مجله مهندسی بهداشت محیط، بهار ۱۳۹۹، سال ۷، شماره ۳ :۳۷۵-۳۵۶

ارزیابی آلودگی محیط‌زیستی عناصر کمیاب در نهشت اتمسفری شهر کرج با استفاده از ضریب غنی شدگی و شاخص مخاطره اکولوژیکی در سال ۱۳۹۷

رخساره عظیمی یانچشمه[۱]، مظاهر معین الدینی*[۲]، سادات فیض نیا[۳]، رضا شهبازی[٤]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲] استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳] استاد، گروه احیای مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[٤] دکتری منابع طبیعی، مرکز پژوهش‌های کاربردی زمین شناسی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۷/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

چکیده

زمینه و هدف: نهشت اتمسفری تاثیر قابل‌توجهی بر آلودگی محیط‌زیستی و سلامت انسان به‌دلیل نقش آن در مکانیسم‌های انتقال آلاینده‌ها دارد. اهداف این مطالعه، بررسی غلظت‌ها، منابع و مخاطرات اکولوژیکی عناصر کمیاب در نهشت اتمسفری شهر کرج بود.

مواد و روش‌ها: ۱۸ نمونه نهشت اتمسفری از پشت بام ساختمان‌های موجود در شش منطقه کرج برداشته شد و سپس غلظت عناصر کروم، مس، روی، نیکل و لیتیم و عناصر کبالت و سرب به‌ترتیب به روش طیف‌سنجی نشری جفت شده القایی (ICP-OES) و طیف‌سنجی جرمی جفت شده القایی (ICP-MS) آنالیز شدند. آنالیزهای همبستگی پیرسون، تجزیه واریانس یک طرفه و تحلیل عاملی برای شناسایی منابع احتمالی عناصر کمیاب استفاده شدند.

یافته ها: میانگین غلظت عناصر مطالعه شده به‌صورت سرب، روی، مس، کروم، نیکل، کبالت و لیتیم به ترتیب ۱۸٤/۷۳، ۹۳۱/۷۵، ۹٤/٦۱، ۹۸/۷۹، ۸۳/۹۰، ۲۱/۰۵ و ۲٤/۷۱ µg/g بودند. همچنین نتایج نشان داد ضرایب غنی‌شدگی (EF) عناصر سرب و روی بالا؛ عناصر مس، نیکل و کروم متوسط بودند، درحالی‌که کبالت غیر آلوده بود. بر اساس آنالیزهای آماری، عناصر کمیاب می‌توانند ناشی از منابع متعدد انسانی (منابع نقلیه‌ای، انتشارات صنعتی و احتراق سوخت‌های فسیلی) و طبیعی باشند. عناصر روی و مس دارای بیش‌ترین غلظت در ایستگاه‌های با ترافیک بالا به‌ویژه ایستگاه کارخانه‌قند در مرکز شهر بودند. بیشینه غلظت کروم، نیکل و کبالت در ایستگاه فردیس در مجاورت نیروگاه برق شهر کرج مشاهده شد. ایستگاه‌های صنعتی شامل کمال‌شهر، محمدشهر و ماهدشت بیش‌ترین مقادیر سرب را نشان دادند. در نهایت، شاخص خطر (RI) نشان داد کلیه ایستگاه‌های مطالعه شده به استثنای کمال‌شهر که ریسک قابل ملاحظه‌ای داشت، دارای مخاطره بالقوه پایین هستند.

نتیجه گیری: شهر کرج تحت‌تاثیر منابع متعدد انسانی آلودگی محیط‌زیستی است که مشکلاتی زیادی را برای سلامت انسان ایجاد می‌کنند و آلاینده‌ها با افزایش تراکم جمعیتی افزایش یافته‌اند. بنابراین ما پایش مداوم عناصر کمیاب به‌ویژه سرب و روی را به‌منظور کنترل منابع انتشار آن‌ها توصیه می‌نماییم.

کلمات کلیدی: عناصر کمیاب، مخاطره اکولوژیکی، کرج، نهشت اتمسفری

* **نویسنده مسئول:** استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
ایمیل: moeinaddini@ut.ac.ir - تلفن تماس: ۰۲۶۳۲۲۲۳۰۴۴

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

مقدمه

آلودگی هوا در طی چند دهه گذشته افزایش یافته است و تبدیل به یکی از مخاطرات اصلی برای سلامت انسان در سراسر جهان شده است [۱]. سالیانه در حدود ٤/٣ میلیون نفر از آلودگی هوای داخلی و ۳/۷ میلیون نفر از آلودگی هوای محیطی جان خود را از دست می‌دهند که اغلب آن‌ها (به‌ترتیب ۳/۳ و ۲/٦ میلیون نفر) در آسیا زندگی می‌کنند [۲]. در ایران نیز به‌عنوان کشوری درحال‌توسعه، سطح آلاینده‌های هوا به‌تدریج از آغاز صنعتی شدن در دهه ۱۹۷۰ افزایش یافته است، اما این میزان در برخی کلان‌شهرها همچون تهران، کرج، مشهد، تبریز، اصفهان، اهواز و اراک در طی دو دهه گذشته به سطح بسیار زیان‌آوری رسیده است. آلودگی هوا تنها در سال ۲۰۱۳ منجر به حدود ٤٤٦۰ مرگ در تهران شد، اگرچه به‌نظر می‌رسد رقم واقعی بالاتر از این میزان باشد و هر سال نیز بر این رقم افزوده می‌شود [۳].

نهشت اتمسفری نقش مهمی در مکانیسم‌های انتقال آلاینده‌ها بازی می‌کند. این نهشت تاثیر قابل‌توجهی بر اکوسیستم‌ها، انتقال تابش اتمسفری، چرخه‌های ژئوشیمیایی جهانی، آلودگی محیط‌زیستی و سلامت انسان دارد [٤]. ذرات نهشت اتمسفری مداوما توسط فرایندهای نهشت خشک و یا تر ترسیب می‌شوند که دارای ویژگی‌های متفاوتی با توجه به سایز ذرات مربوطه، انواع آلاینده‌ها و پارامترهای تاثیرگذار هستند [۵]. نهشت خشک به انتقال گازها و آلاینده‌های ذره‌ای از هوا به سطح طبیعی، بدون بارش اشاره می‌کند. از سوی دیگر، فرایندهای تر اغلب به پاکسازی به‌صورت باران یا برف اشاره می‌کنند. برخلاف نهشت تر، نهشت خشک فرایندی مستمر است و می‌تواند تا ٦۰٪ مجموع جریانات را به‌ویژه در مناطق با بارش اندک حذف کند [٦، ۷]. نتایج تجربی نشان داده‌اند که نهشت اتمسفری منبع اصلی فلزات سنگین در خاک و محیط‌های آبی است و باعث آسیب مداوم به این اکوسیستم‌ها می‌شود. نهشت اتمسفری عناصر کمیاب ۸۵-۲۵٪ از کل ورودی عناصر کمیاب به خاک را تشکیل می‌دهد و مهم‌ترین منبع این عناصر در خاک است [۸]. نگرانی عموم با توجه به انتقال عناصر کمیاب و تجمع در زنجیره غذایی توسط نهشت اتمسفری به اکوسیستم به‌میزان زیادی همراه با انتشارات عمده اتمسفری افزایش یافته است [۹]. عناصر کمیاب مداوما به اتمسفر از منابع مختلف منتشر می‌شوند. منابع طبیعی همچون خاک‌های محلی، مواد هوازده و کانی‌های پوسته‌ای و نیز بسیاری از فعالیت‌های انسانی همچون ترافیک وسایل نقلیه، انتشارات صنعتی، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، عملیات ساخت‌وساز و تولید فلزات غیرآهنی منابع اصلی عناصر موجود در نهشت اتمسفری هستند [٤].

در طی سال‌های اخیر بررسی نهشت اتمسفری از دو جنبه مورد توجه قرار گرفته است. اول اینکه گردوغبار یک مسیر مهم برای توزیع عناصر کمیاب در اتمسفر است و دوم اینکه این مسیر مهم‌ترین ورودی عناصر کمیاب قابل دسترس برای موجودات محیط است [۱۰]. بنابراین نهشت اتمسفری شاخصی مفید از سطح و نحوه توزیع عناصر کمیاب در محیط زیست است. در میان انواع عناصر کمیاب همراه با نهشت اتمسفری، عناصر با منشا انسانی از جمله سرب، روی، مس، کروم، نیکل و کبالت در محیط‌های شهری با توجه به بروز آثار فیزیولوژیکی بر انسان و سایر موجودات زنده در غلظت‌های پایین، حایز اهمیت شناخته شده‌اند [۱۱، ۱۲]. همچنین سرب، روی و مس شاخص‌های خوبی جهت آلایندگی گردوغبار اطراف خیابان هستند. چون این عناصر در بنزین، اجزای خودرو، روغن‌های روان‌کننده، صنایع و مواد حاصل از سوزاندن زباله وجود دارند [۱۳]. پایش غلظت عناصر در ذرات اتمسفری اطلاعات مهمی در خصوص آلودگی هوا و همچنین ارزیابی خطرات بالقوه برای انسان در اختیار می‌گذارد [۱٤]. آلودگی با عناصر منجر به بیماری‌های مختلف از جمله ناهنجاری یا عقب‌ماندگی رشد، آسیب به کلیه‌ها، سرطان، سقط جنین، تاثیر بر هوش و رفتار و حتی در غلظت‌های بالا

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

منجر به مرگ می‌گردد [۱۵]. از سوی دیگر، آگاهی از میزان عناصر کمیاب و منابع انتشار آن‌ها برای توسعه بیش‌تر سیاست‌های محلی و منطقه‌ای مربوط به کیفیت هوای شهری و حفاظت از اکوسیستم ضروری است. بنابراین تعیین غلظت، بررسی تغییرات این عناصر در نهشت اتمسفری به‌ویژه در نواحی صنعتی و شهری و تعیین سطح آلودگی آن‌ها با استفاده از شاخص‌های استاندارد موجود در جهان همچون ضریب غنی‌شدگی مورد توجه است. این شاخص‌ها با توجه به تاثیر همزمان عوامل طبیعی و انسانی بر غلظت عناصر کمیاب، می‌توانند برای شناسایی منابع انسانی و میزان اثر آن‌ها به‌ترتیب با توجه به عناصر مشخصه هر منشا و میزان تجاوز از حدود آستانه طبیعی استفاده شوند [۱۶].

