلظت فلز سـنگین در نمونه غبار، C_{np} غلظت فلز سنگین قبل از صنعتی شدن، C_{TL} سطوح آستانه غلظت فلز سنگین، n تعداد فلزات سنگین مورد بررسی، PI_i شاخص آلودگی منفرد هر فلز سنگین در نمونه غبار، w_i (کوچک) وزن ه PI_i، W_i (بزرگ) کلاس درجه آلودگی فلزات سنگین مورد بر رسی، mean (PI_i) میانگین شاخص آلودگی فلزات سنگین مورد بر رسی، C_{av} غلظت زمینه فلز سنگین در پروفیل خاک، ERM_i میانگین محدوده اثرات، T سطوح قابل تحمل فلزات سنگین در خاک یا غبار، n تعداد فلزات سنگین می‌باشد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

جدول ۲: کلاس‌های آلودگی شاخص‌های منفرد، تلفیقی و ریسک اکولوژیکی

شاخص	ارزش	کیفیت غبار	رفرنس
EF	EF <۲	حداقل غنی شدگی	34
	EF =۵-۲	غنی شدگی متوسط	
	EF =۲۰-۵	غنی شدگی چشمگیر	
	EF =٤٠-۲۰	غنی شدگی خیلی بالا	
	EF > ٤٠	غنی شدگی فوق العاده زیاد	
CF	CF <۱	آلودگی پایین	35
	۳≤ CF ≤۱	آلودگی متوسط	
	٦≤ CF ≤۳	آلودگی قابل توجه	
	CF ≤٦	آلودگی بسیار بالا	
PI	PI <۱	غیر آلوده تا کمی آلوده	36
	۳≤ PI ≤۱	آلودگی متوسط	
	PI ≤۳	آلودگی شدید	
PI_T	PI_T < ۱	غیرآلوده	37
	۲≤ PI_T ≤۱	کمی آلوده	
	۳≤ PI_T ≤۲	آلودگی متوسط	
	۵≤ PI_T ≤۳	آلودگی شدید	
	PI_T ≤۵	آلودگی خیلی شدید	
PI_N	PI_N =۷-۰	غیرآلوده	29
	PI_N =۹۵-۷/۱	بسیار کمی آلوده	
	PI_N =۹۵/۱ -۵۱۸/۱	کمی آلوده	
	PI_N =۵۱۸/۱ -۲۵٤۸/٦	آلوده	
	PI_N =۲۵٤۸/٦ -∞	خیلی آلوده	
IPI	IPI < ۱	کمی آلوده	30
	۲≤ IPI ≤۱	آلودگی متوسط	
	IPI < ۲	به شدت آلوده	
MERMQ	MERMQ ≤ ۰/۱	سمیت کم (۹ درصد)	33
	۰/۱ > MERMQ ≥ ۰/۵	کم تا متوسط (۲۱ درصد)	
	۰/۵ > MERMQ ≥ ۱/۵	متوسط تا بالا (٤۹ درصد)	
	MERMQ > ۱/۵	سمیت بالا (۷٦ درصد)	

شاخص آلودگی جدید PI_N شاخ صی مفید برای ارزیابی غنی شـــدگی فلزات ســـنگین در غبار اســـت که در ۵ کلاس آلودگی، توســـط Caeiro و همکاران با در نظر گرفتن درجه شـــاخص آلودگی فلزات ســـنگین از ۱ الی ۵ تعریف گردید. مقادیر این شاخص با ضرب شاخص آلودگی هر فلز سنگین در توان دوم درجه شاخص آلودگی هر فلز سنگین (۱ الی ۵) به دست می‌آید [۲۹].

شـــاخص IPI یا شـــاخص آلودگی تلفیقی در واقع میانگین

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

شاخص آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی در نمونه‌های غبار می‌باشد [۳۰]. کلاس‌های آلودگی این شاخص در جدول ۲ ارائه شده است.

شاخص ExF شاخصی بسیار مفید برای ارزیابی شدت آلودگی کلیه فلزات سنگین در یک منطقه می‌باشد [۳۱].

شاخص ریسک اکولوژیکی MERMQ ابزاری مناسب برای ارزیابی اثرات مضر فلزات سنگین غبار صنایع در خاک و سایر بسترهای زیست محیطی است. برای محاسبه این شاخص نیاز به پارامتر ERM (Effects Range-Median) می‌باشد. ERM در واقع غلظت شیمیایی از یک فلز سنگین (۱۰ و ۵۰ پرسنتایل) است که باعث اثرات نامطلوب بیولوژیکی در محدوده اثرات میانه (ERM) می‌شود. مقادیر پارامتر ERM برای فلزات سنگین آرسنیک، مس، روی، نیکل و سرب به ترتیب برابر با ۷۰، ۲۷۰، ٤١٠، ٥١/٦ و ۲۱۸ است.

شاخص MEC یا شاخص آلودگی چند عنصری، از نسبت تقسیم غلظت فلزات سنگین و سطوح قابل تحمل عناصر به تعداد فلز سنگین مورد بررسی به دست می‌آید. سطوح قابل تحمل فلزات آرسنیک، کادمیوم، مس، نیکل، سرب و روی به ترتیب برابر با ۲۰، ۳، ۱۰۰، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشد که توسط Kloke ارائه شده است. مقادیر بیشتر از یک این شاخص ا شاره به اثرات انسان زاد بر روی غلظت فلزات سنگین در خاک و غبار دارد [۳۲، ۳۳].

بعد از محاسبه شاخص ها، کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های غبار و مقادیر شاخص‌های آلودگی به دست آمده در نرم افزار آماری SPSS ورژن ۲۲ انجام شد. در صد خطای نمونه برداری برای هر فلز سنگین با استفاده از رابطه ١٤ محاسبه گردید:

$$N = \frac{t^2 \times CV\,\%^2}{E\,\%^2} \qquad (١٤)$$

در این رابطه؛ N: تعداد نمونه‌های لازم، E: درصد خطا، t: از جدول مربوطه بر اساس درجه آزادی در سطح معنی دار مورد نظر، CV: ضریب تغییرات که برابر است با نسبت انحراف معیار داده‌ها به میانگین مقادیر نمونه گیری اولیه. در این مطالعه برای t^2، مقدار t در سطح معنی دار ۵ در صد برابر با ۱/۹٦ با در نظر گرفتن درجه آزادی بی نهایت تعیین گردید [٤]. کلیه پهنه بندی‌ها مربوط به شاخص‌های PI_{vector}، PI_N، MEC، PI_{wavg}، IPI و ExF در محیط ArcGIS نسخه ۱۰/۵ صورت گرفت.

یافته‌ها

بر اساس نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل آماری میانگین غلظت روی، مولیبدن، آرسنیک، سرب، کبالت، نیکل و مس در غبار نمونه برداری شده اطراف صنایع به ترتیب برابر با ٣٣١٠/٥٤، ٤/٤٠، ٣٥/١٢، ١٣٧/٢٨، ١٣/٧٣، ٤٥/٩١ و ٦٣/٦٥ میلی گرم بر کیلوگرم است. کمترین و بیشترین غلظت فلزات سنگین اندازه گیری شده در نمونه‌های غبار به ترتیب مربوط به روی (٥٥٣٩ میلی گرم بر کیلوگرم) و کبالت (٧/٢١ میلی گرم بر کیلوگرم) بود. میانگین غلظت فلزات روی، مولیبدن، آرسنیک، سرب، کبالت، نیکل و مس به ترتیب حدود ٥٦، ٤، ١، ٣، ٨، ١، ٢ و ٢ برابر از غلظت زمینه بیشتر بود. به طوری که عناصر روی، مولیبدن، آرسنیک، مس و سرب در کلیه نمونه‌ها و عناصر کبالت و نیکل در ٦٠ درصد از نمونه‌ها بالاتر از غلظت زمینه بودند. همچنین در کلیه نمونه ها چهار عنصر روی، مولیبدن، آرسنیک و سرب و در ٤٠ درصد از نمونه ها، مس بالاتر از مقادیر میانگین آن‌ها در پوسته زمین بود. مقادیر غلظت دو عنصر کبالت و نیکل در کلیه نمونه‌ها پایین تر از مقادیر میانگین آن‌ها در پوسته زمین بود. با توجه به یکنواختی رخ ساره زمین شناختی (دشت سر پوشیده) که مجموعه کارخانجات و ایستگاه‌های نمونه برداری در آن قرار دارد، انتظار می‌رود در صورت وجود منشاء طبیعی غبار اطراف صنایع مورد بررسی، غلظت عناصر موجود در آن نیز نرمال و

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

دامنه تغییرات آن کم باشد. این در حالی است که وجود منشاء انسانی می‌تواند دامنه غلظت را افزایش داده و در نقاطی بیش از حدود نرمال آن را فزونی دهد و عامل غیرنرمال شدن داده‌ها شود. لیکن در صورت غیرنرمال بودن داده‌های عناصر سنگین احتمال وجود منشاء انسان ساخت در آن با توجه به دوری یا نزدیکی به منشاء وجود دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، توزیع غلظت کلیه فلزات سنگین به استثناء کبالت در منطقه طبق نتایج آزمون Kolmogorov–Smirnov از توزیع نرمال با چولگی مثبت به سمت غلظت‌های پایین تر تبعیت نمی کند. این در حالی است که فلزاتی نظیر سرب و روی دارای کشیدگی مثبتی بودند که نشان دهنده شیب بیشتر نمودار توزیع این عناصر نسبت به منحنی توزیع نرمال بود. درصد خطای نمونه برداری برای کلیه فلزات سنگین به استثنا نیکل کمتر از ۱۰ درصد محاسبه گردید. همان طور که می‌دانیم، ضریب تغییرات (CV)، درجه تغیرپذیری غلظت های یک فلز را در غبار نشان می‌دهد. درصورتی که ۲۰ ٪≤ CV باشد، نشان دهنده تغییرپذیری اندک، ۵۰٪> CV ≥ ۲۱٪ تغییرپذیری متوسط و ۱۰۰٪ ≥ CV > ۵۰٪ تغییر پذیری بالا است. در حالی که ضرایب تغییر بالاتر از ۱۰۰٪ نشان دهنده تغییرپذیری بی نهایت بالا است [19]. نتیجه محاسبه درصد ضریب تغییرات برای هر یک از فلزات سنگین نشان داد، برای فلزات سنگین روی، کبالت و نیکل درصد ضریب تغییرات در محدوده تغییرپذیری متوسط قرار دارد. در حالی که برای سایر فلزات درصد ضریب تغییرات در محدوده تغییر پذیری اندک به دست آمد (جدول ۳).

