

بررسی آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ترافیکی شهر مشهد و تعیین منشأ آن با استفاده از روش استخراج ترتیبی

فرزانه بهروش^۱، محمدحسین محمودی قرایی^۲، فرشته قاسمزاده^۳، سیما عوض‌مقدم^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

گرد و غبارهای ترافیکی بیشتر دارای سطح بالایی از فلزات سنگین است که می‌تواند سلامت انسان و محیط زیست را تحت تأثیر قرار دهد. در این مقاله تلاش شده است با اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در خاک و گرد و غبارهای موجود در مناطقی از شهر مشهد و در نواحی با حجم ترافیک بالا و همچنین در ماه‌هایی که بیشترین حجم ترافیک را دارند، میزان آلاینده‌گی این خاک‌ها بررسی شود. بدین منظور ۲۳ نمونه خاک سطحی از سه مسیر اصلی شهر مشهد به گونه‌ای که همه سطح شهر را پوشش دهد، برداشت شد و غلظت کل عناصر Ni، Zn، Pb، Cr و Cu اندازه‌گیری شد. سطح آلودگی خاک شهری با استفاده از شاخص زمین‌انباشت (Igeo)، شاخص آلودگی (PI) و شاخص آلودگی یکنواخت (IPI) بررسی شد. شاخص آلودگی نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها سطح بالایی از آلودگی به وسیله سرب (3.688-74.16) دارند. همچنین فلز روی (1.484-7.23) نیز در بیشتر نمونه‌ها سطح بالایی از آلودگی نشان می‌دهد. در حالی که نیکل (1.01-1.953) و مس (0.678-1.945) سطح متوسطی از آلودگی نشان می‌دهند. کروم (0.246-0.772) نیز در همه نمونه‌ها سطح پایینی از آلودگی نشان داد. منابع احتمالی آلاینده‌ها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل اجزای اصلی ارزیابی شد. نتایج تجزیه، غلظت‌های بالای فلزات سرب، مس، روی و نیکل را نسبت به میانگین غلظت این فلزات در بخش بالایی پوسته زمین نشان داد. وجود ضریب همبستگی مثبت میان عناصر سنگین روی و مس و همچنین سرب و روی، نشان‌دهنده منابع تولیدکننده همانند است که همان سوخت خودروها و استفاده از ترمز در وسایل نقلیه است. نتایج به دست آمده از روش استخراج ترتیبی نیز نشان از این دارد که گونه‌سازی عناصر Ni و Zn، Pb بیشتر در فازهای ناپایدار (F1+F2+F3+F4) صورت گرفته که نشان‌دهنده منشأ انسانی برای آنهاست، ولی عناصر Cr و Cu بیشتر در فاز پایدار (F5) توزیع شده‌اند که بیانگر منشأ بیشتر طبیعی برای این دو عنصر است.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، خاک شهری، غبار ترافیکی، استخراج ترتیبی، شهر مشهد.

*نویسنده مسئول: محمدحسین محمودی قرایی

E-mail: mhmgharaie@um.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

گرد و غبارهای شهری بیشتر به عنوان شاخص آلودگی فلزات سنگین در محیط زندگی افراد استفاده می‌شود. امروزه با انتشار انواع آلاینده‌های محیط زیست و نمایان شدن اثرات آن روی سلامت انسان و دیگر جانداران، توجه زیادی به شناخت مواد آلاینده، چگونگی انتقال، عملکرد و دسترس‌پذیری آن معطوف شده است. از چالش‌های محیط زیست در حال حاضر وجود فلزات سنگین در خاک‌های آلوده است. ورود مقادیر کم فلزات سنگین به بدن موجودات زنده می‌تواند عوارض جبران‌ناپذیری داشته باشد. در شرایط طبیعی بسیاری از این فلزات غیر متحرک هستند و غلظت ناچیزی دارند.