در کشورهای در حال توسعه به‌علت تاسیس صنایع و رشد سریع شهری‌سازی، غلظت آلاینده‌های اتمسفری در حال افزایش است، بااین‌حال، بخش اعظم مطالعات غلظت عناصر کمیاب در نهشت اتمسفری در کشورهای توسعه‌یافته انجام شده است [۱۷، ۱۸، ۱۹]. در ایران نیز به‌عنوان یک کشور در حال توسعه، مطالعات صورت گرفته در این زمینه اندک هستند. شکری راغب و سبحان اردکانی آلودگی فلزات کبالت، منگنز و کروم را در رسوب خشک اتمسفری شهر همدان مطالعه نمودند که در این تحقیق، غلظت عناصر در منطقه با ترافیک بالا بیش‌تر بود و همچنین غلظت آن‌ها در تمامی ایستگاه‌ها کمتر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی بود [۲۰]. در تحقیق صورت گرفته توسط احمدی دوآبی و همکاران در استان کرمانشاه منشا عناصر روی و مس عمدتا ترافیکی و به میزان کمتر ناشی از فرایندهای صنعتی و منابع نیکل و کروم عمدتا صنعتی، فرایندهای احتراقی همراه با ترافیک بودند، درحالی‌که آهن و منگنز دارای منشا طبیعی بودند [۲۱]. Norouzi و همکاران، با بررسی تغییرات فصلی و مکانی غلظت‌های عناصر کمیاب همراه با نهشت اتمسفری در اصفهان، بیش‌ترین مقادیر را در فصل زمستان و کم‌ترین مقادیر را در فصل تابستان گزارش نمودند [۴]. همچنین توزیعات مکانی کادمیوم، مس، نیکل، سرب و روی همراه با بیش‌ترین غلظت‌ها در بخش غربی اصفهان، جیوه و آرسنیک با بیش‌ترین غلظت مربوط به مناطق شهری و روستایی بیابانی و کروم همراه با بیش‌ترین غلظت در ناحیه شهری مشاهده شد. نتایج حاصل از مطالعه فرهمندکیا و همکاران در نهشت اتمسفری شهر زنجان، منابع صنعتی را به‌عنوان عامل اصلی منتشرکننده فلزات سنگین معرفی نمود، همچنین آن‌ها گزارش نمودند که همبستگی بالای بین سرب و روی ناشی از وجود معادن و صنایع وابسته به این دو فلز در منطقه است [۲۲]. با توجه به مطالعه محمودی و خادمی، در نهشت اتمسفری شهرهای مختلف استان اصفهان، غلظت فلزات سنگین سرب، روی، مس، نیکل، کروم، کبالت، کادمیوم و منگنز در وضعیت خطرناکی برای سلامت انسان قرار داشت [۲۳]. فقدان بررسی‌های جامع برای کمی‌سازی منابع، انتقال، ته‌نشست و تاثیر عناصر کمیاب ناشی از اتمسفر در نواحی شهری کرج در مورد سلامت انسان و محیط مشهود است. بنابراین در این مطالعه عناصر کمیاب روی (Zn)، مس (Cu)، سرب (Pb)، کروم (Cr)، نیکل (Ni)، کبالت (Co) و لیتیم (Li) در نهشت اتمسفری شهر کرج به‌منظور بررسی تغییرات مکانی، ارزیابی غنای فلزی و شناسایی منابع مسئول غلظت‌های بالای عناصر کمیاب بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

شهر کرج با مساحت ۱۶۲ کیلومتر مربع در غرب تهران واقع شده است. این شهر در بخش مرکزی ایران با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه توسط رشته کوه‌های البرز در شمال و دشت‌های داخلی فلات ایران در جنوب محصور شده است. شهر کرج دارای آب‌وهوای نیمه‌بیابانی در تابستان و آب‌وهوای سرد در زمستان است. بارش سالیانه این ناحیه در

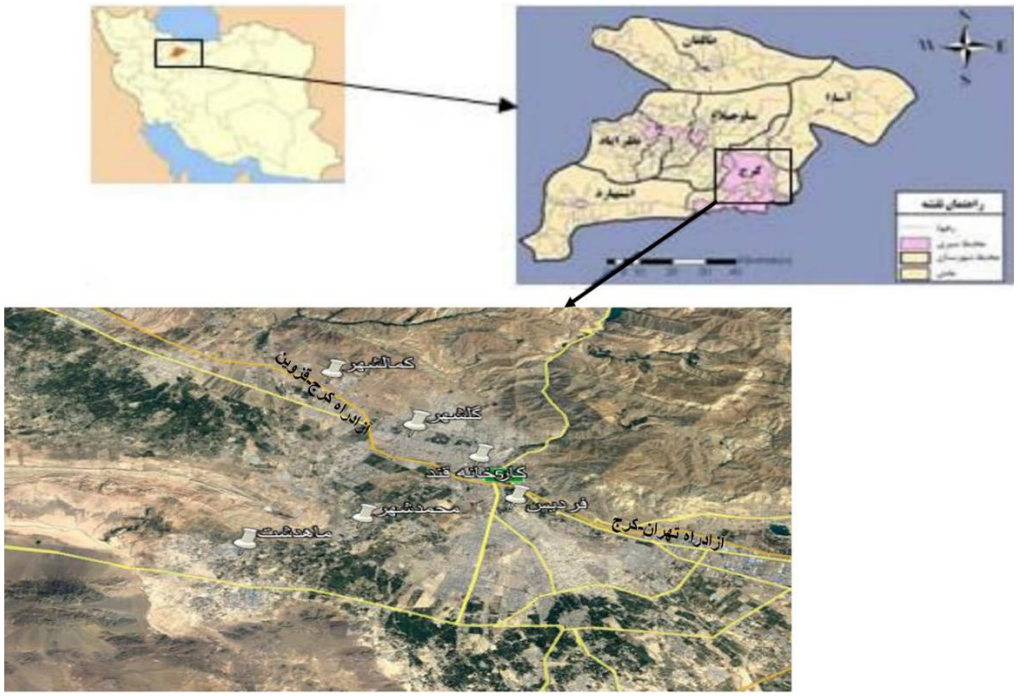
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

حـدود ۲۶۱ میلیمتـر و میـانگین دمـای سـالیانه آن ۱۵ درجـه سانتیگراد است. ترافیک سـنگین، فقـدان سیسـتم حمـل‌ونقـل عمومی منسجم و حضور رشته کوه‌های البرز در اطـراف شـهر که منجر به ترقیق ضـعیف آلاینـده‌هـای هـوایی مـی‌شـوند از مهم‌ترین عوامل موثر بر غلظت بالای آلاینده‌های هوا در شـهر کرج هسـتند. همچنـین بـا وجـود تعـداد زیـادی از صـنایع و نیروگـاه فـردیس در شـهر کـرج و تعـداد ۳۵۰۰ واحـد فعـال صنعتی در استان، بخش مهمی از آلودگی نیـز بـه منـابع ثابـت اختصاص دارد، به‌طوری‌که بر اساس آمارها، ۱۳۵ واحد بزرگ آلاینده هوا در استان البرز وجـود دارد کـه بـا در نظـر گـرفتن جهت باد غالب بر آلودگی هوای شهر کرج می‌افزاید [۲۴].

نمونه‌برداری و روش کار

نمونه‌برداری از رسوبات ته‌نشست شده در شـش ایسـتگاه واقـع در منـاطق مختلـف شـهر کـرج (فـردیس، گلشـهر، کارخانه‌قند، کمال‌شهر، محمـدشـهر و ماهدشـت) انجـام شـد (شکل ۱). توزیع نقاط نمونه‌برداری به‌گونـه‌ای در نظـر گرفتـه شد که موقعیت‌های مختلف شهری و منابع متعدد آلاینده‌ها را شامل گردد. بدین‌منظور سه ایسـتگاه گلشـهر، کارخانـه‌قنـد و فردیس به‌ترتیب در سه جهت شمالی، مرکزی و جنـوبی شـهر کرج و ایستگاه‌های کمال‌شهر، ماهدشت و محمدشهر واقـع در حومه شهر کرج با توجه به منـابع صـنعتی واقـع در مجـاورت آن‌ها انتخاب شدند. نمونه‌ها در طی دو فصل بهـار و تابسـتان به‌صورت سه دوره نمونه‌برداری بـا فاصـله دو ماهـه برداشـته شدند. جهت نمونه‌برداری از رسوبات ته‌نشسـت شـده از تلـه رسوب‌گیر تیله‌ای MDCO (Marble dust collector) اسـتفاده شد. این ابزار شامل یک ظرف پلاستیکی با یک یا دو لایه تیله شیشـه‌ای اسـت، کـه در بـالای پشـت‌بـام سـاختمان‌هـا قـرار می‌گیرد [۲۵].



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نهشت اتمسفری شهر کرج

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

در پایان هر دوره نمونه‌برداری، ذرات ته‌نشست شده در کف ظرف با استفاده از آب مقطر جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس به‌منظور تبخیر شدن آب همراه با رسوبات ته‌نشست شده، این نمونه‌ها در آون در دمای ۸۰-۷۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. در نهایت رسوبات خشک شده با استفاده از الک با سایز مش ۲۳۰، (۶۳≤ میکرون) الک شدند [۲۱]. مقدار ۰/۵ گرم نمونه‌های الک شده با استفاده از هات پلیت با اسیدهای HNO_3 ، HCl ، HF و $HClO_4$ با حجم نهایی ۲۵ میلی‌لیتر هضم شد [۲۶]. سپس غلظت عناصر Co و Pb به روش طیف‌سنجی جرمی جفت شده القایی (ICP-MS) مدل Agilent 7500cx و عناصر Cr، Cu، Ni، Zn و Li به روش طیف‌سنجی نشری جفت شده القایی (ICP-OES) مدل Varianدر آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تعیین شدند.

آنالیزهای آماری چند متغیره

قبل از انجام آنالیزهای آماری ابتدا توزیع داده‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌های غلظت عناصر نشان داد کلیه عناصر به‌استثنای کبالت و نیکل از توزیع نرمال ($p>۰/۰۵$) برخوردارند و عناصر نیکل و کبالت با گرفتن لگاریتم نرمال‌سازی شدند. جهت بررسی معنی‌داری تفاوت آماری بین متغیرها در ایستگاه‌های مورد مطالعه از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA) و برای تعیین همبستگی بین متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. روش تحلیل عاملی (Factor Analysis) و آنالیز مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis) جهت شناسایی ارتباط بین آلودگی عناصر کمیاب در نهشت اتمسفری و منابع احتمالی آن‌ها و آنالیز خوشه‌ای (Cluster Analysis) جهت ارزیابی شباهت ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر متغیرهای مورد مطالعه و کمک به شناسایی بهتر منابع در هر ایستگاه به‌کار رفتند. روش دوران Varimax برای چرخش عاملی برای به حداکثر رساندن مقادیر بارگذاری عاملی هر گونه در رابطه با هر مولفه اصلی چرخانده شده انتخاب شد. ترکیبات با مقدار بار عاملی بزرگتر از ۰/۷ به‌عنوان ترکیبات نماینده آن عامل در نظر گرفته شدند. آنالیزهای آماری بررسی توزیع متغیرها، همبستگی پیرسون، ANOVA و تحلیل عاملی در نرم‌افزار SPSS۲۱ و آنالیز مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای در نرم‌افزار PAST انجام شد.