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های منفرد نظیر غنی شدگی، شاخص آلودگی و فاکتور آلودگی در شکل ۳ ارائه شده است. مطابق نتایج، بیشترین مقادیر شاخص‌های CF، PI و EF به ترتیب برابر با ۷۹/۱۲، ۹۳/۸۸ و ۳۰/۶۹ مربوط به ایستگاه‌های S_1، S_1 و S_{17} برای عنصر روی بود. بر اساس شاخص CF، کلیه ایستگاه‌های نمونه برداری برای سه عنصر سرب، آرسنیک و روی در کلاس بسیار بالا آلودگی قرار گرفتند. این در حالی است که برای فلزاتی نظیر نیکل و کبالت کلیه ایستگاه‌ها و برای مس ۲۰ ایستگاه (۵۷/۱۴ در صد نمونه ها) در کلاس آلودگی پایین شاخص فاکتور آلودگی قرار داشتند.

جدول ۳: آماره‌های توصیفی فلزات سنگین در غباراتمسفری راسب شونده پیرامون صنایع مورد بررسی

آماره / عناصر	حداقل	حداکثر	میانگین	*غلظت زمینه	**میانگین پوسته زمین	انحراف استاندارد	استاندارد خطا	چولگی	کشیدگی	کولموگروف –اسمیرنوف	ضریب تغییرات	درصد خطای نمونه برداری
واحد	(میلی گرم بر کیلوگرم)										(درصد)	
روی	۲۷۴۲	۵۵۳۹	۳۳۱۰/۵۴	۵۹	۷۰	۸۴۳/۳۲	۱۴۲/۵۴	۱/۶۸	۲/۰۵	۰/۰۰	۲۵/۴۷	۸/۶۰
مولیبدن	۳/۹۰	۵/۲۰	۴/۴۰	۱/۰۱	۱/۵	۰/۳۴	۰/۰۵	۰/۹۰	−۰/۰۱	۰/۰۰	۷/۷۲	۲/۶۰
آرسنیک	۳۲/۱۰	۳۹/۱۰	۳۵/۱۲	۹/۶۰	۱/۸	۲/۴۶	۰/۴۱	۰/۴۲	−۱/۲۲	۰/۰۳	۷/۰۰	۲/۳۶
سرب	۹۲	۲۱۳	۱۳۷/۲۸	۱۷	۱۴	۲۳/۳۷	۵/۴۷	۱/۲۴	۰/۷۷	۰/۰۰	۱۷/۰۲	۵/۷۵
کبالت	۷/۲۱	۱۹	۱۳/۷۳	۸	۲۰	۳/۷۰	۰/۶۲	−۰/۲۷	−۰/۷۳	۰/۱۵	۲۶/۹۴	۹/۱۰
نیکل	۲۳	۶۹	۴۵/۹۱	۲۳	۸۴	۱۶/۱۱	۲/۷۲	۰/۱۳	−۱/۴۱	۰/۰۳	۳۵/۰۹	۱۱/۸۶
مس	۴۰	۱۰۳	۶۳/۶۵	۲۳	۶۰	۴/۱۸	۱/۵۸	۰/۶۲	−۱/۳۷	۰/۰۰	۶/۵۶	۲/۲۱

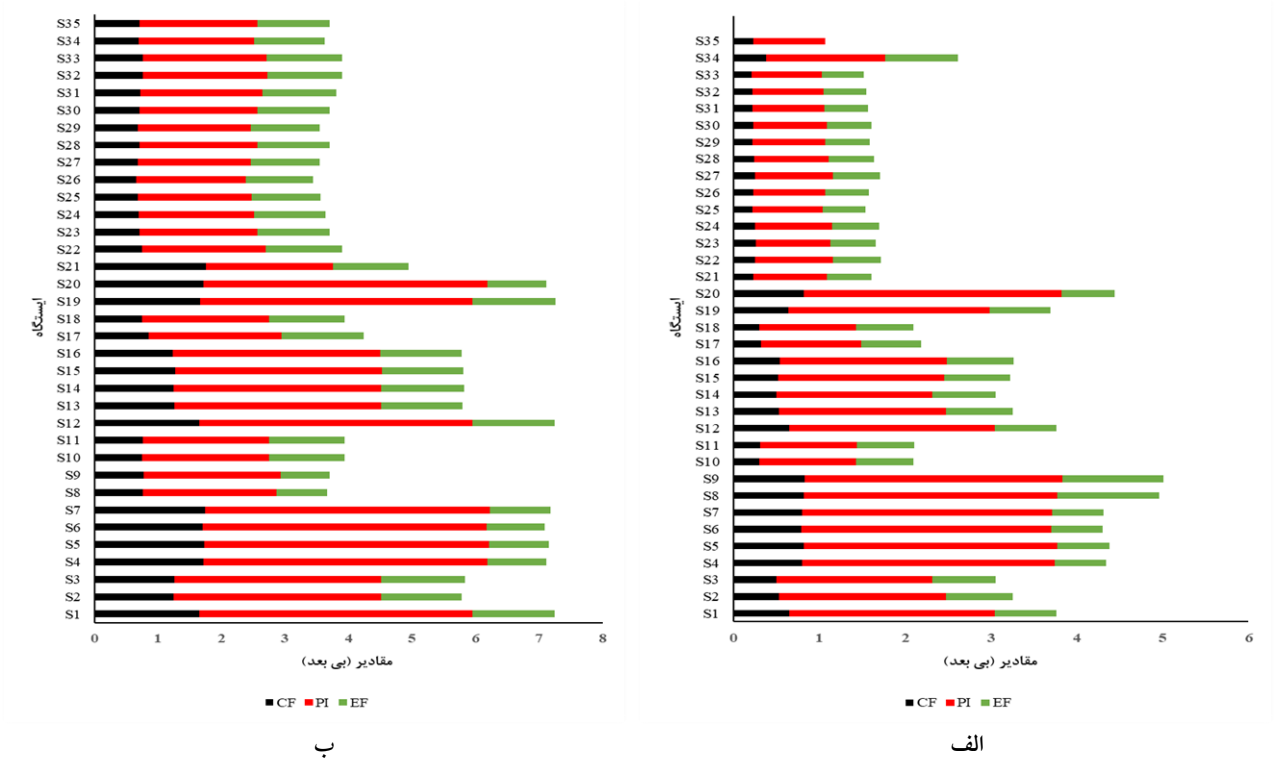
* رفرنس: غلظت زمینه خاک شهرستان اردکان که توسط Siyahati Ardakani و همکاران (۱۳۹۷) اندازه گیری شده است [18]

** رفرنس: Naderizadeh و همکاران [38]، Mazloomi و همکاران [39]

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

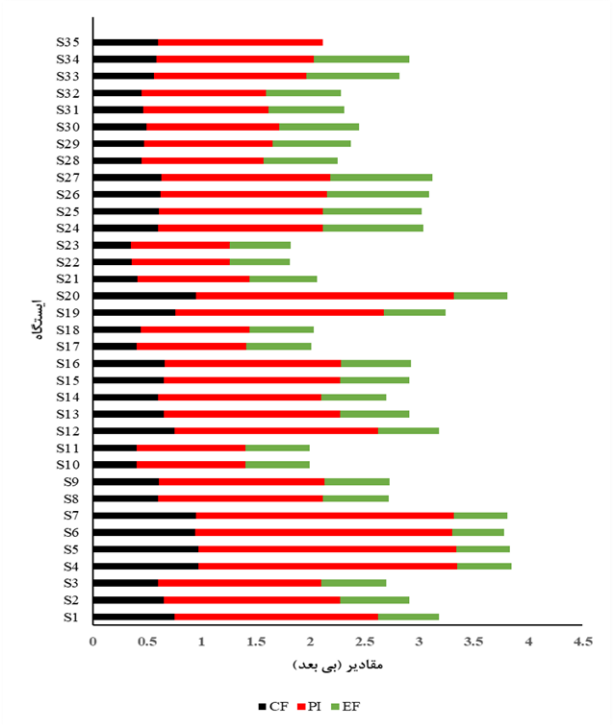
تنها ۱۵ ایستگاه برای فلز مس (۴۲/۸۵ در صد نمونه ها) و ۲۳ ایستگاه برای فلز مولیبدن (۶۵/۷۱ درصد نمونه ها) در کلاس آلودگی متوسط بود. در حالی که مولیبدن در ۱۲ ایستگاه معادل ۳۴/۲۸ درصد از نمونه‌ها در کلاس آلودگی قابل توجه قرار داشت. بر اساس شاخص PI، برای فلزات سنگین مس، سرب، آرسنیک، روی و مولیبدن به ترتیب ۱۴ ایستگاه (۴۰ درصد)، ۳۵ ایستگاه (۱۰۰ درصد)، ۳۲ ایستگاه (۹۱/۴۲ درصد)، ۳۵ ایستگاه (۱۰۰ درصد) و ۳۲ ایستگاه (۹۱/۴۲ درصد) در کلاس شدید آلودگی این شاخص قرار گرفتند. تنها ۲۱ ایستگاه (۶۰ درصد) برای فلزات مس و نیکل، ۳۳ ایستگاه (۹۴/۲۸ در صد) برای کبالت، ۳ ایستگاه (۸/۵۷ در صد) برای فلزات آرسنیک و مولیبدن در کلاس آلودگی متوسط این شاخص قرار گرفتند. کلاس آلودگی غیرآلوده تا کمی آلوده تنها برای دو فلز نیکل و کبالت به ترتیب در ۱۴ ایستگاه (۴۰ درصد) و ۲ ایستگاه (۵/۷۱ درصد) محاسبه گردید. نتایج حاصل از شاخص EF نشان داد، فلزاتی نظیر مس، نیکل و کبالت حداقل غنی شدگی را در کلیه ایستگاه‌ها دارا هستند. این در حالی است که فلزاتی نظیر سرب، آرسنیک و مولیبدن به ترتیب در ۵ ایستگاه (۱۴/۲۸ در صد)، ۳۱ ایستگاه (۸۸/۵۷ در صد) و ۲۸ ایستگاه (۸۰ در صد) دارای کلاس حداقل غنی شدگی بودند. کلاس غنی شدگی متوسط تنها برای فلزاتی نظیر سرب، آرسنیک و مولیبدن به ترتیب در ۱۶ ایستگاه (۴۵/۷۱ در صد)، ۴ ایستگاه (۱۱/۴۲ در صد) و ۷ ایستگاه (۲۰ درصد) محاسبه شد. کلاس غنی شدگی چشمگیر در ۱۴ ایستگاه (۴۰ درصد) برای سرب و در ۵ ایستگاه (۱۴/۲۸ در صد) برای روی وجود داشت. همچنین غنی شدگی خیلی بالا تنها برای فلز روی در ۳۰ ایستگاه معادل ۸۵/۷۱ درصد ایستگاه‌ها برآورد گردید.