به ماده جامد مرکب از خاک، ترکیبات فلزی آنتروپوژنیک و مواد بیوژنیک طبیعی گرد و غبار (dust) گفته می‌شود (Faiz et al., 2009). خاک نیز ترکیبی از فلزات سنگین، ترکیبات کانیایی، مواد آلی، موجودات زنده و همچنین هوا و آب است. فلزات سنگین آزاد شده از منابع ثابت و متحرک می‌توانند به آب، خاک و هوا و در پایان بدن انسان وارد شوند. فلزات سنگین هم سلامت انسان را به خطر می‌اندازند و هم اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی دارند. وسایل نقلیه شهری و جاده‌ای مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین را در هوا، آب و خاک آزاد می‌کنند. بنابراین انتشار فلزات سنگین از وسایل نقلیه یکی از منابع اصلی آلودگی فلزات در محیط‌های شهری حاصل از حجم بالای ترافیک است (شکوهیان و قاضی‌زاده، ۱۳۸۹؛ Christoforidis & Stamatis, 2009). فلزات سنگین تولید شده توسط آگروز خودروها و سایش تایر اتوموبیل‌ها و استفاده از ترمز می‌تواند در گرد و غبارها و خاک‌های شهری نهشته شوند (Thorpe & Harrison, 2008).

همچنین فلزات سنگین آزاد شده از ترافیک جاده سبب آلودگی رواناب‌های شهری نیز می‌شود. زیرا بارش باران این ذرات را از اتمسفر و سطح خیابان‌ها می‌شوید، آنها را وارد آب‌های سطحی و رواناب‌ها می‌کند و از این راه به انتقال عناصر سنگین می‌انجامد (Wei et al., 2008). فلزات سنگین مورد بررسی در این مطالعه شامل پنج عنصر Ni، Zn، Pb، Cr و Cu است که بیشترین فراوانی را در میان عناصر سنگین آزاد شده از وسایل نقلیه به خود اختصاص می‌دهند. همچنین افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب غنی‌سازی غیر عادی این عناصر می‌شود (Faiz et al., 2009). فلزات سنگین در بافت‌های چربی و درونی اعضای بدن تجمع می‌یابند و می‌توانند بر دستگاه عصبی مرکزی اثر بگذارند و یا عاملی برای بیماری‌های دیگر باشند. مسمومیت با فلزات سنگین، اثر بر مغز و اختلال رشد در کودکان از اثرات شایع این عناصر است. قرار گرفتن در معرض این عناصر برای مدت زمان طولانی سبب بروز مسمومیت مزمن در سطح پایین می‌شود که معمولاً بدون علامت است ولی سبب بروز اختلالاتی در سوخت و ساز بدن می‌شود (Elik, 2003).

۲- منطقه مورد مطالعه و روش کار

شهر مشهد با وسعت ۱۷۳۵۸ کیلومتر مربع در حوضه آبریز کشف‌رود و در پایانه جنوبی دشت رسوبی توس جای گرفته است و دو رشته کوه هزارمسجد در شمال و بینالود در جنوب آن قرار دارند. موقعیت جغرافیایی این شهر ۵۹ درجه و ۳ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۵ دقیقه طول خاوری و ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی است و از شمال به شهرستان کلات، از شمال باختری به درگز، از باختر

– نیکل (Ni): کمترین غلظت نیکل 84.1 mg/l است که در دو مکان پل فجر و پل قائم به دست آمده است. این دو مکان نیز به دلیل وجود ترافیک روان آلودگی کمتری دارند. بالاترین غلظت نیکل مربوط به نمونه C_3h است که غلظت 146.5 mg/l را دارد و مربوط به نمونه‌ای از زیرگذر حرم مطهر رضوی است که به دلیل وجود انواع خودروها و سایش ترمز، خوردگی وسایل نقلیه و پمپ روغن خودرو که از منابع اصلی ورود نیکل به هوا است (Duong et al., 2010) ایجاد شده است. همچنین نمونه برداشته شده از میدان آزادی (Av1) هم دارای مقدار بالایی نیکل است. میانگین غلظت نیکل در نمونه‌ها 105.37 mg/l است که در مقایسه با استانداردها قدری بیشتر نشان می‌دهد.

– سرب (Pb): کمترین غلظت سرب در جاده طرهبه نرسیده به بند گلستان (Av8) به میزان 46.1 mg/l بود که به دلیل حجم ترافیکی پایینی است که تنها در روزها و ساعات معدودی از هفته ایجاد می‌شود. بیشترین مقدار سرب مربوط به نمونه (B4kg) با غلظت 927 mg/l است که در مقایسه با میانگین غلظت عناصر در پوسته بی‌هنجاری بسیار بالایی را نشان می‌دهد و مربوط به پل قائم است. پل قائم متشکل از دو بزرگراه اصلی شهر است که یکی از بزرگراه‌ها به ورودی شهر متصل می‌شود و با توجه به حجم بالای رفت‌وآمد وسایل نقلیه سنگین و همچنین سرعت بالای وسایل نقلیه، مقدار زیادی سرب وارد محیط می‌شود (Duong & Kyu Li, 2010)؛ کرباسی و همکاران (۱۳۸۸). میانگین غلظت سرب در نمونه‌ها 132.86 mg/l است که در مقایسه با میانگین غلظت عناصر در پوسته مقدار بالاتری را نشان می‌دهد.