ضریب غنی‌شدگی (EF)

ضریب غنی‌شدگی (EF) معیاری از میزان تجمع فلزات در محیط است که برای تمایز منابع ویژه و مداخلات انسانی فلزات استفاده می‌شود. EF هر عنصر که نشان‌دهنده مقدار افزایش غلظت آن عنصر نسبت به غلظت طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر یا خاک است با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد:

$$EF=(C_n/C_{ref})_{sample}/(B_n/B_{ref})_{background} \quad (۱)$$

که در اینجا C_n/C_{ref} نسبت غلظت‌های بین فلز سنگین و یک عنصر رفرنس در نمونه و پس‌زمینه است. در مطالعات مختلف، مقادیر پس‌زمینه فلزات سنگین در خاک یا پوسته زمین به‌عنوان مقدار زمینه انتخاب می‌شود [۲۷، ۲۸، ۲۹]. در این مطالعه به‌دلیل فقدان غلظت‌های پس‌زمینه خاک در نواحی مختلف کشور، از غلظت‌های میانگین موجود در پوسته زمین به‌عنوان مقادیر زمینه‌ای عناصر برای محاسبه EF استفاده شد. معمولا عناصر لیتیم، آهن و آلومینیوم به‌دلیل ویژگی‌های تغلیظ نسبتا بالاتر در پوسته، توزیع یکنواخت و ندرتا متاثر از فعالیت‌های انسان به‌عنوان عناصر مبنا برای نرمال‌سازی محاسبه EF انتخاب می‌شوند [۳۰، ۳۱، ۳۲]. در تحقیق حاضر، عنصر لیتیم به‌دلیل عدم همبستگی با سایر عناصر مطالعه

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

به‌عنوان عنصر مبنا انتخاب شد. پنج طبقه تجمع بر اساس ضریب غنی‌شدگی تفکیک می‌شوند: EF<۲: کمبود تا غنای حداقل، ۵> EF ≥۲: غنای متوسط، ۲۰> EF ≥۵: غنای قابل‌توجه، ٤۰> EF ≥۲۰: غنای بسیار بالا، ٤۰ ≤EF: غنای بی‌نهایت بالا [۳۲، ۳۳].

ارزیابی مخاطره اکولوژیکی بالقوه عناصر

روش تعیین مخاطرات اکولوژیکی بالقوه (RI) عناصر کمیاب که در اصل توسط Hakanson معرفی شد[۳٤]، تصویری از میزان مخاطره شرایط منطقه ارائه می‌دهد. RI فلزات سمی به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$RI=\sum_{i=1}^{m} Er \quad (۲)$$

$$Er=T_r \times C \quad (۳)$$

$$C_f=\frac{Cs}{Cn} \quad (٤)$$

که در اینجا C_s و C_n در معادله ٤ به‌ترتیب غلظت‌های فلز سنگین در نمونه و پس‌زمینه است. Er مخاطره اکولوژیکی هر عنصر و RI، مخاطره اکولوژیکی عناصر متعدد در نمونه است. Hakanson، T_r را به‌عنوان فاکتور پاسخ سمیت برای یک ماده معین تعریف کرد و آن را برای Ni=Pb=Co=Cu، Cr، Zn به‌ترتیب ۵، ۲، ۱ تعیین نمود. ۱۵۰ >RI، مخاطره اکولوژیکی پایین؛ ۳۰۰> RI ≥۱۵۰، مخاطره اکولوژیکی متوسط؛ ٦۰۰>RI ≥۳۰۰ مخاطره اکولوژیکی قابل‌ملاحظه و ٦۰۰ ≤RI مخاطره اکولوژیکی بسیار بالا است. همچنین بر طبق طبقه‌بندی شاخص Er، ٤۰ >E_r^i مخاطره پایین؛ ۸۰> E_r^i ≥٤۰ مخاطره متوسط؛ ۱٦۰> E_r^i ≥۸۰ مخاطره قابل‌ملاحظه؛ ۳۲۰>E_r^i ≥۱٦۰ مخاطره بالا و ۳۲۰ ≤E_r^i مخاطره بسیار بالا است.

یافته‌ها

غلظت عناصر Co، Cr، Cu، Zn، Pb، Ni و Li در نمونه‌های نهشت اتمسفری شهر کرج همراه با غلظت این عناصر در پوسته زمین در جدول۱ ارائه شده است. در مقایسه با مقادیر عناصر موجود در پوسته بالایی زمین [۳۵]، غلظت عناصر Li و Co (به استثنای ایستگاه فردیس) نزدیک به مقادیر پوسته زمین است که منابع طبیعی این عناصر را نشان می‌دهد. در مقابل میانگین غلظت کلی عناصر Zn، Cu، Pb، Cr و Ni به‌ترتیب در حدود ۱۳، ٤، ۹، ۳ و ٤ برابر غلظت موجود در پوسته زمین هستند که نشان‌دهنده وجود منابع انسانی برای این عناصر است. همچنین در مقایسه با استانداردهای تعیین شده برای عناصر کمیاب توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۲۰، ۳۰۰، ٦٤، ٦۳، ۵۰ و ۲۰۰ میکروگرم بر گرم به‌ترتیب برای کبالت، سرب، کروم، مس، نیکل و روی)، میانگین همه عناصر به استثنای سرب بالاتر از حد مجاز تعیین شده است. بر اساس انحراف استاندارد (SD) و ضریب تغییرات (CV)، تغییر زیادی در غلظت‌های برخی عناصر کمیاب در نمونه‌های نهشت اتمسفری مشاهده شد. در این تحقیق، غلظت عناصر سرب، روی، نیکل و کبالت با CV به‌ترتیب ۸۳٪، ٦۲٪، ۵٦٪ و ۵۱٪ تغییرپذیری بالا را نشان دادند. CV مس و کروم تغییر متوسطی را نشان داد، درحالی‌که عنصر لیتیم تغییرپذیری کمی داشت. مقادیر بالای CV برای سرب، روی، نیکل و کبالت ناهمگونی آن‌ها را در محیط نشان می‌دهد که نشان‌دهنده وجود منابع انسانی برای این عناصر است.

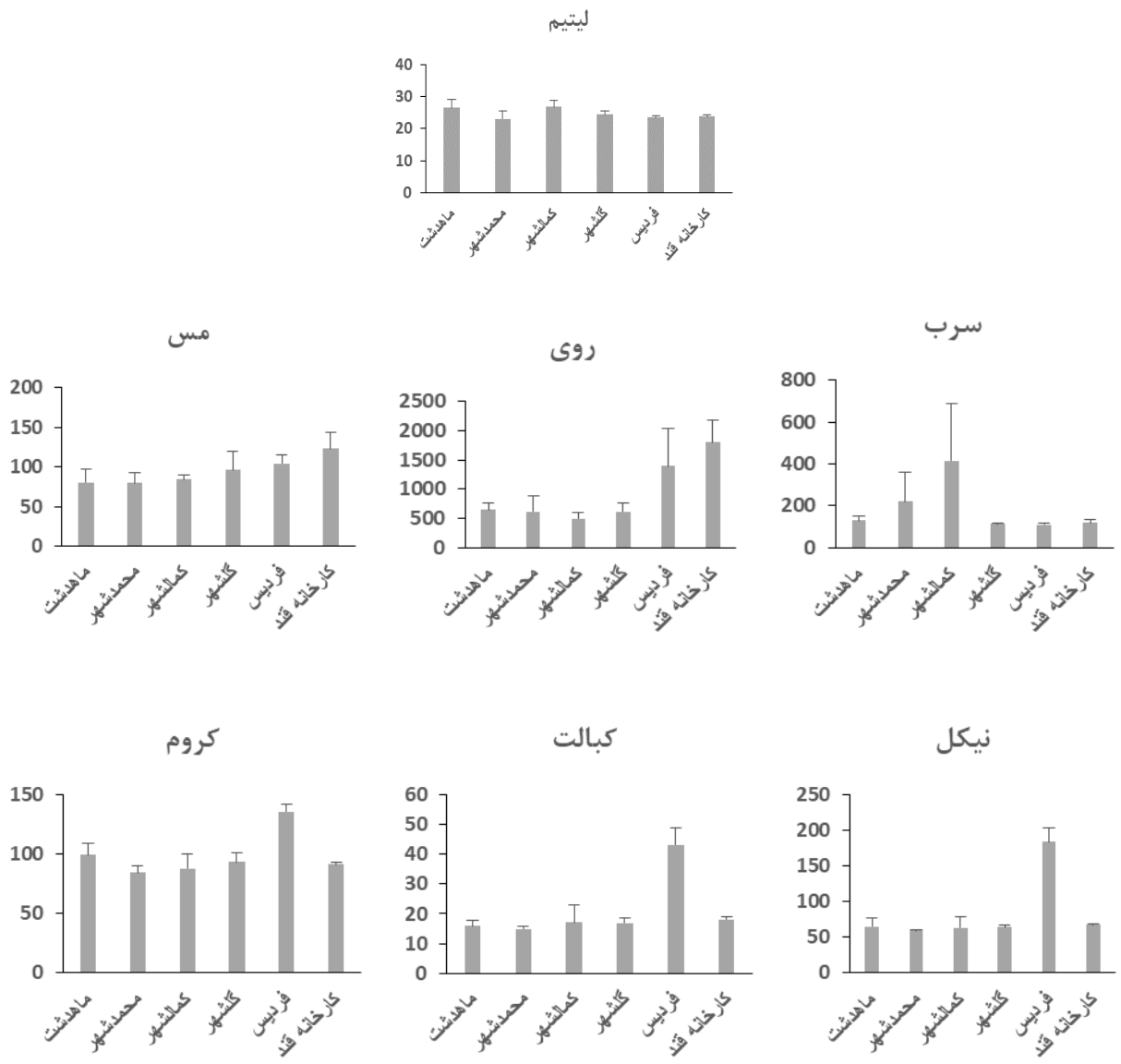
شکل ۲، میانگین غلظت عناصر کمیاب را در نمونه‌های نهشت اتمسفری ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. غلظت عنصری به‌ترتیب Zn> Pb> Cr> Cu> Ni> Li> Co در ایستگاه‌های ماهدشت، محمدشهر و کمال‌شهر، به‌ترتیب Zn> Pb> Cu> Cr> Ni> Li> Co در ایستگاه گلشهر و به‌ترتیب Zn> Ni> Cr> Pb> Cu> Co> Li در ایستگاه فردیس و به‌ترتیب Zn> Cu> Pb> Cr> Ni> Li> Co در ایستگاه کارخانه‌قند کاهش یافت. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود، بالاترین غلظت‌های عناصر Zn و Cu در ایستگاه کارخانه‌قند، بیشینه غلظت‌های عناصر Cr، Ni و Co در ایستگاه فردیس و بالاترین غلظت Pb در ایستگاه کمال‌شهر

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

مشاهده شد. کم‌ترین غلظت‌های عناصر Cu، Cr، Ni و Co در ایستگاه محمدشهر و کم‌ترین غلظت عناصر Zn و Pb به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های کمال‌شهر و فردیس است. همچنین عنصر Li در کلیه ایستگاه‌ها تقریبا دارای غلظت مشابهی در دامنه ۲۶/۵۰–۲۳/۱۰ میکروگرم بر گرم است. در مجموع غلظت عناصر Zn و Pb در کلیه ایستگاه‌ها بیش از سایر عناصر و غلظت عناصر Co و Li کمتر از دیگر عناصر است.