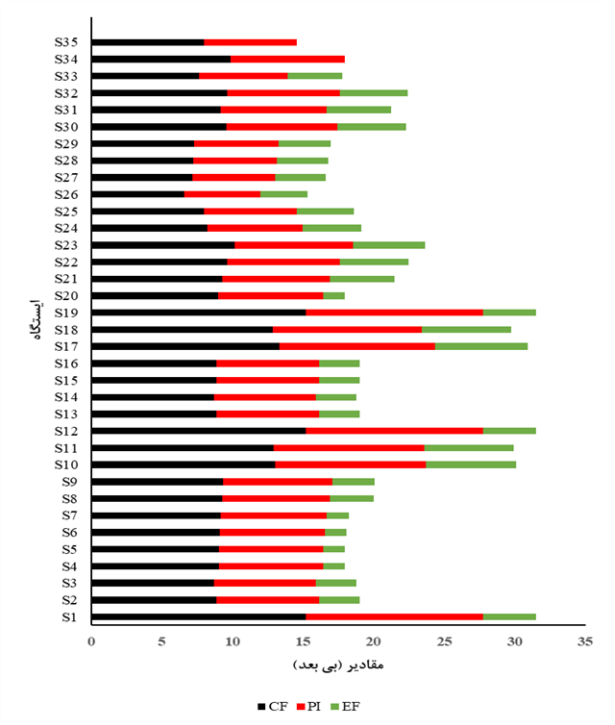
الف ب

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

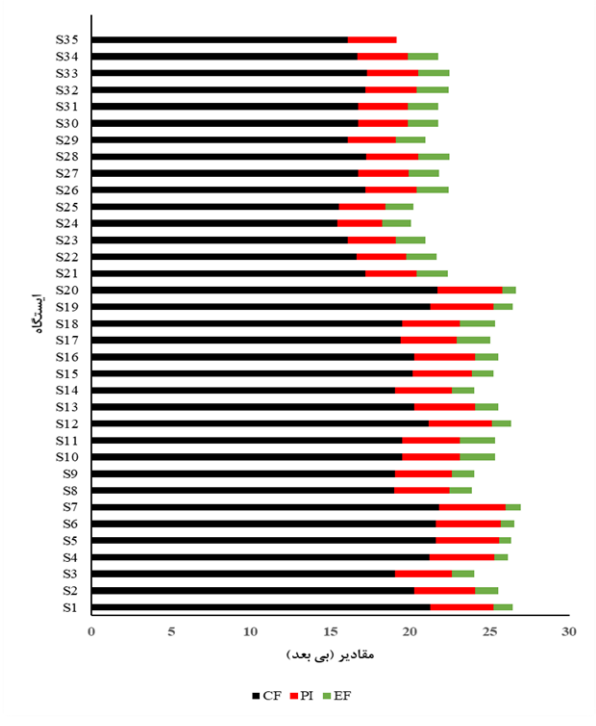
[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]



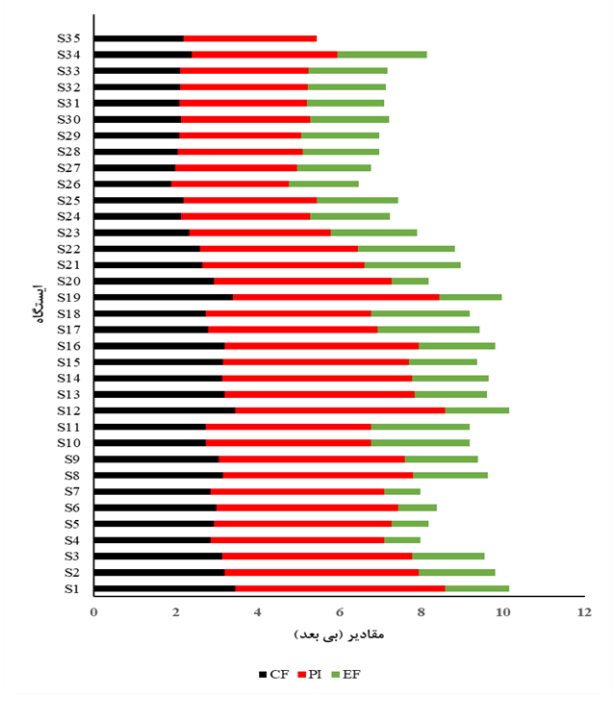
ت



پ



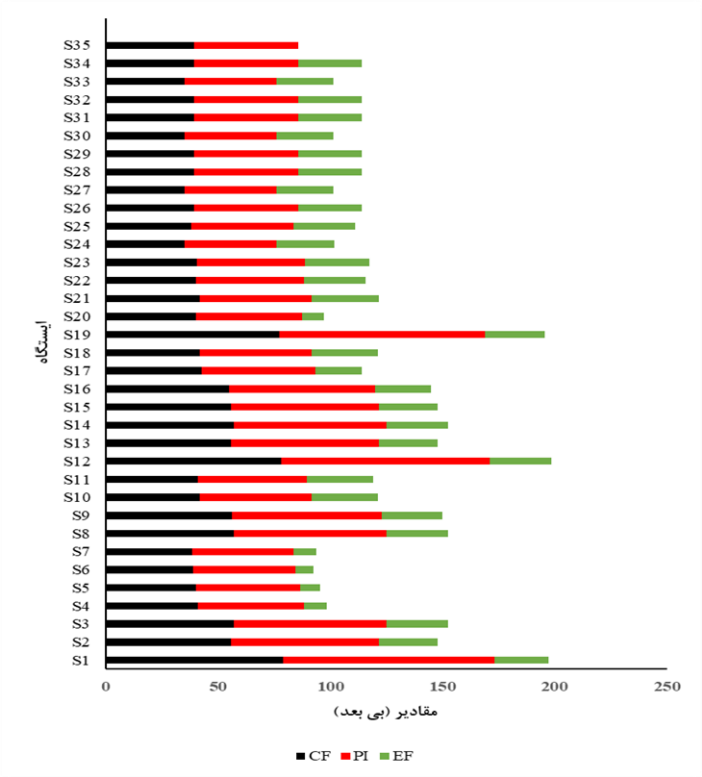
ح



ث

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]



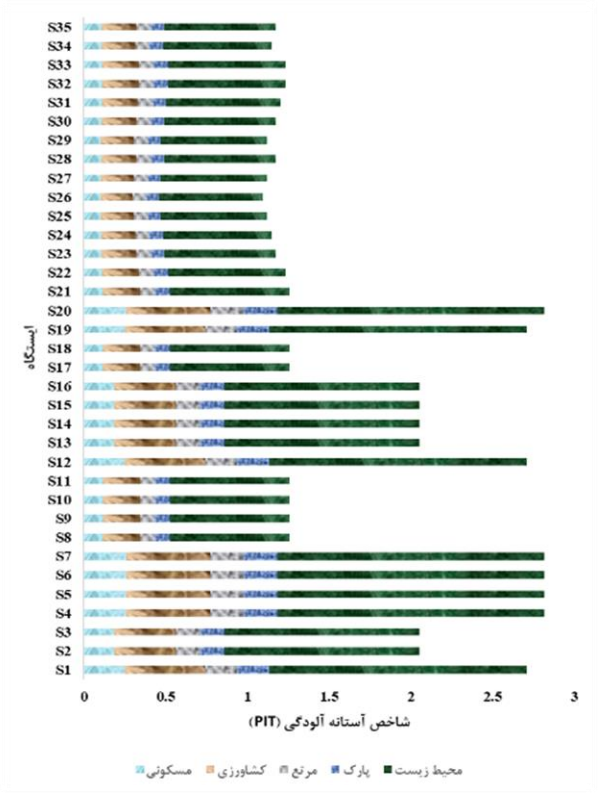
خ

شکل ۳: نتایج مقادیر شاخص‌های EF، PI و CF برای عناصر نیکل (الف)، مس (ب)، سرب (پ)، کبالت (ت)، مولیبدن (ث)، آرسنیک (ح) و روی (خ)