– روی (Zn): کمترین غلظت روی در جاده طرهبه نرسیده به بند گلستان (Av8) به میزان 103.9 mg/l است. بیشترین مقدار روی مربوط به نمونه چهارراه امام خمینی (چهارراه لشگر) (A4l) است که غلظت 506.1 mg/l دارد. از آنجایی که سایش لاستیک خودروها مقدار زیادی روی وارد محیط می‌کند، می‌توان به این نتیجه رسید که به دلیل وجود چراغ راهنمایی و حجم ترافیک بالا در این محدوده و در پی آن سایش لاستیک خودروها به دلیل گرفتن ترمز، روی در گرد و غبارهای این منطقه به فراوانی یافت می‌شود. میانگین غلظت روی در نمونه‌ها 254.35 mg/l است که در مقایسه با استانداردها حدی عادی را نشان می‌دهد.

– کروم (Cr): در همه نمونه‌ها غلظت کروم نسبت به عناصر دیگر پایین است. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده کروم در مقایسه با پوسته و خاک‌های طبیعی میزان پایینی را نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند بیانگر این باشد که کروم در گرد و غبارهای ترافیکی نقش مهمی ندارد. کمترین غلظت کروم مربوط به نمونه میدان امام حسین (B2eh) است، در حالی که بیشترین غلظت کروم مربوط به نمونه (Av6) است که می‌توان گفت به دلیل وجود نواحی دست نخورده و بافت پراکنده شهری مقدار کروم در آن کمی بیشتر است.

در جدول ۳ مقایسه‌ای میان غلظت فلزات سنگین در نقاط دیگر جهان با مقادیر به دست آمده از این پژوهش ارائه شده است تا میزان آلاینده‌گی عناصر مورد مطالعه در خاک و غبارهای ترافیکی سطح مشهد بهتر مشخص شود.

در مقایسه با دیگر شهرها، به‌ویژه شهرهای متعلق به کشورهای توسعه یافته، غلظت فلزات روی و نیکل مقادیر بیشتری نشان می‌دهند. همچنین به‌جز کروم، دیگر عناصر به میزان چشمگیری غلظت بیشتری از میانگین موجود در پوسته زمین دارند. با توجه به اینکه ایران در مقایسه با کشورهایی چون انگلیس و اسپانیا کمتر صنعتی بوده و در جدول ۳ داده‌های شهرهای پر جمعیتی چون لندن نیز ارائه شده است، میزان بالای برخی از آلاینده‌ها در غبارهای خیابانی شهر مشهد نگران‌کننده و احتمالاً ناشی از منابع دیگری به غیر از منابع طبیعی‌اند. یکی از منابع انتشار را می‌توان سوخت مصرفی در خودروهای شهر مشهد دانست که ممکن است با توجه به کیفیت نامناسب آن، میزان آلاینده‌های خطرناک در مشهد نسبت به شهرهای صنعتی و پر جمعیت جهان، مقادیر بیشتری را نشان دهند. خوردگی بدنه خودروها، سطوح فلزی مختلف در شهر

به چناران و نیشابور و از خاور به سرخس و تربت جام محدود می‌شود. مهمترین رشته کوهی که با جهت شمال‌باختری- جنوب‌خاوری این ناحیه را دربر می‌گیرد، از درکوه با ارتفاع تقریبی ۳۰۰۰ متر است. شهر مشهد دارای آب‌وهوای معتدل و متمایل به سرد و خشک با مقدار دمای سالیانه $13/7$ درجه است. ارتفاع مشهد از سطح دریا حدود ۹۷۰ متر است. رودخانه کشف‌رود در ۸ کیلومتری شمال این شهر از شمال باختر به سوی خاور جریان دارد. موقعیت جغرافیایی شهر مشهد و سوی وزش باد (از خاور به باختر) نیز بر آلودگی هوای آن افزوده است و هر نوع آلاینده هوا واقع در جنوب خاور و خاور منطقه را به‌طور مستقیم به شمال باختر و باختر مشهد جابه‌جا می‌کند (الیاسیان کلات، ۱۳۸۹). شکل ۱ موقعیت منطقه و محل‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

۳- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عناصر سنگین در گرد و غبارهای ترافیکی، نمونه‌برداری از سه مسیر اصلی در سطح شهر مشهد شامل دو بزرگراه و یک خیابان که از وسط شهر می‌گذرد انجام گرفت. نمونه‌گیری از کنار جداول خیابان‌ها، دریاچه‌های فاضلاب و مکان‌هایی که گرد و غبار مدتی در آنجا مانده بود انجام پذیرفت.