بر طبق نتایج آزمون همبستگی پیرسون، همبستگی معنی-دار مثبتی در سطح اطمینان ۰/۰۱ برای عناصر نیکل، کروم و کبالت و همچنین بین عناصر روی و مس مشاهده شد. بر طبق آزمون ANOVA، غلظت عناصر کروم، نیکل و کبالت بین ایستگاه فردیس با کلیه ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌دار آماری نشان داد.



شکل ۲: میانگین غلظت عناصر کمیاب مورد مطالعه (µg/g) در ایستگاه‌های مختلف

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

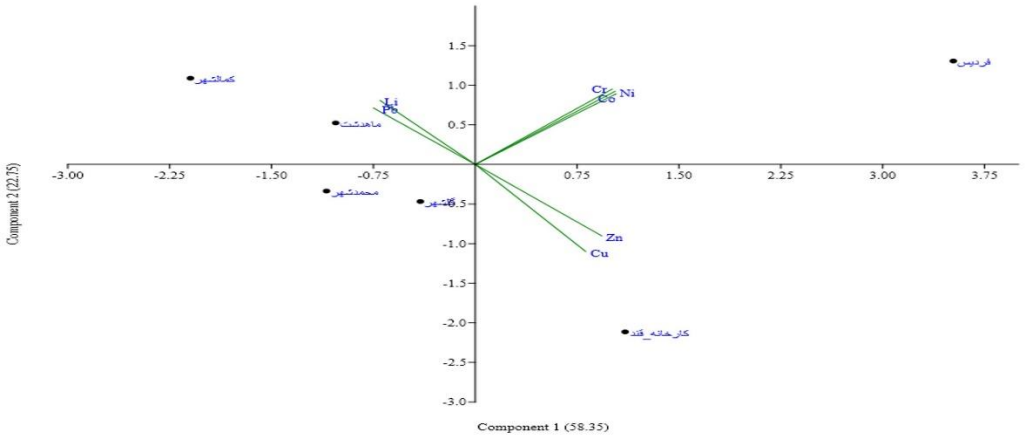
همچنین تفاوت معنی‌داری بین عنصر روی در ایستگاه کارخانه‌قند و فردیس با کلیه ایستگاه‌ها مشاهده شد. عنصر مس نیز دارای اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه کارخانه‌قند با ایستگاه‌های ماهدشت، محمدشهر و کمال‌شهر است. عنصر سرب بین ایستگاه کمال‌شهر با کلیه ایستگاه‌ها به‌استثنای محمدشهر، تفاوت معنی‌دار آماری نشان داد ($p<۰/۰۵$). عنصر لیتیم فاقد تفاوت معنی‌دار آماری بین ایستگاه‌های مطالعه بود و با هیچ‌یک از عناصر همبستگی نداشت. همچنین بر طبق آزمون تحلیل عاملی هم‌چنان‌که در جدول ۱ و شکل ۳ مشاهده می‌شود، دو عامل اصلی، حدود ۸۱٪ مجموع واریانس را توضیح دادند که بیش‌ترین سهم را عامل اول با ۵۸/۳۵٪ همراه با بار بالایی از کروم، نیکل و کبالت به خود اختصاص داده است که می‌تواند نشان‌دهنده منشا مشترک یا خصوصیات فیزیکی-شیمیایی مشابه آن‌ها باشد. مولفه دوم با سهم ۲۲/۷۵٪ از واریانس کل دارای همبستگی مثبت و بالا با عناصر مس و روی است، درحالی‌که همبستگی نسبتا بالا و منفی با لیتیم و سرب را مشخص کرده است که نشان‌دهنده منشا متفاوت آن‌ها است. همچنین بر طبق این آنالیز در توافق با نتایج آنالیز ANOVA، ایستگاه فردیس و ایستگاه کارخانه‌قند دارای رابطه نزدیکی به‌ترتیب با عناصر کروم، نیکل و کبالت و عناصر روی و مس هستند، درحالی‌که عناصر سرب و لیتیم دارای رابطه نزدیک‌تری با ایستگاه‌های محمدشهر، ماهدشت، کمال‌شهر و گلشهر هستند. شکل ٤ دندروگرام‌های ایستگاه‌های مورد بررسی به روش تحلیل خوشه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به دندروگرام مشاهده می‌شود که ایستگاه‌های مطالعه شده در دو خوشه‌ی کلی تقسیم شده‌اند. اولین خوشه شامل ایستگاه فردیس و خوشه دوم شامل سایر ایستگاه‌ها است. خوشه دوم مجددا به زیرگروه‌های کوچک‌تری تفکیک می‌شود که در نهایت بر اساس بیش‌ترین همبستگی در ۳ طبقه قرار می‌گیرند. بر این اساس ایستگاه کارخانه‌قند در طبقه اول، ایستگاه کمال-شهر در طبقه دوم و در فاصله نزدیک‌تری با ایستگاه‌های محمدشهر، گلشهر و ماهدشت در طبقه سوم جای می‌گیرند.

جدول ۱: ماتریس عامل‌های چرخانده شده برای متغیرهای مورد بررسی در نهشت اتمسفری منطقه مطالعاتی کرج بر اساس تحلیل عاملی

عنصر	مولفه ۱	مولفه ۲
Ni	**۰/۹۷۱**	۰/۲۲٤
Cr	**۰/۹٦۷**	۰/۲۰۱
Co	**۰/۹٦۳**	۰/۲٤۱
Cu	۰/۱۱۸	**۰/۸۹۰**
Zn	۰/۲٦۳	**۰/۸۸۱**
Li	-۰/۱۵۲	**-۰/۷۱۲**
Pb	-۰/۲۱٦	**-۰/۷۰٤**
ارزش ویژه	٤/۰۸۵	۱/۵۹۳
واریانس توجیه شده (٪)	۵۸/۳۵٦	۲۲/۷۵۳
واریانس تجمعی (٪)	۵۸/۳۵٦	۸۱/۱۰۹

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

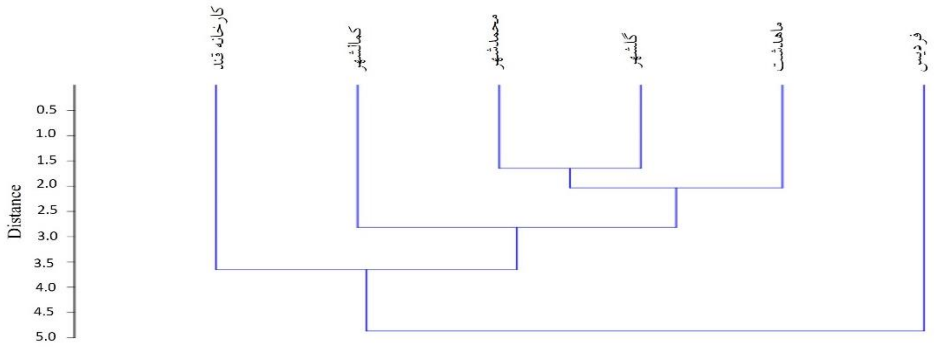
[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]



شکل ۳: نمودار دو بعدی پراکنش مولفه‌ها بر اساس تجزیه مولفه‌های اصلی در نهشت اتمسفری منطقه مطالعاتی کرج

ضریب غنی‌شدگی (EF)

نتایج بدست آمده برای EF بر اساس معادله ۱ نشان داد میزان آلودگی نهشت اتمسفری به نیکل (به استثنای فردیس)، کروم و مس در سطح متوسط است. عناصر سرب (به استثنای گلشهر و کارخانه‌قند)، روی (به استثنای کارخانه‌قند) و نیکل در ایستگاه فردیس در سطح قابل‌توجه آلودگی قرار دارند و عنصر روی برای ایستگاه کارخانه‌قند در سطح بسیار بالای آلودگی قرار دارد. عنصر کبالت در کلیه ایستگاه‌ها در محدوده غیر آلوده قرار گرفت (جدول ۱).



شکل ٤: دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای متغیرهای مورد بررسی در نهشت اتمسفری منطقه مطالعاتی کرج

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

جدول ۲: میانگین غلظت کلی (µg/g)، ضریب غنی‌شدگی (EF) و شاخص مخاطره اکولوژیکی (Er) عناصر کمیاب در منطقه مطالعه

ایستگاه نمونه‌برداری		Co	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Li
ماهدشت	غلظت	۱۵/۹۵	۱۳۰/۸۲	۹۹/۵۱	۸۰/۵۳	٦۵/۲۱	٦۵۱/۹۰	۲٦/۵۰
	EF	۱/۲۰	۵	۲/۱۵	۲/٤۷	۲/٤۵	۷/۰٦	–
	Er	۷/۹۸	۳۲/۷۰	۵/٦۹	۱٦/۱۱	۱٦/۳۰	۹/۱۸	–
محمدشهر	غلظت	۱٤/۸۷	۲۲۰/۱۷	۸٤/۵٤	۷۹/۸۱	۵۹/۵٤	٦۲۳/۱۸	۲۳/۱۰
	EF	۱/۲۹	۱۰/۰۱	۲/۱۰	۲/۸۱	۲/٦۰	۷/۷۵	–
	Er	۷/٤٤	۵۵/۰٤	٤/۸۳	۱۵/۹٦	۱٤/۸۹	۸/۷۸	–
کمال‌شهر	غلظت	۱۷/۱٦	٤۱٤/٤۱	۸۷/۹۲	۸٤/۳۱	٦۳/۲۵	٤۹۸/۱٦	۲٦/۸۵
	EF	۱/۳۰	۱٤/۹۹	۱/۸۹	۲/۵۲	۲/۳۹	۵/۲۰	–
	Er	۸/۵۸	۱۰۳/٦۰	۵/۰۲	۱٦/۸٦	۱۵/۸۱	۷/۰۲	–
گلشهر	غلظت	۱٦/۹۸	۱۱۲/۲۸	۹۳/٤۹	۹٦/۰۷	٦٤/۳۰	٦۲۰/٦۱	۲٤/٤۱
	EF	۱/۳۹	٤/٦۱	۲/۱۹	۳/۱۷	۲/٦٤	۷/۲۰	–
	Er	۸/٤۹	۲۸/۰۷	۵/۳٤	۱۹/۲۱	۱٦/۰۷	۸/۷٤	–
فردیس	غلظت	٤۳/۲۹	۱۱۰/۸۸	۱۳۵/۸۰	۱۰٤/۱۷	۱۸۳/٦۹	۱۳۹٤/٤۸	۲۳/۵۵
	EF	۳/٦۷	٤/۷۱	۳/۲۹	۳/۵٤	۷/۷۹	۱٦/۵۸	–
	Er	۲۱/٦۵	۲۷/۷۲	۷/۷٦	۲۰/۸۳	٤۵/۹۲	۱۹/٦٤	–
کارخانه‌قند	غلظت	۱۸/۰٦	۱۱۹/۸۰	۹۱/٤۸	۱۲۲/۸۰	٦۷/۳۸	۱۸۰۲/۱۹	۲۳/۸۵
	EF	۱/۵۲	۵/۰۲	۲/۱۹	٤/۱۱	۲/۸۳	۲۱/۲۵	–
	Er	۹/۰۳	۲۹/۹۵	۵/۲۳	۲٤/۵٦	۱٦/۸۵	۲۵/۳۸	–
کل منطقه مطالعه	غلظت	۲۱/۰۵	۱۸٤/۷۳	۹۸/۷۹	۹٤/٦۱	۸۳/۹۰	۹۳۱/۷۵	۲٤/۷۱
پوسته زمین	غلظت	۱۰	۲۰	۳۵	۲۵	۲۰	۷۱	۲۰