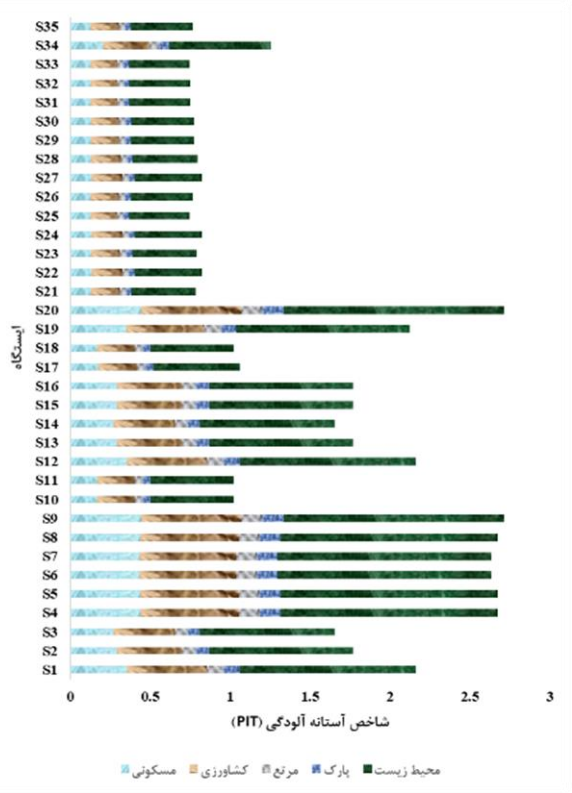
نتایج حاصل از محاسبه شاخص PI_T فلزات سنگین برای هریک از کاربری‌های کشاورزی، مسکونی، پارک و مرتع در شکل ٤ نمایش داده شده است. بیشترین مقدار این شاخص (۲۷/٦۹) برای فلز روی برای کاربری حفاظت از محیط زیست تخمین زده شد. مطابق شکل فلز روی برای کاربری‌های کشاورزی، مسکونی، پارک و مرتع در ٤ ایستگاه مشخص ($S_{۲٤}$، $S_{۲۷}$، $S_{۳۰}$ و $S_{۳۳}$) در کلاس آلودگی شدید و در ۳۱ ایستگاه در کلاس آلودگی خیلی شدید قرار دارند. همچنین قابل ذکر است که ۵ فلز مولیبدن، آرسنیک، کبالت، نیکل و مس در کلیه ایستگاه‌های نمونه برداری، برای کاربری‌های کشاورزی، مسکونی، پارک و مرتع در کلاس غیرآلوده این شاخص قرار داشتند. فلز سرب برای دو کاربری کشاورزی و مسکونی در ۲۸ ایستگاه در کلاس کمی آلوده و در ۷ ایستگاه در کلاس آلودگی متوسط قرار داشتند. در حالی که این فلز برای دو کاربری پارک و مرتع در کلاس غیرآلوده قرار داشت. برای کاربری حفاظت محیط زیست قرار گیری فلزات سنگین در کلاس‌های آلودگی صورت زیر توصیف می‌شود: فلز روی در کلیه ایستگاه‌ها در کلاس آلودگی خیلی شدید قرار گرفت. دو فلز سرب و کبالت در کلیه ایستگاه‌های نمونه برداری در کلاس غیرآلوده قرار داشتند. سه عنصر مولیبدن، نیکل و مس به ترتیب در ١٤، ۲۵ و ۲۱ ایستگاه در کلاس غیرآلوده و ۲۱، ۱۰ و ١٤ ایستگاه در کلاس کمی آلوده قرار گرفتند. آرسنیک تنها فلزی بود که در ۲۰ ایستگاه در کلاس آلودگی متوسط و در ۱۵ ایستگاه در کلاس کمی آلوده قرار داشت.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

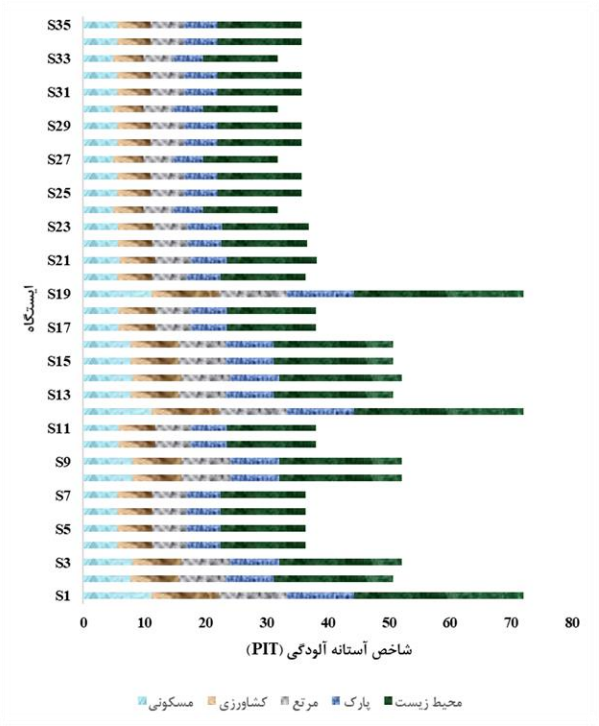
[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