نمونه‌برداری مسیر A از پایانه نخریسی در خاور مشهد تا میدان طرهبه در باختر مشهد که شامل ۱۲ نمونه است صورت گرفت. نمونه‌های مسیر B از کمربندی صدمتری که در شمال شهر مشهد و شامل ۵ نمونه است گرفته شد. مسیر C نیز که از پل استقلال تا میدان بسیج را در بر می‌گیرد، شامل ۶ نمونه است.

نمونه‌برداری در تیرماه و شهریورماه که حجم ترافیک زیاد است و در ساعات پایانی شب که دارای بیشترین غلظت آلودگی است، انجام پذیرفت. گردآوری نمونه‌ها با استفاده از برس‌های تمیز و کیسه‌های پلاستیکی صورت گرفت. سپس نمونه‌ها پس از پودر شدن برای اندازه‌گیری ۵ فلز سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی به آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد فرستاده شد. برای تعیین غلظت فلزات سنگین، نمونه‌های خاک در محلول اسید نیتریک و اسید کلریدریک غلیظ (نسبت ۱ به ۳) حل و به مدت یک ساعت روی بن‌ماری گرما داده شد. پس از سرد شدن به نمونه‌های خاک آب اکسیژنه افزوده شد تا بی‌رنگ شوند؛ پس از صاف کردن با کاغذ صافی واتمن ۴۲، نمونه‌ها درون بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده و غلظت عناصر سنگین در آنها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شد (Page et al., 1982).

۴- نتایج

نتایج تجزیه نمونه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. جدول ۲ غلظت ۵ عنصر مورد بررسی را در پوسته زمین و خاک‌های سطحی طبیعی نشان می‌دهد.

با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول ۱ و مقادیر زمینه‌ای ۵ عنصر مورد مطالعه در پوسته زمین و خاک‌های طبیعی (جدول ۲)، فراوانی هر یک از این ۵ عنصر در مسیرهای ترافیکی مشهد مورد بررسی قرار گرفت.

– مس (Cu): کمترین غلظت مس در سطح شهر و بزرگراه‌ها 37.3 mg/l در میدان امام حسین و بیشترین آن 107 mg/l در میدان استقلال است، که می‌توان گفت به دلیل ساخت تقاطع غیر همسطح و روان شدن ترافیک در میدان امام حسین و کاهش استفاده از ترمز در این مکان غلظت مس کاهش چشمگیری داشته است. در میدان استقلال نیز به دلیل وجود حجم بالای ترافیک و نیز وجود چراغ قرمز و استفاده مکرر از ترمز غلظت مس بالا رفته است (Li et al., 2001; Lu et al., 2009). میانگین غلظت مس در نمونه‌های مطالعه شده 68.36 mg/l است که در مقایسه با پوسته و خاک‌های طبیعی در حد قابل قبولی است.

۵-۳. شاخص جامع آلودگی (IPI) Integrated pollution index

شاخص جامع آلودگی مقدار میانگین شاخص آلودگی هر عنصر است که به صورت زیر رده بندی می شود:

$IPI \leq 1$	سطح آلودگی پایین
$1 < IPI \leq 2$	سطح آلودگی متوسط
$IPI > 2$	سطح آلودگی بالا

از آنجایی که IPI میانگین PI است می توان گفت که مس و نیکل سطح آلودگی متوسط و سرب و روی سطح آلودگی بالا نشان می دهند. کروم نیز سطح آلودگی متوسط نشان می دهد. بنابراین با توجه با شاخص زمین انباشت و شاخص آلودگی، آلودگی سرب و روی در سطح شهر مشهد نگران کننده است.