شاخص مخاطره اکولوژیکی بالقوه

با توجه به نتایج شاخص اکولوژیکی بالقوه برای عناصر انفرادی (جدول ۲) ملاحظه می‌شود که عناصر Co، Cr، Cu و Zn دارای مخاطره اکولوژیکی پایین در کلیه ایستگاه‌ها و عنصر Ni نیز به‌استثنای ایستگاه فردیس که با مخاطره متوسط همراه است در سایرین دارای مخاطره پایین است. همچنین عنصر Pb تنها در ایستگاه‌های محمدشهر با مخاطره متوسط و کمال‌شهر با مخاطره قابل‌ملاحظه است. در مورد مجموع مخاطره اکولوژیکی بالقوه عناصر (RI)، کلیه ایستگاه‌ها به‌استثنای کمال‌شهر دارای مخاطره اکولوژیکی پایین هستند.

بحث

بر طبق نتایج این مطالعه، میانگین غلظت همه عناصر به استثنای لیتیم و کبالت (به استثنای ایستگاه فردیس) چندین برابر مقادیر موجود در پوسته بالایی زمین است. از سوی دیگر در مقایسه با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران، همه عناصر به استثنای سرب بیش از حدود مجاز تعیین شده بودند که نشان‌دهنده حضور منابعی غیر از منابع طبیعی برای آن‌ها است. بر اساس مطالعه انجام شده در شهر کرج، میانگین غلظت عناصر مس، روی، سرب، کروم، نیکل، کبالت و لیتیم در خاک شهری به‌ترتیب ۳۸/۱۰، ۵٦/٦۳، ۷٦/۹۵،

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

۵۸/۸۰، ۲۹/۷۸، ۱۹/۰۵ و ۲٤/۳۵ میکروگرم بر گرم گزارش شده است [۳٦]. در مقایسه با نتایج این مطالعه، میزان همه عناصر به استثنای کبالت (به استثنای فردیس) و لیتیم در نهشت اتمسفری شهر کرج بسیار بالاتر از مقادیر موجود در خاک است که مجددا بر وجود منابع دیگری برای این عناصر در غبار تاکید می‌کند. بنابراین به‌منظور اثبات اینکه غلظت‌های غیر طبیعی به‌علت منابع طبیعی یا انسانی رخ می‌دهند، شاخص آلودگی EF محاسبه شد. مطابق با این شاخص عناصر Pb و Zn در اغلب ایستگاه‌ها با غنای قابل‌توجه در دامنه ۵ ≤EF<۲۰ مشاهده شدند که نشان می‌دهد فعالیت‌های انسانی دلیل اصلی برای حضور این فلزات هستند و احتمالا دارای ضریب خطر بالایی برای سلامتی انسان در تماس با نهشت اتمسفری هستند. به‌ویژه Pb یک ماده سمی تجمع‌پذیر است و می‌تواند در دندان و استخوان در طی زمان طولانی انباشته شود. آثار بهداشتی مواجهه با سرب در کودکان شامل مشکلات رفتاری و یادگیری، ضریب هوشی پایین‌تر و بیش‌فعالی، رشد آهسته، مشکلات شنوایی و کم خونی است. در زنان باردار سرب می‌تواند رشد جنین را کاهش دهد و باعث زایمان پیش از موعد گردد [۳۷]. عناصر Ni، Cr و Cu با غنای متوسط در دامنه ۲ ≤EF<۵ مشاهده شدند. بنابراین این عناصر و به‌ویژه Ni در ایستگاه فردیس تحت‌تاثیر منابع انسانی هستند. Co در مقایسه با سایر فلزات مطالعه شده دارای غنای کمتری بود که به‌نظر می‌رسد عمدتا ناشی از منابع طبیعی همچون تعلیق مجدد غبار خاک باشد. با توجه به نتایج حاصل از شاخص غنی‌شدگی، آنالیزهای همبستگی، تجزیه واریانس یک‌طرفه و تحلیل عاملی به‌منظور شناسایی منابع انسانی کنترل‌کننده این عناصر انجام شد.

بر طبق نتایج آزمون پیرسون، همبستگی معنی‌داری بین عناصر روی و مس و همچنین بین عناصر کروم، نیکل و کبالت مشاهده شد که می‌توان استنباط نمود منابع مشابهی آن‌ها را در نهشت اتمسفری کنترل می‌کنند. در توافق با نتایج این آزمون، نتایج حاصل از تحلیل عاملی نیز عناصر کروم، نیکل و کبالت را در یک مولفه و عناصر روی و مس را در مولفه‌ی دیگری دسته‌بندی کرد (جدول ۱ و شکل ۳). عناصر روی و مس ردیاب‌های مهم انتشارات وسایل نقلیه هستند. در موتورهای دو زمانه، سوخت و مواد روغنی با هم ترکیب می‌شوند و با هم در اتاقک‌های پیستون همراه با انتشار روی می‌سوزند. در یک موتور چهار زمانه، مواد روغنی به سیلندرها به‌صورت جداگانه وارد می‌شوند و روی از مواد چهار زمانه منتشر می‌شود [۳۸]. علاوه بر این اکسیداسیون مواد روغنی در معرض هوا در دماهای بالا منجر به تشکیل اسیدهای آلی، الکل‌ها، کتون‌ها، آلدهیدها و سایر ترکیبات آلی می‌شود که برای فلز خورنده هستند. این عمل خورندگی، منجر به افزایش رهاسازی روی، مس و کادمیوم از آلیاژهای حامل می‌شود [۳۱]. Men و همکاران (۲۰۱۹)، بقایای سایش ترمز و لاستیک، سوزاندن و ضایعات مواد روغنی لغزنده و سایش جاده را به‌عنوان منابع افزایش غلظت عناصر روی و مس در غبار معرفی نمودند [۲۸]. Gope و همکاران، سایش لاستیک ناشی از بار ترافیکی سنگین در بزرگراه را به‌عنوان منشا عمده عنصر روی معرفی نمودند [۳۱]. همچنین بر طبق گزارش Gope و همکاران، رهاسازی بیشینه مس در نواحی با ترافیک شلوغ ممکن است به‌دلیل تراوش سوخت و مواد روغنی، سایش قطعات موتور و سایر منابع از جمه فلزکاری‌ها، قطعات خودرو همچون آستر لنت‌های ترمز، فیبرها و سایر لوازم جانبی وسایل نقلیه باشد [۲۷]. در این مطالعه نیز بیش‌ترین غلظت عناصر روی و مس در ایستگاه کارخانه‌قند واقع در بخش مرکزی شهر کرج مشاهده شد. این ایستگاه با توجه به محل استقرار آن در منطقه با تردد بالای وسایل نقلیه درون‌شهری و همچنین مجاورت با بزرگراه ملی کرج-قزوین روزانه با حجم بالایی از ترافیک ناشی از تردد درون‌شهری و برون‌شهری روبرو است که می‌تواند منجر به افزایش آلاینده‌های ناشی از انتشارات اگزوزی و غیر اگزوزی وسایل

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

نقلیه در این ایستگاه گردد. از سوی دیگر کم‌ترین غلظت‌های این عناصر در ایستگاه‌های واقع در نواحی پیرامونی شهر کرج با تردد کمتر وسایل نقلیه یعنی ایستگاه‌های محمدشهر، کمال-شهر و ماهدشت مشاهده شدند. در توافق با نتایج این مطالعه، احمدی دوآبی و همکاران بالاترین غلظت‌های روی و مس را در نمونه‌های گردوغبار مناطق شهری با ترافیک بالا و کم‌ترین غلظت آن‌ها را در مناطق برون‌شهری با ترافیک پایین گزارش نمودند [۲۱]. بنابراین با توجه به مطالب بیان شده و آنالیزهای انجام شده تصور می‌شود منابع ترافیکی منشا عمده انتشار این عناصر در منطقه مطالعه باشند که منشا غالب در ایستگاه کارخانه‌قند است. مطابق با مطالعه انجام شده در شهر کرج سن بیش از ۸۰٪ مینی‌بوس‌ها، بیش از ٤۰٪ اتوبوس‌های برون‌شهری و ۵۰٪ وسایل نقلیه سنگین بیش‌تر از ۲۰ سال است و بیش از ۸۰٪ مینی‌بوس‌ها و اتوبوس‌های برون‌شهری و بیش از ٦۰٪ وسایل نقلیه سنگین دارای استاندارد یورو ۱ هستند [۳۹]. سوخت غیر پاک مصرفی این وسایل‌نقلیه از یک سو و سن بالای آن‌ها که منجر به تغییر در سرعت و شتاب حرکت می‌شود از سوی دیگر منجر به انتشار حجم بالایی از آلاینده‌ها از جمله عناصر کمیاب می‌گردد که با توجه به نتایج این مطالعه مشهود است. همچنین عنصر لیتیم همراه با عناصر روی و مس در این مولفه اما با همبستگی منفی قرار گرفت که هم‌چنان‌که بیان شد منشا متفاوت این عنصر را نشان می‌دهد. عنصر لیتیم در مطالعات مختلف به‌عنوان عنصر پوسته‌ای و مرتبط با منشا طبیعی معرفی شده است [۳۸،٤۰،٤۱]. بنابراین با توجه به همبستگی منفی با عناصر انسانی روی و مس و همچنین میزان غلظت مشاهده شده در محدوده مقادیر پوسته زمین برای کلیه ایستگاه‌ها، هم‌چنان‌که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تصور می‌شود این عنصر ناشی از منشا طبیعی پوسته زمین باشد که در طی هوازدگی سنگ‌ها می‌تواند رهاسازی و همراه با باد به‌صورت غبار اتمسفری حمل شود. از دیگر عناصر قرار گرفته در این مولفه، عنصر سرب است که دارای همبستگی منفی با مس و روی است. این عنصر در مطالعات مختلف به منابع متعددی نسبت داده شده است. شاخص‌ترین منشا برای این عنصر تا قبل از ممنوعیت استفاده از این عنصر به‌عنوان افزودنی به بنزین، انتشارات ناشی از احتراق بنزین سرب‌دار معرفی شده است. اگرچه با توجه به زمان ماند طولانی این عنصر در خاک، بقایای حاصل از این عنصر هنوز هم می‌توانند منجر به انتشار ذرات حاوی سرب از خاک شوند [۳۱، ٤۲، ٤۳]. بااین‌حال در طی چند دهه اخیر با توجه به عدم استفاده از این عنصر در بنزین در اغلب بخش‌های جهان، مقادیر بالای این عنصر اغلب به فرایندهای صنعتی نسبت داده شده است. Tangو همکاران دریافتند غبار خیابانی در بخش صنعتی دارای بیش‌ترین غلظت سرب است [۲۹]. تحقیق انجام شده توسط Norouzi و همکاران در شهر اصفهان، مقادیر بالاتر سرب را در مناطق مرکزی نشان داد که به منابع صنعتی مستقر در این مناطق نسبت داده شد [٤]. Lu و همکاران، مقادیر بیشینه سرب را در نمونه غبار جمع‌آوری شده از ناحیه صنعتی با آسیاب‌های آهن و فولاد، کارخانه دارای کوره کک، کارخانه‌های تولید سیمان و نیروگاه با سوخت زغال شناسایی نمودند. اما کم‌ترین غلظت‌ها را در نمونه ناشی از سایت مسکونی با تراکم ترافیک کمتر یافتند. بنابراین آن‌ها بیان نمودند منابع سرب در غبارهای خیابانی این شهر عمدتا ناشی از فعالیت‌های صنعتی و انتشارات وسایل نقلیه است [٤٤]. سرب و کروم معمولا در پلاستیک‌های مختلف به‌عنوان تثبیت‌کننده و عامل کشسان‌کننده و در مواد ساختمانی به‌عنوان مواد افزودنی یا رنگدانه‌ها استفاده می‌شوند [۲۹]. عنصر سرب در ایستگاه کمال‌شهر دارای غلظت‌های بسیار بالاتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها و اختلاف معنی‌دار با ایستگاه‌های ماهدشت، گلشهر، فردیس و کارخانه‌قند است. همچنین ایستگاه محمدشهر و تا حدی ایستگاه ماهدشت نیز دارای غلظت‌های بالاتری از این عنصر نسبت به سایر ایستگاه‌ها بودند. با توجه به مجاورت ایستگاه کمال‌شهر با شهرک صنعتی بهارستان که