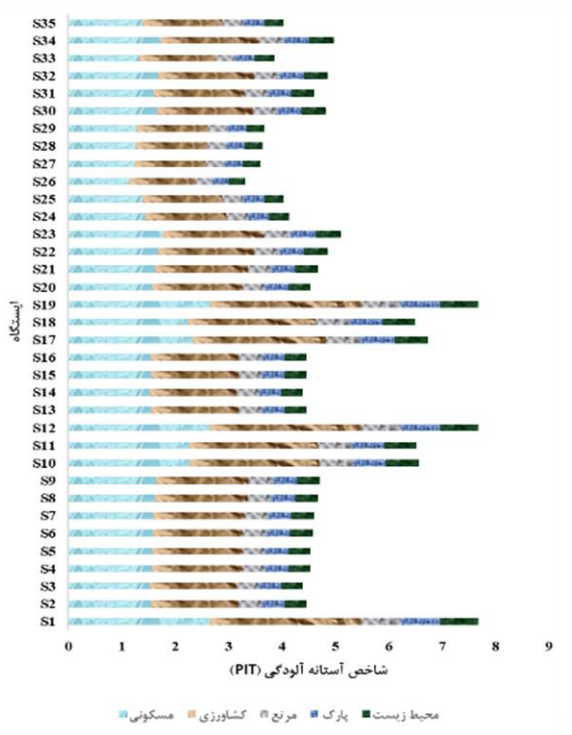


ب



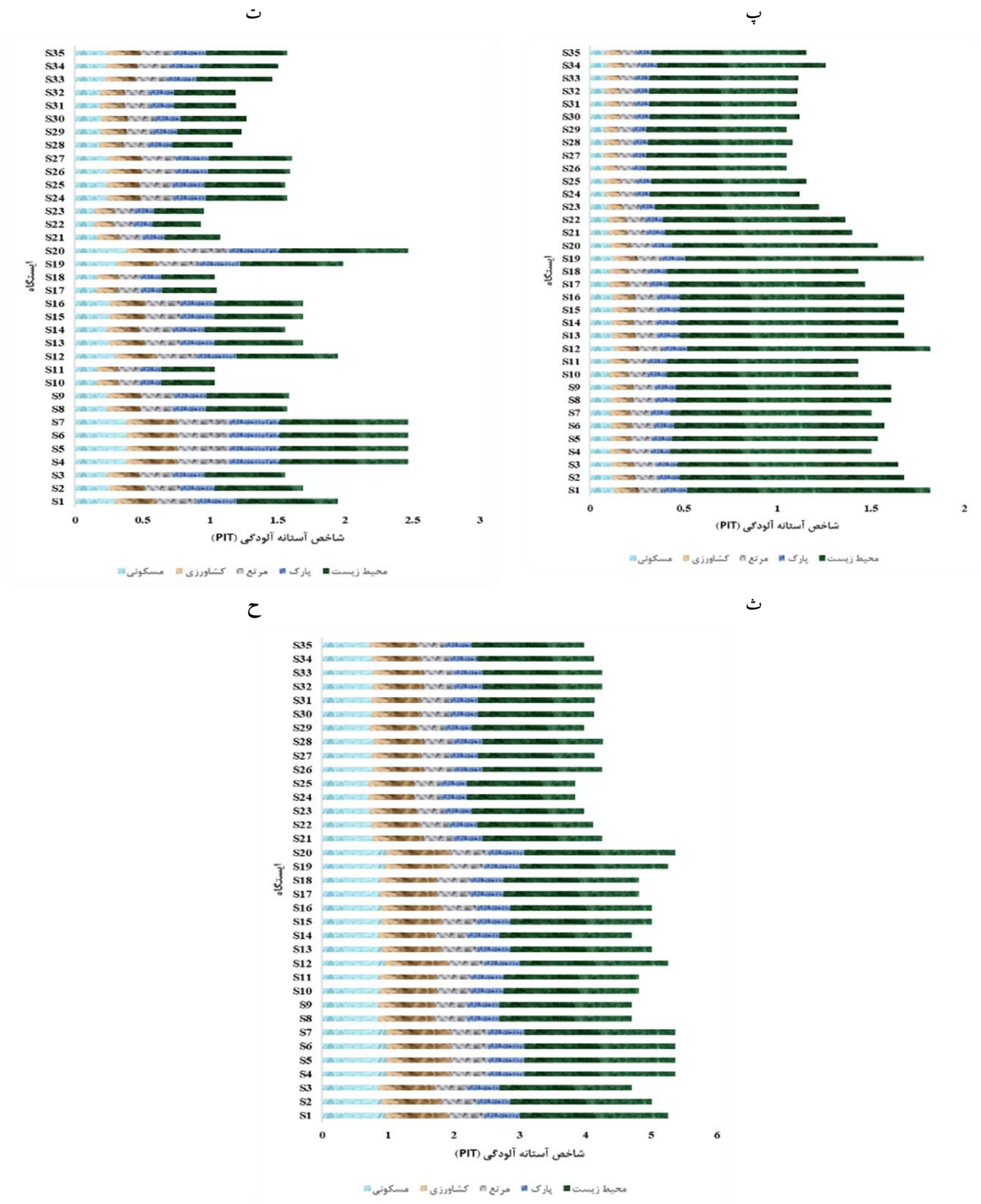
الف





[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

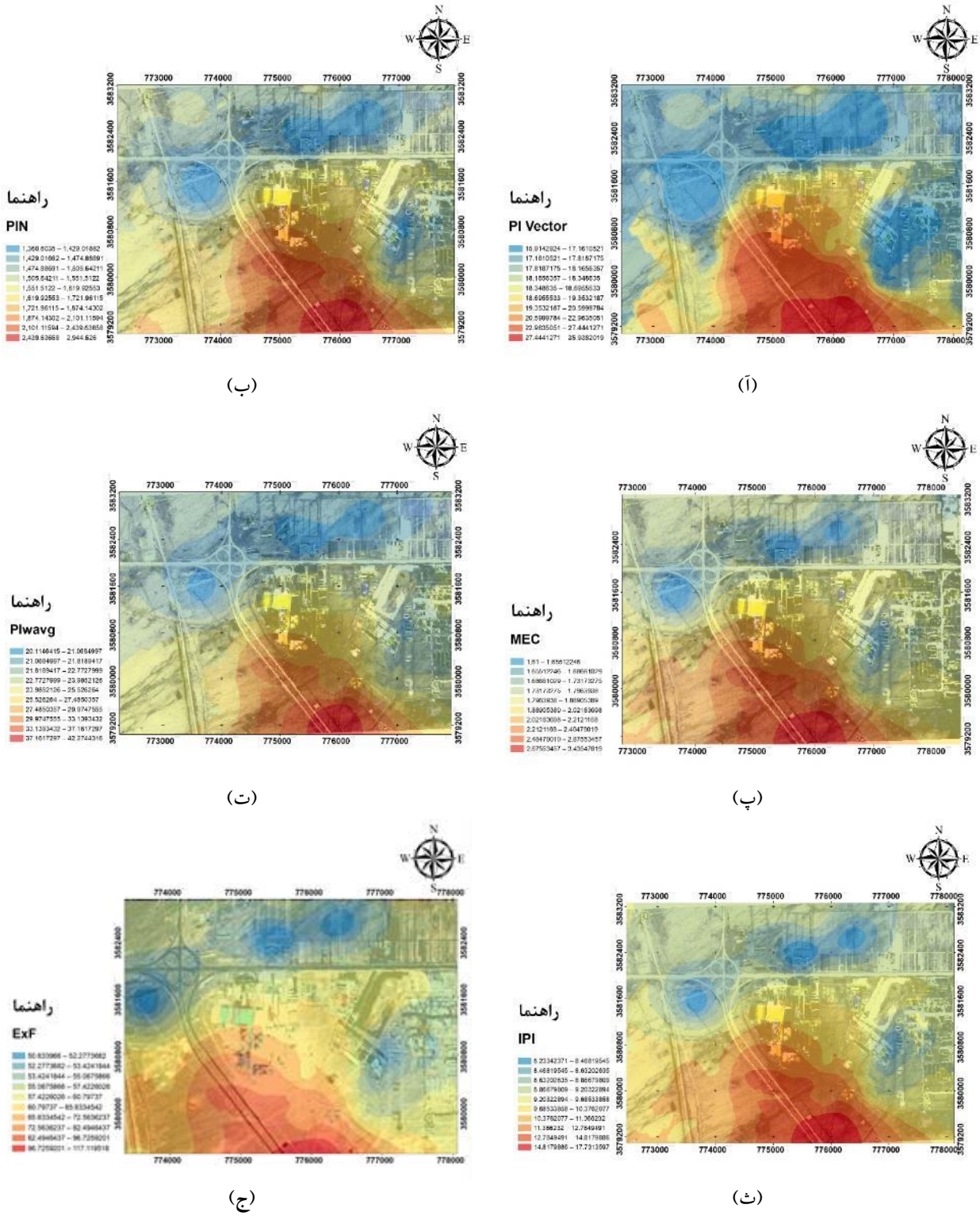


شکل ٤: نمودار تغییرات شاخص آستانه آلودگی (PIT) فلزات سنگین نیکل (الف)، مس (ب)، سرب (پ)، روی (ت)، مولیبدن (ث)، کبالت (ح) و آرسنیک

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

(خ) برای کاربری‌های کشاورزی، مسکونی، پارک، مرتع و حفاظت محیط زیست

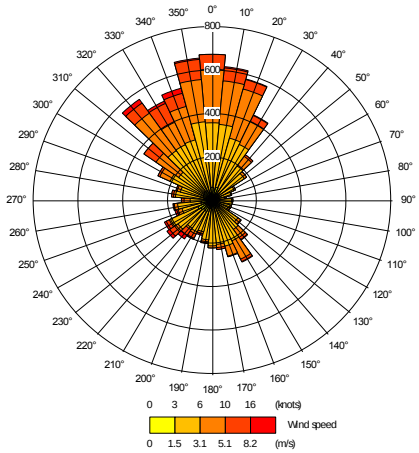


(آ) (ب) (پ) (ت) (ث) (ج)

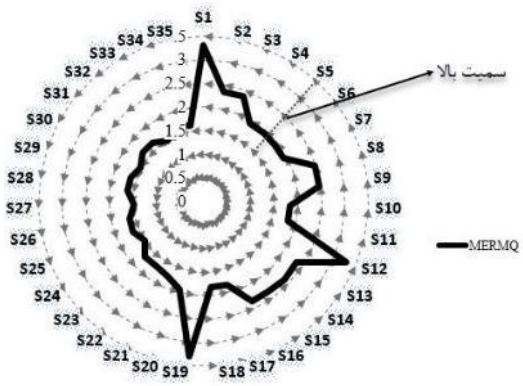
شکل ۵: پهنه بندی شاخص‌های PI_{vector} (آ)، PIN (ب)، MEC (پ)، PI_{wavg} (ت)، IPI (ث) و ExF (ج) فلزات سنگین غبار اطراف صنایع

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]



شکل ۶: گلباد منطقه مورد مطالعه



شکل ۷ :توزیع مقادیر شاخص MERMQ فلزات سنگین در ایستگاه‌های نمونه برداری

در شکل ۵، نقشه‌های پهنه بندی شاخص‌های PI_{vector}، PI_N، MEC، PI_{wavg}، IPI و ExF نشان داده شده است. مطابق شکل، دامنه تغییرات شاخص‌های PI_{vector} برابر با ۳۵/۹۳–۱۵/۹۱، PI_N برابر با ۲۹۴۴/۵۲–۱۳۶۰/۶۰، MEC برابر با ۳/۴۳–۱/۶۱، PI_{wavg} برابر با ۴۲/۲۷–۲۰/۱۱، IPI برابر با ۱۷/۷۳– ۸/۲۳ و ExF برابر با ۱۱۷/۱۱– ۵۰/۶۳ بود. بیشترین مقادیر شاخص های MEC (۳/۴۳) و PI_{vector} (۳۵/۹۳) در ایستگاه‌های S_1 و S_{15}، PI_{wAvg} (۴۲/۲۷) در ایستگاه‌های S_1 و S_{12} و ExF (۱۱۷/۱۱) در ایستگاه S_1 به دست آمد. هر چند برای شاخص‌های PI_{vector} و PI_{wavg} کلاس آلودگی تعیین نشده است، اما با بررسی کلاس‌های آلودگی شاخص PI_N نتایج نشان داد، ۳۲ ایستگاه در کلاس آلوده و ۳ ایستگاه (S_1، S_{12} و S_{19}) در کلاس خیلی آلوده قرار دارند. بر اساس شاخص IPI کلیه ایستگاه‌های نمونه برداری در کلاس شدیدا آلوده قرار گرفتند.

از سوی دیگر، بر اساس آمار و اطلاعات به دست آمده از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به منطقه مورد مطالعه (ایستگاه هوا شناسی میبد) و تحلیل میزان فراوانی باد و تعیین جهت باد غالب گلباد منطقه تهیه گردید که طبق آن جهت باد غالب به سمت جنوب بود (شکل ٦). به این ترتیب اکثر ایستگاه‌های نمونه برداری که در پایین دست صنایع مورد بررسی بودند، در کلاس آلودگی بالاتر قرار گرفتند. دامنه تغییرات شاخص ریسک اکولوژیکی MERMQ برابر با ۳/۲۹ – ۱/٤٨ به دست آمد. بر اساس این شاخص، سه ایستگاه $S_{٢٤}$، $S_{٢٧}$ و $S_{٣٣}$ در کلاس آلودگی متوسط تا بالا (٤٩ درصد سمیت) و ۳۲ ایستگاه دیگر در کلاس سمیت بالا (٧٦ درصد سمیت) قرار گرفتند (شکل۷).

بحث

شواهد حاکی از آن است که توسعه صنایع شیشه، کاشی و سرامیک، خاک چینی و شن ماسه در چند سال اخیر در شهر ستان اردکان باعث ورود طیف و سیعی از آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین از طریق انتشار گاز و ذرات از دودکش‌ها و فرسایش بادی مواد اولیه و نیز پسماند انباشته شده در منطقه شده است. بنابراین ارزیابی شرایط آلودگی در اطراف این صنایع به منظور پیشگیری، کنترل و هشدار به جوامع بشری از اهمیت فراوانی برخوردار است. با این وجود، پژوهش حاضر با دو هدف سنجش غلظت فلزات سنگین در غبار اطراف

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

صنایع مذکور در فصل زمستان و ارزیابی درجه آلودگی آن بر اساس برخی شاخص‌ها صورت گرفت. نتایج نشان داد، میانگین غلظت فلزات سنگین در غبار به ترتیب روی (mg/kg ۳۳۱۰/۵٤)> سرب (mg/kg ۱۳۷/۲۸)> مس (mg/kg ٦۳/٦۵)> نیکل (mg/kg ٤۵/۹۱)> آرسنیک (mg/kg ۳۵/۱۲)> کبالت (mg/kg ۱۳/۷۳)> مولیبدن (mg/kg ٤/٤۰) است. از طرف دیگر میانگین غلظت فلزات سنگین بالاتر از غلظت زمینه (کلیه فلزات سنگین) و پوسته زمین (به استثناء کبالت و نیکل) بود. به عبارت دیگر، میانگین غلظت روی، سرب، مس، نیکل، آرسنیک، کبالت و مولیبدن در کلیه ایستگاه‌ها نسبت به غلظت زمینه آن‌ها در خاک منطقه مورد مطالعه بسیار بیشتر بود. حداکثر غلظت مس، نیکل، کبالت و آرسنیک به ترتیب با مقادیر ۱۰۳، ٦۹، ۱۹ و ۳۹/۱ میلی گرم بر کیلوگرم در ایستگاه‌های $S_٤$، $S_٥$، $S_٦$ و $S_٧$ که مابین صنایع مورد بررسی و مسیر ریلی انتقال کنسانتره سنگ آهن واقع اند، اندازه گیری شد که تقریبا در این ایستگاه‌ها مس و آرسنیک چهار، نیکل سه و کبالت دو برابر غلظت زمینه بود. از آن جا که مسیر ریل راه آهن در حاشیه غربی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است و حمل مواد معدنی مختلف از جمله کنسانتره سنگ آهن برای مصرف در صنایع منطقه و همچنین سایر استان‌ها باعث انتشار مواد خام و اولیه در جریان انتقال از مسیر ریلی می‌شود. احتمالا علاوه بر صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه، مسیر ریلی انتقال کنسانتره سنگ آهن در افزایش غلظت عناصر مس، نیکل، کبالت و آرسنیک تاثیر گذار بوده است. بر اساس تحقیقات Siyahati Ardakani و همکاران [۱۸]، Sistani و همکاران [٤۰] و Hormozi Nejad و همکاران [٤۱] فلزات سنگین مس، نیکل، کبالت و آرسنیک از عناصر اصلی در مواد اولیه تولید فولاد بوده که افزایش غلظت آن‌ها در غبار و خاک‌های سطحی مبین تاثیر صنایع فولاد است. همچنین نتایج نشان داد؛ حداکثر غلظت روی (۵۵۳۹ میلی گرم بر کیلوگرم)، سرب (۲۱۳میلی گرم بر کیلوگرم) و مولیبدن (۵,۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم) در ایستگاه های $S_{۱۲}$ و $S_{۱۹}$ نزدیک به کارخانه فرآوری شن و ماسه و جاده میبد اردکان است. Mohamadi و همکاران [٤۲] بیان داشتند که غلظت روی و سرب در کنار جاده به علت پارگی و ساییدگی رزین تایرها، فرسودگی گاردریل حفاظ جاده‌ها و تابلوها ی راهنمایی و رانندگی، بنزین سربدار و وزنه های سربی بالانس چرخ خودروها افزایش می یابد. کاربرد فلزات روی و مولیبدن در فرآیند تولید کاشی سرامیک در مراحل ایجاد پوشش فلزی بر روی کاشی و سرامیک (مولیبدن)، کاهش ویسکوزیته و تنش سطحی مذاب لعاب (اکسید روی) باعث انتشار بیشتر این فلزات در محیط می‌شود. سرب به شکل PbO در ایجاد شفافیت و صاف بودن شیشه نقش دارد. اکسید روی باعث افزایش مقاومت حرارتی و مکانیکی شیشه و خواص مکانیکی و شیمیایی آن می‌شود. پودر خاکستری CoO و پودر سیاه Cu_2O به عنوان مواد رنگی در تولید شیشه‌های رنگی نقش دارند. آرسنیک به عنوان یک ماده خام فرعی به شکل ASO_3 برای ایجاد سهولت در حذف حباب‌های شیشه ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این فلز عامل تصفیه کننده و متعادل کننده ی سیلیسیم در رنگ زدایی شیشه است [٤۳، ٤٤].

با توجه به یکنواختی رخساره زمین شناختی (دشت سرپوشیده) که مجموعه کارخانجات و ایستگاه‌های نمونه برداری در آن قرار دارد، انتظار می‌رود در صورت وجود منشاء طبیعی غبار اتمسفری غلظت عناصر موجود در آن نیز نرمال و دامنه تغییرات آن کم باشد. این در حالی است که وجود منشاء انسانی می‌تواند دامنه غلظت را افزایش داده و در نقاطی بیش از حدود نرمال آن را فزونی دهد و عامل غیرنرمال شدن داده‌ها شود. لیکن در صورت غیرنرمال بودن داده‌های عناصر سنگین احتمال وجود منشاء انسان ساخت در آن با توجه به دوری یا نزدیکی به منشاء وجود دارد. نتایج تحقیق حاضر منعکس کننده توزیع غیرنرمال غلظت کلیه فلزات به استثناء کبالت در ایستگاه‌های نمونه برداری نصب شده اطراف صنایع مورد

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

برر سی بود. تمامی این فاکتورها به نحوی می‌توانند تاییدکننده منشاء احتمالی از نوع انسان زاد فلزات سنگین به استثناء کبالت در غبار اطراف صنایع با شند. احتمالا فعالیت صنایع غیرفلزی مورد برر سی و تردد و سایل نقلیه باعث افزایش غلظت فلزات سنگین شده باشد. در مطالعه Rout و همکاران بر روی غلظت فلزات سنگین در غبار ریز شی اطراف یک ناحیه معدنی زغال سنگ در هند، غلظت فلزات سنگین به صورت روی> سرب> مس> نیکل> کبالت اندازه گیری شـد که مشـابه نتایج مطالعه حا ضر ا ست [۴۵]. Cujic و همکاران غلظت فلزات سنگین در اطراف بزرگترین نیروگاه سـوخت زغال سـنگ را به صـورت روی> نیکل> سرب> مس> کبالت اندازه گیری نمودند [۴۶].

نتایج دیگر مطالعه حاضـر نشـان داد، بیشـترین مقدار شاخص‌های منفرد CF، PI و EF مربوط به فلز روی و سرب اسـت که باعث قرارگیری این عناصـر در بالاترین کلاس آلودگی شـده اسـت. بر عکس نیکل و کبالت در پایین ترین کلاس آلودگی این شاخص‌ها قرار داشتند. در پژوهش Sistani و همکاران بر روی ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی فلزات سـنگین سـرب، روی و نیکل خاک‌های مجاور صـنایع فولاد کرمان، نتایج نشـان داد فلز نیکل در پایین ترین کلاس آلودگی شاخص‌های EF و CF قرار دارد. در حالی که فلزات سرب و روی بر اسـاس شـاخص CF به ترتیب در کلاس‌های آلودگی متوسـط و پایین و بر اسـاس شـاخص EF به ترتیب در کلاس‌های قابل توجه و متوسط قرار گرفتند [۴۰]. Mohammad و همکاران در طی یک بررسـی بر روی میزان آلودگی فلزات سـنگین نیکل، مس، سـرب و روی در مناطق صـنعتی شـهر ماهشـهر با اسـتفاده از شـاخص PI به این نتیجه رسـیدند، بالاترین مقادیر شـاخص PI مربوط به فلز نیکل اسـت و فلز نیکل در کلاس‌های متوسط تا شدید، مس کم تا شدید، سرب بدون آلوده تا کمی آلوده و روی بدون آلودگی تا متوسط متغیر هستند [۴۷]. Ozkul غنی شدگی (EF) فلزات سنگین در خاک اطراف نیروگاه تانک بیلک برای فلز آرسنیک چشمگیر تا فوق العاده زیاد، برای مس حداقل تا چشمگیر، برای نیکل حداقل تا فوق العاده زیاد، برای سرب متوسط تا خیلی بالا و برای روی حداقل تا خیلی بالا اندازه گیری نمودند [۴۸].

از شاخص PI_T برای تعیین آستانه آلودگی فلزات سنگین در کاربری‌های مسـکونی، پارک، مرتع، کشـاورزی و حفاظت محیط زیست که در محدوده مورد مطالعه بودند، استفاده شد. نتایج نشان داد روی برای کلیه نمونه‌ها و در کلیه کاربری‌ها در کلاس خیلی شـدید آلودگی و کبالت در کلاس غیرآلوده این شـاخص قرار دارند که این مطلب نمایانگر حسـاسـیت محیط زیست نسبت به آلودگی فلز روی در منطقه است. چهار عنصر مولیبدن، آرسنیک، نیکل و مس برای چهار کاربری کشاورزی، مسـکونی، پارک و مرتع در کلاس غیرآلوده و برای حفاظت محیط زیست در کلاس غیرآلوده تا کمی آلوده قرار دارند. فلز سـرب برای دو کاربری مرتع و حفاظت محیط زیسـت در کلاس غیرآلوده و برای کاربری‌های کشاورزی و مسکونی در کلاس‌های کمی آلوده تا متوسط قرار داشت.

علاوه بر استفاده از شاخص‌های منفرد در ارزیابی آلودگی غبار صنایع از شاخص‌های تلفیقی استفاده گردید. بر اساس شـاخص PI_N اکثر ایسـتگاه‌ها در کلاس آلوده قرار گرفتند. شـاخص IPI کلیه ایسـتگاههای نمونه برداری را در کلاس به شدت آلوده قرار داد. نتایج تحقیقات Rezaipoor baghedar و همکاران بر روی رسوبات باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن در مجتمع معدنی چغارت بافق اسـتان یزد نشـان داد، مقادیر شـاخص IPI در ۲۵ نمونه برداشـته شـده از منطقه در کلاس آلودگی متوسـط قرار دارد [۴۹]. Dolezalova Weissmannova و همکاران در تحقیقی با هدف ارزیابی ریسـک اکولوژیکی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف معدن زغال سنگ و ریخته گری استراوا جمهوری چک توانستند با استفاده از شاخص IPI آلودگی منطقه در کلاس شـدید قرار دهند [۵۰]. در تحقیق حاضر مقادیر شاخص MEC بالاتر از عدد یک به دست آمد که اشـاره به فعالیت‌های انسـان زاد در افزایش غلظت فلزات