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

در بالادست این ایستگاه در شمال غربی منطقه مطالعه مستقر شده است و همچنین جهت باد غالب از شمال غرب به جنوب شرق در شهر کرج، غلظت بالای این عنصر در ایستگاه کمال‌شهر را می‌توان به برخی فعالیت‌های صنعتی نسبت داد. همچنین ایستگاه‌های ماهدشت و محمدشهر نیز در احاطه مناطق صنعتی متعددی قرار گرفته‌اند که می‌توانند از دلایل احتمالی غلظت‌های بالای سرب در این مناطق باشند. البته این بدین معنی نیست که مشارکت سایر منابع به‌ویژه منشا ترافیکی را در افزایش غلظت این عنصر نادیده بگیریم. بلکه با توجه به استفاده از بنزین سرب‌دار در طی دهه‌های گذشته در کشور ایران (تا قبل از دهه ۱۳۸۰) و همچنین سرب رهاسازی شده از قطعات حاوی سرب وسایل نقلیه همچون پوشش لنت ترمز، سایش و پارگی لاستیک‌ها و سرب به‌کار رفته در روغن‌های روان‌کننده برای موتور، منابع نقلیه‌ای هنوز هم می‌توانند در افزایش غلظت این عنصر در نواحی شهری به‌ویژه در در مناطق پرترددتر نقش داشته باشند[۳۱، ۴۵، ۴۶].

از سوی دیگر عناصر کروم، نیکل و کبالت به‌وضوح دارای همبستگی قابل‌توجه و غلظت‌های بسیار بالاتر در ایستگاه فردیس نسبت به سایر ایستگاه‌ها هستند. نیکل عمدتا از طریق منابع انسانی همچون نفت، احتراق سوخت دیزلی و فسیلی، صنایع و همچنین از انتشارات وسایل‌نقلیه وارد اتمسفر می‌شود [۴۷، ۴۸، ۴۹]. همچنین منابع انسانی اصلی برای کروم در اتمسفر احتراق سوخت‌های فسیلی و انتشارات وسایل‌نقلیه هستند [۲۷، ۲۸، ۲۹]. درحالی‌که کبالت اغلب مرتبط با احتراق سوخت‌های فسیلی و زغال شده است [۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱]. Sobhanardakani مقادیر بالای نیکل در نهشت اتمسفری کرمانشاه را به سایش لاستیک خودروهای فرسوده و انتشارات ناشی از وسایل‌نقلیه با بنزین نیکل‌دار نسبت داد [۵۲]. Ahmed و Ishiga، گزارش نمودند که نیکل عمدتا از منابع صنعتی منشا گرفته است [۵۳]. همچنین بر طبق گزارش Li و همکاران، نیکل و سرب عمدتا ناشی از منابع ترافیکی، انتشارات صنعتی و زباله‌سوزها هستند [۵۴]. در مطالعه حاضر از یک سو با توجه به مقادیر بالاتر این عناصر در ایستگاه فردیس و تفاوت معنی‌دار آن‌ها در این ایستگاه با سایر ایستگاه‌ها و از سوی دیگر بر طبق موقعیت استقرار این ایستگاه در مجاورت نیروگاه برق، می‌توان منشا عمده آن را در ایستگاه فردیس ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در نیروگاه دانست. هم‌چنان‌که ایستگاه کارخانه‌قند که در فاصله کم‌تری نسبت به ایستگاه فردیس در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها قرار گرفته است، غلظت‌های نسبتاً بالاتری از این عناصر را نشان داد. البته هم‌چنان‌که مطالعات ذکر شده در بالا نیز گزارش نموده‌اند این عناصر می‌توانند همچنین ناشی از وسایل‌نقلیه و صنایع باشند، اما با توجه به اینکه ایستگاه فردیس از نظر تردد وسایل‌نقلیه با حجم ترافیک کمتری در مقایسه با ایستگاه کارخانه‌قند مواجه است، نمی‌توان منشا اصلی این عناصر را ناشی از وسایل نقلیه دانست. همچنین با توجه به اینکه این عناصر در مولفه مجزایی از عناصر شاخص وسایل‌نقلیه یعنی روی و مس قرار گرفتند، احتمالا منشا دیگری برای این عناصر وجود دارد که برجسته‌تر از منشا ترافیکی است. از سوی دیگر منشا صنعتی نیز به‌دلیل مقادیر بیش‌تر مشاهده شده برای ایستگاه فردیس در مقایسه با ایستگاه‌های صنعتی‌تر محمدشهر، ماهدشت و کمال‌شهر نمی‌تواند دلیل اصلی انتشار این عناصر باشد. بااین-وجود منابع صنعتی و نقلیه ای نیز احتمالا در انتشار این عناصر به‌ویژه در سایر ایستگاه‌ها سهم دارند، اما منشا اصلی کنترل‌کننده آن‌ها احتمالا احتراق سوخت های فسیلی به‌ویژه زغال، گازوئیل و مازوت سوزانده شده در نیروگاه است. علاوه بر این، کوره‌های آجرپزی، کک‌پزی و تولید زغال سنتی و چرم مصنوعی واقع در نواحی متعدد شهر نیز می‌توانند در انتشار این عناصر نقش داشته باشند. بااین‌حال عنصر کبالت به استثنای فردیس در کلیه ایستگاه‌های مطالعه در محدوده مقادیر موجود در پوسته زمین است که منشا غالب طبیعی همچون فرسایش، هوازدگی خاک‌ها و سنگ‌ها را برای این عنصر در

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

کلیه ایستگاه‌ها به‌جز فردیس نشان می‌دهد.

این امر نشان داده شده است که سطح میزان فلز یا سایر آلاینده‌ها در نهشت اتمسفری و ذرات بازتعلیق شده غبار خیابان متاثر از برخی فاکتورها از جمله محیط طبیعی (توپوگرافی و اقلیم) و فعالیت‌های انسانی (تولید صنعتی، دفع ضایعات، احتراق سوخت‌های فسیلی، خروجی وسایل‌نقلیه) و نیز اندازه جمعیت و درجه توسعه‌یافتگی منطقه است. در نتیجه تغییر در میزان عناصر کمیاب در نهشت اتمسفری ممکن است مرتبط با منابع و شدت آن‌ها و همچنین نحوه فعالیت-های انسانی باشد [۵۲]. در این مطالعه هم‌چنان‌که در شکل‌های ۳ و ٤ دیده می‌شود ایستگاه‌های گلشهر، کمال‌شهر، ماهدشت و محمدشهر، الگوی مشابه‌تری را برای عناصر مطالعه شده همراه با ارتباط نزدیک‌تری با لیتیم و سرب نشان دادند. بنابراین با توجه به منشا غالب بیان شده برای لیتیم و سرب یعنی به‌ترتیب منشا طبیعی و صنعتی، می‌توان این ایستگاه‌ها را بیش‌تر متاثر از منابع مختلط طبیعی و صنعتی دانست. همچنین لازم به ذکر است که با توجه به مطالعه انجام شده در مناطق ۱۲ گانه شهر کرج، منطقه گلشهر از جمله مناطق با بیش‌ترین تعداد واحد صنعتی آلاینده در شهر کرج معرفی شده است که می‌تواند از دلایل قرارگیری آن در این خوشه با الگوی مشابه با مناطق صنعتی‌تر واقع در پیرامون شهر کرج باشد [۵۵]. اما ایستگاه‌های فردیس و کارخانه‌قند الگوی متفاوتی را نسبت به سایر ایستگاه‌ها نشان دادند. در ایستگاه کارخانه‌قند با توجه به مقادیر بالای روی و مس، منشا عمده با احتمال بالایی ناشی از انتشارات ترافیکی و در ایستگاه فردیس با توجه به مقادیر بالای عناصر کروم، نیکل و کبالت، منشا عمده تحت‌تاثیر احتراق سوخت‌های فسیلی شناسایی شد.

همچنین پارامترهای آب‌وهوایی از جمله میزان فعالیت و تغییر جهت باد، رطوبت خاک و هوا و میزان و نوع فعالیت صنایع در فصول مختلف می‌توانند بر غلظت عناصر در نهشت اتمسفری تاثیر داشته باشند. نرخ فرونشست اتمسفری در طی فصل تابستان می‌تواند به‌دلیل عواملی همچون خشک‌تر بودن خاک و عدم وجود پوشش گیاهی در سطح زمین و انتقال مقادیر بیشتری از ذرات خاک به هوا افزایش یابد [۵۶]. در این مطالعه غلظت اغلب عناصر با افزایش دما و کاهش رطوبت افزایش یافت. در طی فصل تابستان، با توجه به وزش بادهای غالب از جنوب شرق در شهر کرج، آلاینده‌های ناشی از نیروگاه برق واقع در بخش جنوب شرقی شهر کرج می‌توانند بیش‌تر به سایر نقاط شهر کرج منتشر شوند که این عامل می‌تواند در غلظت‌های بالاتر عناصر کروم، کبالت و نیکل در طی ماه‌های گرم‌تر نقش داشته باشد. همچنین غلظت بالاتر عنصر روی در طی ماه‌های گرم‌تر ممکن است ناشی از افزایش اصطکاک بین جاده و لاستیک‌ها و یا پارگی و ساییدگی لنت ترمز باشد [۵۷]. از طرف دیگر غلظت عنصر سرب در طی ماه‌های سردتر افزایش یافت که می‌تواند متاثر از نوع فعالیت‌های صنعتی و انتشارات نقلیه‌ای باشد که نیاز به بررسی بیش‌تر دارد. بااین‌حال غلظت عناصر مس و لیتیم روند مشخصی را در طی ماه‌های مختلف نمونه‌برداری نشان نداد. همچنین لازم به ذکر است که در این مطالعه، چون نمونه‌برداری محدود به فصل‌های گرم سال (بهار و تابستان) است، نمی‌توان تاثیر برخی از شرایط آب‌وهوایی و یا فعالیت‌های انسانی را در منطقه مطالعه مورد بررسی قرار داد. به‌عنوان مثال عواملی همچون وارونگی دمایی در طی ماه‌های سرد به‌دلیل غلبه شرایط آب‌وهوایی پایدار و یا فعالیت‌های انسانی همچون گرمایش می‌توانند منجر به افزایش غلظت برخی عناصر موجود در غبار اتمسفری گردند [۵۷].

به‌منظور بررسی غلظت عناصر اندازه گیری شده در این مطالعه، غلظت عناصر کمیاب پژوهش حاضر با داده‌های گزارش شده برای سایر نقاط جهان مقایسه و در جدول ۳ ارائه شده است. عنصر کبالت به استثنای شهر اصفهان و شی‌آن، چین نسبت به سایر شهرها دارای غلظت بالاتری است. اما این عنصر با توجه به غلظت‌های در محدوده پوسته

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

زمین در همه ایستگاه‌ها به استثنای فردیس، احتمالا منجر به مخاطرات قابل‌توجهی نمی‌گردد. بااین‌وجود عناصر نیکل و به‌ویژه روی در مقایسه با تقریبا تمامی مناطق جهان بیش‌تر هستند که نگرانی را در مورد میزان بالای این آلاینده‌ها در نهشت اتمسفری کرج افزایش می‌دهد. سرب نیز در مقایسه با اغلب شهرهای ایران به استثنای تهران و اصفهان و همچنین اغلب کشورهای جهان به استثنای مکزیک غلظت بالاتری را نشان داد. همچنین غلظت‌های میانگین کروم و مس در مقایسه با سایر نقاط جهان در سطح متوسطی قرار دارد. این امر به‌ویژه با توجه به مخاطره بالای برخی عناصر از جمله سرب و کروم حائز اهمیت است. تراکم جمعیت، استقرار مناطق و شهرک‌های صنعتی متعدد همراه با صنایع مختلف در این استان بعلاوه ۲۰٪ ترافیک برون‌شهری کشور و توزیع سوخت غیر استاندارد، پتانسیل حضور انواع آلاینده‌ها از جمله عناصر را افزایش داده است که در صورت عدم‌توجه می‌توانند منجر به بروز شرایط بحرانی و مخاطرات جدی سلامت شوند.

مقادیر E_r^i برای Pb در ایستگاه کمال‌شهر در دامنه مخاطره بالقوه قابل‌ملاحظه و برای محمدشهر در دامنه مخاطره متوسط قرار دارد که نشان می‌دهد این عنصر منجر به مخاطره بالقوه برای اکوسیستم محلی می‌شود و اقدامات مدیریتی باید در این نواحی اجرا شوند. همچنین عنصر Ni در ایستگاه فردیس به‌عنوان عاملی موثر بر افزایش مخاطرات اکولوژیکی است. مخاطره ناشی از کلیه عناصر برای ایستگاه کمال‌شهر در سطح متوسط ارزیابی شد. بااین‌حال، با توجه به اینکه در این مطالعه تنها تعداد محدودی از عناصر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و برخی عناصر سمی از جمله جیوه، کادمیوم و آرسنیک مورد بررسی قرار نگرفته‌اند، مخاطرات اکولوژیکی ممکن است کمتر از حد برآورد شده باشند. همچنین با توجه به‌اینکه غلظت‌ها و شاخص‌های غنی‌شدگی عناصر به‌ویژه برای سرب و روی بالاتر از سطوح طبیعی هستند، پایش مداوم عناصر کمیاب در این شهر و کنترل انتشارات به‌ویژه ناشی از وسایل‌نقلیه در شهر کرج ضروری است.

جدول ۳: مقایسه غلظت عناصر کمیاب در منطقه مطالعاتی شهر کرج با سایر مناطق ایران و جهان

شهر	Co	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	مرجع
کرج، ایران	۲۱/۰۵	۱۸٤/۷۳	۹۸/۷۹	۹٤/٦۱	۸۳/۹۰	۹۳۱/۷۵	مطالعه حاضر
تهران، ایران	–	۲۵۷/٤	۳۳/۵	۲۲۵/۳	۳٤/۸	۸۷۳/۲	۵۸
اصفهان، ایران	۲٤/۹	۲۲۳/۹	۲٤/٤	۷۱	۸۲/۲	٤۷۰/۳	۲۳
بوشهر، ایران	۱۱/۷	٦۸/۱	۷۹	۵٤	۷۹	۱۷۰	۵۹
کرمانشاه، ایران	–	–	۷۳/۹	٤۸/٦	۱۱۵/۳	۱۸۲/۳	۲۱
شی‌آن، چین	۳۰/۹	۱۲٤/۵	۱٤۵/۰	۵٤/۷	۳۰/۸	۲٦۸/٦	٤۲
داکا، بنگلادش	–	۱۸/۹۹	۱٤٤/۳٤	٤۹/٦۸	۳۷/۰۱	–	٤٦
عربستان	۲۰/٦	٦٦/۸	–	۳٦/٤	۲٦	۱٤۱/۸	۱۸
مونتری، مکزیک	–	۲۲٦/۸۵	۱۰۱/٤۷	۱٦۷/۰۳	۵۲/۸٤	–	۳۳
پالرمو، ایتالیا	–	۵٤٤	۲۱۸	۹۸	۱٤	–	٦۰

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

نتیجه‌گیری

در این مطالعه آلودگی عناصر کمیاب در نمونه‌های نهشت اتمسفری شهر کرج بررسی شد. غلظت عناصر کبالت (به استثنای فردیس) و لیتیم در نهشت اتمسفری در محدوده مقدار زمینه پوسته زمین، برآورد شد، درحالی‌که عناصر سرب، روی، نیکل، کروم و مس به‌ترتیب به میزان ۹، ۱۳، ٤، ۳ و ٤ برابر پوسته زمین در نهشت اتمسفری شهر کرج تغلیظ شدند که وجود منابع انسانی را برای این عناصر نشان داد. همچنین در مقایسه با استانداردهای تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست برای عناصر کمیاب در خاک، غلظت همه عناصر به استثنای لیتیم و سرب بالاتر از حدود مجاز بود. نتایج ارزیابی شاخص غنی‌شدگی نشان می‌دهد که شهر کرج آلوده به سرب و روی و تا حدی مس، کروم و نیکل است. با توجه به آنالیزهای آماری انجام شده، منشا احتمالی مس و روی ناشی از منابع ترافیکی، منشا غالب کروم، نیکل و کبالت ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، منشا عمده سرب ناشی از فعالیت‌های صنعتی و منشا لیتیم ناشی از منابع طبیعی شناخته شد. همچنین بر طبق نتایج تحلیل خوشه‌ای، ایستگاه‌های کمال‌شهر، ماهدشت، محمدشهر و گلشهر دارای الگوهای مشابه‌تری از نظر غلظت عناصر کمیاب مطالعه شده بودند، درحالی‌که ایستگاه‌های فردیس و کارخانه‌قند در خوشه‌های جدا از سایر ایستگاه‌ها قرار گرفتند که الگوی متفاوتی را ارائه دادند. نتایج ارزیابی مخاطرات اکولوژیکی نشان داد به استثنای سرب برای ایستگاه‌های کمال‌شهر و محمدشهر، مخاطرات ناشی از سایر عناصر نسبتا کم است. اگرچه این فلزات در سطوح ایجادکننده تهدید جدی برای سلامت انسان وجود ندارند، تجمع‌شان در محیط نیازمند توجه بیش‌تر است.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری با عنوان "شناسایی منابع انتشار ذرات معلق، غبار خیابانی و نهشت خشک شهر کرج با رویکرد تحلیل چند متغیره" مصوب دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران است که با همکاری سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی استان البرز انجام شد. بدین‌وسیله از حمایت این سازمان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

1. Omrani M, Ruban V, Ruban G, Lamprea K. Assessment of atmospheric trace metal deposition in urban environments using direct and indirect measurement methodology and contributions from wet and dry depositions. Atmos Environ 2017;168:101-11.

2. Breslow NE. Air pollution: consequences and actions for the UK, and beyond. Lancet 2016; 387(10021): 817-916.

3. Shahrabi NS, Pourezzat A, Fayaz-Bakhsh A, et al. Pathologic analysis of control plans for air pollution management in Tehran Metropolis: A qualitative study. Int J Prev Med 2013;4(9):995.

4. Norouzi S, Khademi H, Ayoubi S, et al. Seasonal and spatial variations in dust deposition rate and concentrations of dust-borne heavy metals, a case study from Isfahan, central Iran. Atmos Pollut Res 2017;8(4):686-99.

5. Gunawardena J, Egodawatta P, Ayoko GA, Goonetilleke A. Atmospheric deposition as a source of heavy metals in urban stormwater. Atmos Environ 2013;68:235-42.

6. He Q, Zhang L, Cui Y, et al. Particle dry deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons and its risk assessment in a typical coal-polluted and basin city, northern China. Atmos Pollut Res 2017;8(6):1081-9.

7. Shi G, Chen Z, Teng J, et al. Fluxes, variability and sources of cadmium, lead, arsenic and mercury in dry atmospheric depositions in urban, suburban and rural areas. Environ Res 2012;113:28-32.

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

8. Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. Sci Total Environ 2003;311(1-3):205-19.

9. Ye L, Huang M, Zhong B, et al. Wet and dry deposition fluxes of heavy metals in Pearl River Delta Region (China): Characteristics, ecological risk assessment, and source apportionment. J Environ Sci 2018;70:106-23.