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

سنگین در غبار دارد. نتایج پهنه بندی شاخص‌های PI_N، PI_{vector}، PI_{wavg}، MEC، ExF و IPI در محیط GIS نشان داد، بیشترین مقادیر شاخص‌ها PI_N، PI_{vector} و MEC به ترتیب با مقادیر ۲۹۴۴/۵۲، ۳۵/۹۳ و ۳/۴۳ در ایستگاه‌های S_1 و S_{10} بوده که این ایستگاه‌ها به ترتیب ۱۲۸۷ و ۱۰۶۵ متر از صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه و ۷۴۳ و ۵۱۲ متر از صنایع فرآوری شن وماسه فاصله دارند. بیشترین مقادیر شاخص های PI_{wavg}، IPI و MERMQ به ترتیب با مقادیر ۴۲/۲۷، ۱۷/۷۳ و ۳/۲۹ در ایستگاه‌های S_1 و S_{12} با فواصل ۱۲۸۷ و ۵۲۵ متر از کارخانه کاشی و سرامیک و ۷۴۳ و ۵۲۸ متر از کارخانه فرآوری شن ماسه بود. بیشترین مقادیر شاخص ExF با مقدار ۱۱۷/۱۱ در ایستگاه S_1 به دست آمد. نزدیکترین ایستگاه (S_{10}) از صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه به فاصله ۱۲۷ متر بود که مقادیر شاخص‌های مورد بررسی در این ایستگاه کمتر تخمین زده شد. احتمالا به علت ارتفاع بلند دودکش صنایع، باد غالب منطقه، تاثیر جاده و مسیر ریلی انتقال سنگ آهن، دپو ضایعات صنایع باعث تجمع بیشتر آلاینده‌ها در فواصل دورتر شده باشد. همانند نتایج Siyahati Ardakani و همکاران [۲۳] و Hormozi Nejad و همکاران [۴۱]، ایستگاه‌های که حداکثر مقادیر شاخص‌ها در آن‌ها تخمین زده شد، در پایین دست صنایع و در جهت باد غالب منطقه واقع بودند. به عبارت دیگر جهت وزش باد در پراکنش عناصر موثر بوده و با توجه به اینکه در اکثر نقاط با دور شدن از کارخانه غلظت عناصر کاهش یافته است می‌توان چنین بیان کرد که کارخانجات مورد بررسی به عنوان منبع آلودگی می‌باشند و این امکان نیز وجود دارد، عناصر انتشاریافته از این صنایع پس از سال‌ها در خاک انباشته شده و باعث آلودگی خاک‌های منطقه شوند. Sadr و همکاران در ارزیابی آلودگی بخشی از خاک‌های استان اصفهان، ضمن معرفی فعالیت‌های صنعتی به عنوان مهمترین عامل در ورود فلزات به خاک، جهت باد غالب را در انتشار آن موثر تشخیص دادند [۵۱]. Khaledan و همکاران نیز در بررسی آلودگی خاک‌های مجاور مجتمع فولاد مبارکه، جهت باد غالب را به عنوان عامل پراکنش فلزات سنگین در خاک منطقه معرفی کردند [۵۲].

نتایج مطالعه حاضر می‌تواند مقادیر مرجع در مطالعات و ارزیابی‌های آینده کارخانجات مورد بررسی باشد. از آن جایی که غلظت فلزات سنگین مداوم در حال تغییر است بنابراین بایستی در بازده‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به درجه بالای آلودگی فلزات سنگین در غبار راسب شونده پیرامون صنایع، توصیه می‌شود که صنایع غیرفلزی مورد بررسی به ویژه صنایع شیشه و کاشی سرامیک به دور از نقاط مسکونی انتقال یابند. چرا که با توجه درجه آلودگی غبار، تحرک فلزات سنگین در دراز مدت باعث ورود این آلاینده‌ها به چرخه بوم شناختی خواهد شد و سلامت جوامع محلی اطراف را تحت تاثیر قرار خواهد داد. با توجه به فاصله دو کیلومتری صنایع مورد بررسی به اراضی کشاورزی ممکن است فلزات سنگین صنایع از طریق ترسیب اتمسفری وارد محصولات شوند و به دنبال آن باعث پدیدار شدن انواع بیماری‌ها در انسان شوند. بنابراین پیشنهاد می شود از کاشت محصول در زمین‌های کشاورزی اطراف صنایع ممانعت به عمل آید. از سوی دیگر قوانین زیست محیطی باید این کارخانجات را به استفاده از اقدامات احتیاطی و تکنولوژی‌های جدید برای حفاظت محیط زیست از آلاینده‌های خطرناک وادار نماید. از دیگر راهکارهای مدیریتی در راستای کنترل آلودگی غبار صنایع مورد بررسی، کاشت گونه‌های درختی و درخچه ای مقاوم به شرایط آلودگی منطقه در اطراف صنایع است. با توجه به غلظت زیاد فلزات سنگین مورد بررسی در غبار راسب شونده اتمسفری پیرامون صنایع کاشی سرامیک، شیشه، خاک چینی و شن ماسه توصیه می‌شود سلامت کارکنان این صنایع و ساکنین اطراف آن‌ها توسط مراکز بهداشتی منطقه دائما مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه دپوی ضایعات این صنایع در معرض مسیر باد قرار می‌گیرد، توصیه می شود

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

دپوها در اراضی واقع در چند کیلومتری دور از مراکز جمعیتی حساس انتقال یابند.

برای اجرای عملی پژوهش حاضر، این تحقیق با یک سری محدودیت‌ها رو به رو بود. اصلی ترین محدودیت در مرحله نمونه برداری از غبار اطراف صنایع بود. پیدا نمودن مکان مناسب برای نصب تله‌ها و مخفی ماندن آن‌ها از دید مردم، تخریب و کنده شدن برخی از تله‌های غبار گیر توسط اهالی منطقه از مشکلات اجرایی این پژوهش بود. سایر محدودیت‌ها شامل زمان بر بودن جمع آوری غبار از تله های چمنی و انتخاب مکان مناسب و استریل برای جداسازی غبار، هزینه بالای مواد شیمیایی و اسید برای آنالیز نمونه‌ها بود. از آن جایی که این تحقیق در فصل زمستان برای برخی فلزات سنگین به نگارش در آمده است، پیشنهاد می‌شود غلظت عناصر سمی تر از جمله جیوه در فصول مختلف و در سالهای متوالی اندازه گیری و مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که غلظت فلزات سنگین در غبار اطراف صنایع همانند خاک‌های سطحی می‌تواند به صورت ابزار ژئوشیمیایی قدرتمندی برای پایش اثرات فعالیت‌های صنعتی صنایع مورد بررسی به کار گرفته شود. در این پژوهش، میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کبالت، آرسنیک، باریوم، مس، مولیبدن و آلومنیوم در غبار اطراف صنایع مورد بررسی با مطالعات آماری، غلظت زمینه و شاخص‌های آلودگی منفرد و تلفیقی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای درک پیچیدگی پراکنش آلاینده ها، مدل‌های ریاضی CF، EF، PI_T، PIN، PI_{vector}، PI_{wavg}، MEC، ExF، MERMQ و IPI استفاده گردید تا پویایی پراکنش را بر حسب آلودگی و وضعیت کلی آلودگی ایستگاه‌های نمونه برداری تشریح کنند. بر این اساس، میانگین غلظت کلیه فلزات سنگین غبار راسب شونده بالاتر از غلظت زمینه فلزات در خاک منطقه بود. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته، علاوه بر انتشارات صنایع احتمالا عوامل دیگری نظیر مسیر انتقال کنسانتره سنگ آهن و تردد وسایل نقلیه در جاده‌ها در افزایش غلظت برخی عناصر تاثیر گذار بوده است. بر اساس شاخص‌های منفرد آلودگی، بالاترین میزان آلودگی برای فلز روی تخمین زده شد. همچنین شاخص‌های تلفیقی مورد بررسی منعکس کننده میزان بالای آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد بررسی بود. به طوری که شاخص IPI کلاس آلودگی فلزات سنگین را طبقه شدیدا آلوده و شاخص ریسک اکولوژیکی MERMQ در طبقه متوسط تا بالا قرار داد. بر اساس نتایج پهنه‌بندی تعدادی از شاخص‌های آلودگی، جهت باد غالب منطقه نقش مهمی در افزایش غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های پایین دست صنایع دارد.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه در مقطع کارشناسی ارشد با کد اخلاق IR.YAZD. REC.1398.027 است که با حمایت دانشگاه یزد اجرا شده است. نویسندگان از کلیه افرادی که در مراحل مختلف انجام این پژوهش یاری نمودند، نهایت سپاس و قدردانی ابراز می‌دارند.

References

1. Neurosis B, Rostamy N, Tavakoli M, Rostami nia M. Evaluation of polluting industries effects on soil heavy metals (Case Study: Ilam Cement Factory). Geo and Enviro Studies 2016;5(19): 100-89 [In Persian].
2. Shojaee Barjoee S, Azimzadeh H, kuchakzadeh MR, et al. Dispersion and Health Risk Assessment of PM10 Emitted from the Stacks of a Ceramic and Tile industry in Ardakan, Yazd, Iran, Using the AERMOD Model. Iran South Med J 2019;22(5): 317-32 [In Persian].
3. Kamani H, Hoseini M, Safari Gh, al. e. Concentrations of Heavy Metals in surface soil of Zahedan City. J Health 2017;8(2): 182-90 [In Persian].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

4. Shojaee Barjoee S, Azimzadeh H, MoslehArani A, Kuchakzadeh M. Occupational monitoring and health risks assessment of respiratory exposure to dust in an industrial unit of production Khak-e-Chini. Occup Med 2019;11(3): 14-25 [In Persian].

5. Kuo CC HB, Umans JG, et al. Arsenic exposure, arsenic metabolism, and incident diabetes in the strong heart study. Diabetes Care 2015;38(4): 620-7.

6. Thongsringklee M, Robson MG, Siriwong W. Health effects of low level exposure to lead among communication radio repair workers at Samutsakhon province, Thailand. HERAJ 2020: 1-8.

7. Attaeian B, Mortazavi S, Farokhzadeh B, M. K. Evaluation and Mapping Spatial distribution of Copper Pollution in Soil and Water of Vineyard Garden. J Environ Health Eng 2019;6(3): 293-310.

8. Gupta P. Toxic Effects of Metals and Micronutrients. Concepts and Applications in Veterinary Toxicology: Springer; 2019. p. 83-119.

9. Genchi G, Carocci A, Lauria G, et al. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. Int J Environ Res Publ Health 2020;17(3): 679.

10. Leyssens L VB, Van Der Straeten C, et al,. Cobalt toxicity in humans—A review of the potential sources and systemic health effects. Toxicology 2017(387): 43-56.

11. Jiang X, Lu W, Zhao H, et al. Potential ecological risk assessment and prediction of soil heavy-metal pollution around coal gangue dump. Nat Hazards Earth Syst Sci 2014;14(6): 1599-610.

12. Raheleh H KM, Khodai k, shahsawary AA, et al. Evaluation of pollution and ecological risk of heavy metals in surface soils around granitoids of Ahar-East Azarbaijan region. Res Earth Sci 2016;7(26): 1-20 [In Persian].