10. Azimi S, Rocher V, Garnaud S, et al. Decrease of atmospheric deposition of heavy metals in an urban area from 1994 to 2002 (Paris, France). Chemosphere 2005;61(5):645-51.

11. Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Atmospheric deposition of heavy metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in Varanasi city, India. Environ Monit Assess 2008;142(1-3):269-78.

12. Wang G, Oldfield F, Xia D. Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: A case study from the city of Lanzhou, China. Atmos Environ 2012;46:289-98.

13. Sezgin N, Ozcan HK, Demir G, et al. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. Environ Int 2003;29(7):979-85.

14. Rizzio E, Giaveri G, Arginelli D, et al. Trace elements total content and particle sizes distribution in the air particulate matter of a rural-residential area in north Italy investigated by instrumental neutron activation analysis. Sci Total Environ 1999;226(1):47-56.

15. Boaponsem LK, Adam JI, Dampare SB, et al. Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using epiphyteic lichens. Nucl Instrum Methods Phys Res B 2010;268(9):1492-501.

16. Ta W, Xiao H, Qu J, et al. Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986-2000. Geomorphology 2004;57(1-2):41-51.

17. Pandey J, Pandey U. Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system in relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. Environ Monit Assess 2009;148:61–74.

18. Modaihsh AS. Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia. J Arid Environ 1997;36(2):211-23.

19. Shinggu DY, Ogugbuaja VO, Barminas JT, Toma I. Analysis of street dust for heavy metal pollutants in Mubi, Adamawa, Nijeria. Int J Phys Sci 2007;2:290-3.

20. Shokri Ragheb P, Sobhan Ardakani S. Analysis of Co, Cr and Mn concentrations in atmospheric dry deposition in Hamadan City. Sci J Hamadan Univ Med Sci 2016; 23(2):149-56 [In Persian].

21. Ahmadi Doabi S, Afyuni M, Khademi H, Karami M. Statistical analysis of heavy metal contamination in atmospheric dusts of Kermanshah Province, Iran. JWSS 2016; 20(76):29-43 [In Persian].

22. Farahmand-Kia Z, Mehrasbi M, Sekhawatju M, et al. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. IJHE 2010;2(4):240-49 [In Persian].

23. Mahmoodi Z, Khademi H. Concentration of selected heavy metals in atmospheric dust of Isfahan and neighboring metropolitan areas. JWSS 2014;18(67):243-55 [In Persian].

24. Hamid V, Goudarzi G, Neisi A, Dastoorpoor M. Health Impact Assessment of the Ambient $PM_{2.5}$ Concentration in Karaj, Iran, during 2012-2015. JREH 2019;5(1):255-65 [In Persian].

25. Goossens D, Offer ZY. Wind tunnel and field calibration of six aeolian dust samplers. Atmos Environ 2000;34(7):1043-57.

26. Yongming H, Peixuan D, Junji C, Posmentier ES. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. Sci Total Environ 2006;355(1):176-86.

27. Gope M, Masto RE, George J, Balachandran S. Exposure and cancer risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the street dust of Asansol city, India. Sustain Cities Soc 2018;38:616-26.

28. Men C, Liu R, Wang Q, et al. Uncertainty analysis in source apportionment of heavy metals in road dust based on positive matrix factorization model and geographic information system. Sci Total Environ 2019;652:27-39.

29. Tang Z, Chai M, Cheng J, et al. Contamination and health risks of heavy metals in street dust from a coal-mining city in eastern China. Ecotoxicol Environ Saf 2017;138:83-91.

30. Abrahim G, Parker R. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environ Monit Assess 2008;136(1-3): 227-38.

31. Gope M, Masto RE, George J, et al. Bioavailability and health risk of some potentially toxic elements (Cd, Cu, Pb and Zn) in street dust of Asansol, India. Ecotoxicol Environ Saf 2017;138:231-41.

32. Keshavarzi B, Tazarvi Z, Rajabzadeh MA, Najmeddin A. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. Atmos Environ 2015;119:1-0.

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

33. Urrutia-Goyes R, Hernandez N, Carrillo-Gamboa O, et al. Street dust from a heavily-populated and industrialized city: Evaluation of spatial distribution, origins, pollution, ecological risks and human health repercussions. Ecotoxicol Environ Saf 2018;159:198-204.

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

35. Taylor SR, McLennan SM. The geochemical evolution of the continental crust. Rev Geophys 1995;33(2):241-65.

36. Fallah A, Modiri S, Sayyareh AR, Tabbakh Shabani AA. Investigation of heavy metals distribution in urban soil of Karaj green spaces. 30th symposium of geosciences, Geological survey & mineral exploration of Iran 2012 [In Persian].

37. Sah D, Verma PK, Kandikonda MK, Lakhani A. Pollution characteristics, human health risk through multiple exposure pathways, and source apportionment of heavy metals in PM_{10} at Indo-Gangetic site. Urban Clim 2019;27:149-62.

38. Sharma SK, Mandal TK. Chemical composition of fine mode particulate matter ($PM_{2.5}$) in an urban area of Delhi, India and its source apportionment. Urban Clim 2017;21:106-22.

39. Moeinaddini M, Ali-Taleshi M, Azimi-Yancheshmeh R. Spatial modelling of air pollutants emission from mobile sources in Karaj metropolis. J Nat Environ 2018;70(4): 935-47 [In Persian].

40. Clements N, Eav J, Xie M, et al. Concentrations and source insights for trace elements in fine and coarse particulate matter. Atmos Environ 2014;89: 373-81.

41. Ivošević T, Orlić I, Radović IB, et al. Composition and source apportionment of fine particulate matter during extended calm periods in the city of Rijeka, Croatia. Nucl Instrum Methods Phys Res B 2017;406:82-6.

42. Pan H, Lu X, Lei K. A comprehensive analysis of heavy metals in urban road dust of Xi'an, China: contamination, source apportionment and spatial distribution. Sci Total Environ 2017;609:1361-9.

43. Lu X, Wang L, Li LY, et al. Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. J Hazard Mater 2010;173(1-3):744-9.

44. Lu X, Wang L, Lei K, et al. 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.

45. Dehghani S, Moore F, Keshavarzi B, Beverley AH. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. Ecotoxicol Environ Saf 2017;136:92-103.

46. Rahman MS, Khan MD, Jolly YN, et al. Assessing risk to human health for heavy metal contamination through street dust in the Southeast Asian Megacity: Dhaka, Bangladesh. Sci Total Environ 2019;660:1610-22.

47. Duong TT, Lee BK. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. J Environ Manage 2011;92(3):554-62.

48. Al-Momani IF. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICP-MS: acidity and possible sources. Atmos Environ 2003;37(32):4507-15.

49. Singh M, Jaques PA, Sioutas C. Size distribution and diurnal characteristics of particle-bound metals in source and receptor sites of the Los Angeles Basin. Atmos Environ 2002;36(10):1675-89.

50. Manoli E, Voutsa D, Samara C. Chemical characterization and source identification/apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece. Atmos Environ 2002;36(6):949-61.

51. Schleicher NJ, Norra S, Chai F, et al. Temporal variability of trace metal mobility of urban particulate matter from Beijing–A contribution to health impact assessments of aerosols. Atmos Environ 2011;45(39):7248-65.

52. Sobhanardakani S. Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Content of Atmospheric Dry Deposition, a Case Study: Kermanshah, Iran. Biol Trace Elem Res 2019;187(2):602-10.

53. Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. Atmos Environ 2006;40(21):3835-44.

54. Li H, Qian X, Hu W, et al. Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan city, Nanjing, SE China. Sci Total Environ 2013;456:212-21.

55. Parks Organization of Karaj Municipality. Master plan of Karaj green space: report on urban pollutants. Research project, Karaj. 2012 [in Persian].

56. Namazi N, Salehi MH, Mohammadi J. Spatial and Temporal Variability of Some of Heavy Metals in Aerosols of Lenjanat Region, Esfahan. J Water Soil 2015;29(1):114-25 [In Persian].

57. Men C, Liu R, Xu F, et al. Pollution characteristics, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China. Sci Total Environ 2018;612:138-47.

58. Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. J Hazard Mater 2012;227:9-17.

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

59. Naderizadeh Z, Khademi H, Ayoubi S. Biomonitoring of atmospheric heavy metals pollution using dust deposited on date palm leaves in southwestern Iran. Atmósfera 2016;29(2):141-55.

60. Varrica D, Dongarrà G, Sabatino G, Monna F. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy. Environ Geol 2003;44:222-30.

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]

Journal of Environmental Health Engineering, May 2020; Vol. 7, No. 3: 356-375

Assessment of the Environmental Pollution of Trace Elements in Atmospheric Deposition of Karaj City Using Enrichment Factor and Ecological Risk Index in 2018

Rokhsareh Azimi Yancheshmeh[1], Mazaher Moeinaddini[2*], Sadat Feyz Nia[3], Reza Shahbazi[4]

[1] Ph.D. student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[2] Assistant professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[3] Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran
[4] Ph.D. in Natural Resources, Applied Geological Research Centre, Geology Survey of Iran, Karaj, Iran

**** E-mail: moeinaddini@ut.ac.ir***

Received: 1 Oct 2019 ; Accepted: 20 Jan 2020

ABSTRACT

Background: Atmospheric deposition has a significant influence on environmental pollution and human health because of its role on transport mechanisms. The aims of this study were the determination of Concentrations, Sources and Ecological Risks of trace elements in atmospheric deposition of Karaj City, Iran.

Method: 18 atmospheric deposition samples were collected from the flat roof of buildings in six districts and then, the concentration of elements including Cu, Zn, Cr, Ni, Li and other (Co and Pb) were analyzed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), respectively. Pearson Correlation, One-Way ANOVA and Factor Analyses were used to identify probable sources of the trace elements.

Results: The mean concentrations of Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, and Li were 184.73, 931.75, 94.61, 98.79, 83.90, 21.05 and 24.71 μg/g, respectively. Also, the result showed the Enrichment Factors (EF) of Pb and Zn were high; Cr, Ni, and Cu were moderate while Co was unpolluted. Based on statistical analyses, trace elements could be originated from several anthropogenic (Vehicular Sources, Industrial Emissions and Fossil Fuel Combustion) and natural sources. Zn and Cu showed the highest concentrations at high-traffic stations, especially at Karkhene-Ghand located in city center. Maximum concentrations of Cr, Ni, and Co were observed at Fardis Station closed to Karaj Power Plant. Industrial Stations including Kamalshahr, Mohammadshahr, and Mahdasht had the most amount of Pb. Finally, Risk index (RI) showed all studied stations had low potential risk except of Kamalshar with a considerable risk.

Conclusion: Karaj has influenced by several anthropogenic sources of environmental pollution that are created many human health problems and the pollutants have increased with the population density. Therefore, we would have suggested the continuous monitoring of trace elements, especially Pb and Zn to control of the emission sources.

Keywords: Trace elements, Karaj, Ecological risk, Atmospheric deposition

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

[DOI: 10.29252/jehe.7.3.356]