13. US EPA. Guidelines for ecological risk assessment: EPA/630/R- 95/002F. Fed Regist 1998;63(93): 26846-924.

14. Weissmannova, Helena Dolezalova, Pavlovsky Jirl. Indices of soil contamination by heavy metals–methodology of calculation for pollution assessment (minireview). Environ Monit Assess 2017;189(12): 616.

15. Wu J, Teng Y, Lu S, et al. Evaluation of soil contamination indices in a mining area of Jiangxi, China. PloS one 2014;9(11): e112917.

16. Ravankhah N, Mirzaei R, Masoum S. Evaluation of geoaccumulation index, contamination factor, and principal component analysis for estimating soil contamination. Iran J Health Environ 2015;8(3): 345-56 [In Persian].

17. Yadegarnia Naeini F, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A, et al. Ecological risk assessment of heavy metals from cement factory dust. Environ Health Engin Manag J 2019;6(2): 1-9.

18. Siyahati Ardakani GhR, Mirsanjari M, Azimzadeh HR, Solgi E. The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel. Iran J Health Environ 2018;11(3): 464-49 [In Persian].

19. Huang S, Yuan C, Li Q, et al. Distribution and risk assessment of heavy metals in soils from a typical Pb-Zn mining area. Polish J Environ Studies 2017 26(3): 1105-12.

20. Kwata MG. Comparison of methods for measurement of dust deposition in South African mining sectors (Doctoral dissertation, University of Pretoria). University of Pretoria; 2014.

21. Wysocka I, Vassileva E. Determination of cadmium, copper, mercury, lead and zinc mass fractions in marine sediment by isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry applied as a reference method. J Microchemical 2016;128: 198-207.

22. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, et al. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. Iran J Health Environ 2017;10(1): 75-86 [In Persian].

23. Siyahati Ardakani G, Mirsanjari M, Azimzadeh H, Solgi E. Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Topsoil around Major Industries of Ardakan City. Toloo e Behdasht 2019;7(6): 95-110 [In Persian].

24. Soil Resource Quality Standards and Guidelines. Iran Environmental Protection Agency 2014: URL: http://environment-lab.ir[in [In Persian].

25. Nazarpour A, Ghanavati N, Babaenejad T. Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field. Iran J Health Environ 2017;10(3): 391-400 [In Persian].

26. Gong Q, Deng J, Xiang Y, et al. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. J China Univ Geosci 2008;19: 230–41.

27. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water Res 1980;14(8): 975-1001.

28. Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, et al. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. J China Univ Geosci 2008;19(3): 230-41.

29. Caeiro S, Costa MH, Ramos TB, et al. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. Ecol Indicat 2005;5: 151–69.

30. Sonomdagva C, Chultem B, Byambatseren C, et al. Contamination and Health Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil of Major Cities in Mongolia. Int J Environ Res Public Health 2019;16: 2552.

31. Kowalska JB, Mazurek R, Gasiorek M, Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

evaluation of the degree of soil contamination–A review. Environ Geochem Health 2018;40: 2395–420.

32. Kloke A. Contents of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury and nickel in plants grown on contaminated soil. InUN-ECE Symposium, Geneva 1979 Aug 20.
33. Christophoridis C, Dedepsidis D, K. F. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. J Hazard Mater 2009,;168(2-3): 1082-91.
34. Edith-Etakah BT, Shapi M, Penaye J, et al. Background concentrations of potentially harmful elements in soils of the Kette-Batouri region, Eastern Cameroon. Res J Environ Toxicol 2017;11: 40-54.
35. Tesleem O, Kolawole Akinade S, Olatunji MT, et al. Heavy Metal Contamination and Ecological Risk Assessment in Soils and Sediments of an Industrial Area in Southwestern Nigeria. J Health Pollut 2018;8(19): 1-16.
36. Kaydan Z, Nazarpour A, Ghanavati N. Evaluation of Soil Pollution with Heavy Metals (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni and V) in Ahvaz Parks (2016). J Health 2019;10(2): 228-39 [In Persian].
37. Wang X, Lei L, Huang K, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. J Hazard Mater 2009;161(2–3): 1058–62.
38. Naderizadeh Z, Ayoubi S, Khademi H. Assessment of concentration and heavy metals contamination in atmospheric dust from urban and industrial areas of Bushehr Province. J Nat Environ 2016;69(2): 531-48 [In Persian].
39. Mazloomi S, Esmaeili-Sari A, Bahramifar N, Moeinaddini M. Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. Iran J Health Environ 2017;10(2): 281-92 [In Persian].
40. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, et al. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. IJHE 2017;10(1): 75-86 [In Persian].
41. Hormozi Nejad Z, Rastmanesh F, Zarasvandi A. Contamination assessment of heavy metals in the soils around Khouzestan Steel Company (Ni, Mn, Pb, Fe, Zn, Cr). J Econ Geol 2016;8(2): 415-29 [In Persian].
42. Mohamadi M, Ghasemi R, Naeimi M. Distribution Pattern of Heavy Metals in Roadside Topsoils around the Rasht-Qazvin Freeway. J Health 2018;9(3): 249-58 [In Persian].
43. Andreola F, Barbieri L, Soares BQ, et al. Toxicological analysis of ceramic building materials–Tiles and glasses–Obtained from post-treated bottom ashes. Waste Manag 2019;98: 50-7.
44. Alghamdi AS, Almugren KS. Assessment of the chemical compositions and natural radioactivity in ceramic tiles used in some Saudi Arabian buildings. J Aust Ceram Soc 2019;55(4): 1099-107.
45. Rout TK, Masto RE, Padhy PK, et al. Dust fall and elemental flux in a coal mining area. J Geochem Explor 2014;144: 443-55.
46. Cujic M, Dragovic S, Dordevic M, et al. Environmental assessment of heavy metals around the largest coal fired power plant in Serbia. Catena 2016;139: 44-52.
47. Mohammad AF, Panahpour E, Nazarpour A. The Study on the Level of Pollution and Spatial Distribution of Concentrations of Heavy Metals (Cr, Ni, Cu, Pb and Zn) in the Industrial City of Mah-Shahr. J Nat Environ 2018;71(3): 399-412 [In Persian].
48. Ozkul C. Heavy metal contamination in soils around the Tunçbilek thermal power plant (Kütahya, Turkey). Environ Monit Assess 2016;188(5): 284.
49. Rezaipoor baghedar A, Vagharfard H, Azimzadeh H, et al. Using of the PI, IPI and Mcd indices for evaluating of contamination status of some metals in waste sediments caused by iron ore processing in Chogart Mineral Complex of Bafgh. Arid Biome 2016;6(1): 1-13 [In Persian].
50. Doležalova Weissmannova H, Mihocova S, Chovanec P, Pavlovsky J. Potential Ecological Risk and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Industrial Affected Soils by Coal Mining and Metallurgy in Ostrava, Czech Republic. Int J Environ Res Publ Health 2019;16(22): 4495.
51. Sadr S, Afyuni M. Spatial variability of arsenic under different land use in Isfahan region. J Sci Tech Agr Nat Resour 2010;13(50): 65-75.
52. Khaledan Sh, Taghavi L, Paykanpour Fard P. Investigation of spatial distribution of lead and cadmium using geostatistical techniques and GIS (case study: field's surrounding Mobarakeh steel complex). Iran J Health Environ 2017;10(2): 151-64 [In Persian].

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]

Journal of Environmental Health Engineering, May 2020; Vol. 7, No. 3: 314-337

Evaluation of Individual and Integrated Pollution Indices of Some Heavy Metals in Atmospheric Dust Deposition Around Khak-e-chini, Tile and Ceramic, Sand and Gravel and Glass in Ardakan County Industries in Winter 2018

Saeed Shojaee Barjoee*, HamidReza Azimzadeh, Asghar Mosleh Arani

Department of Environmental pollution, Yazd University Yazd, Iran

**** E-mail: said.shojaee71@gmail.com***

Received: 7 Dec 2019 ; Accepted: 18 Apr 2020

ABSTRACT

Background and objective: Striving for employment in developing countries, as industries develop, heavy metals are released to the environment continuously. The purpose of this study was to measure heavy metal concentrations and to evaluate dust pollution levels in a number of industries using ecological indices.

Methods: This cross-sectional, descriptive-analytical study was conducted in winter by installing 35 dust traps around the industrial Khak-e-chini, Tile and Ceramic, Sand and Gravel and Glass in Ardakan county. The concentration of heavy metals in dust was measured by ICP-MS. The level of dust pollution was assessed using Contamination Factor, Pollution Index, Threshold Pollution Index, New Pollution Index, Vector Modulus of Pollution Index, Weighted Average of Pollution Index, Enrichment Factor, Multi-Element Contamination, Mean Effects Range-Median Quotient, Exposure Factor and Integrated pollution indices and it was zoned in GIS version 10.5.

Results: Mean heavy metal concentrations in dust were measured in the form of Zinc (3310.54 mg/kg)> Pb (137.28 mg/kg)> Copper (63.65 mg/kg)> Nickel (45.91 mg/kg)> Arsenic (35.12 mg/kg> cobalt (13.73 mg/kg)> molybdenum (4.40 mg/kg). In all sampling stations CF index of lead, arsenic and zinc elements was in very high pollution class and PI index in severe pollution class. Zinc metal showed very high enrichment at 30 stations. For environmental protection user, zinc element PIT index in all sampling stations was very severe in the pollution class. Also, all stations were in severe pollution class based on the IPI index. Based on MERMQ index the heavy metals at 32 stations had 76% toxicity and based on PI_N index were in polluted class. Highest values of MEC (3.43) and PI_{vector} (35.93) indices were obtained at S_1 and S_{15} stations, PI_{wAvg} (42.27) at S_1 and S_{12} and ExF (117.11) at S_1 stations.

Conclusion: Based on results of zoning a number of pollution indices, dominant downwind in region plays has important role in increase of concentration of heavy metals in downstream stations the industries.

Keywords: Heavy metals, Industries, Pollution indices, Atmospheric dust deposition

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.314]