۵-۴. همبستگی بین عناصر آلاینده

به منظور ایجاد ارتباط میان عناصر در خاک و گرد و غبارهای شهری ابتدا عادی بودن داده ها مورد بررسی قرار گرفت و سپس ضریب همبستگی اسپیرمن محاسبه شد. جدول ۶ ماتریس همبستگی را نشان می دهد.

همان گونه که در جدول نشان داده می شود کروم و نیکل بیشترین مقدار همبستگی را نشان می دهند. البته میان روی و مس و کروم و مس هم میزان همبستگی بالاست. کمترین مقدار همبستگی میان سرب و نیکل است. سرب و روی هم دارای ضریب همبستگی به نسبت بالایی هستند. مس و سرب نیز ضریب همبستگی متوسط دارند که ممکن است نشان دهنده آن باشد که این دو عنصر منابع تا حدودی یکسانی دارند مانند وسایل نقلیه و فعالیت های صنعتی. مقادیر ضریب همبستگی ضعیف برای فلزات دیگر نشان می دهد که منابع متعدد و مستقل است. همبستگی بالای کروم و نیکل بیانگر منشأ یکسان آن دو است که می تواند همان طبیعت (زمین زاد) باشد.

۵-۵. فاکتور غنی شدگی: این شاخص از رابطه ذیل به دست می آید:

$$EF = [C_n(\text{sample})/C_{ref}(\text{sample})]/[B_n(\text{background})/B_{ref}(\text{background})]$$

که در آن Cn غلظت عنصر مورد نظر در نمونه، Cref غلظت عنصر مرجع در نمونه، Bn غلظت عنصر مورد نظر در زمینه و Bref غلظت عنصر مرجع در زمینه است. عنصر مرجع می تواند Fe، Si و Al باشد که در بسیاری از مطالعات از عنصر آهن به عنوان عنصر مرجع استفاده شده است (Ergin et al., 1991; Loska et al., 1997).

برای عنصر مس فاکتور غنی شدگی، ۱۹ مورد به نسبت غنی شده، ۲ مورد غنی شدگی قابل توجه (Av3) و (Av5) و ۲ مورد تهی یا کمی غنی شده (Av8) و (B2eh) است. در رابطه با عنصر سرب، ۱۰ مورد غنی شدگی قابل توجه، ۱۱ مورد به شدت غنی شده، و یک مورد بی نهایت غنی شده (B4kg) را نشان می دهد. برای عنصر روی، یک مورد به نسبت غنی شده، ۲۱ مورد غنی شدگی قابل توجه و یک مورد به شدت غنی شده (A4I) است. در مورد عنصر نیکل، ۲۲ مورد به نسبت غنی شده و یک مورد غنی شدگی قابل توجه (C5h) را نشان می دهد.

۶- استخراج ترتیبی عناصر در نمونه ها

درجه و میزان تأثیر گذاری فلزات سنگین در محیط زیست بستگی به قابلیت حرکت و حلالیت این فلزات دارد و این دو عامل خود وابسته به عوامل دیگری از جمله pH، مقدار رطوبت، درصد مواد آلی، غلظت کل فلزات، نوع بافت و نوع کانی های موجود در خاک است (Singh et al., 1988). فلزات در خاک و رسوبات می توانند با ترکیبات مختلفی از جمله کربنات ها، هیدروکسیدهای منگنز و آهن، سولفات ها، اکسیدها و مواد آلی پیوند برقرار کنند و در بافت هایی مانند سیلیکات ها قرار گیرند. با فراگیر شدن آلودگی ها در محیط زیست روش های آزمایشگاهی برای بررسی تحرک و زیست دسترس پذیری فلزات سنگین در نمونه های زیست محیطی مانند خاک گسترش زیادی یافته است. با آنکه اندازه گیری غلظت کل عناصر در خاک می تواند نشانه مناسبی از شدت آلودگی در آن باشد، ولی نمی تواند

و همچنین ذرات ریز لاستیک و لنت ترمز خودروها نیز از منابع ورود این فلزات به شکل ذره ای به محیط شهری هستند.

۵- بررسی سطح آلودگی

سطح آلودگی فلزات سنگین با استفاده از سه فاکتور شاخص زمین انباشت (Igeo)، شاخص آلودگی (PI) و شاخص جامع آلودگی یکنواخت (IPI) مورد بررسی قرار می گیرد (Lu et al., 2009).

۵-۱. شاخص زمین انباشت (Igeo)

این شاخص با استفاده از فرمول زیر به دست می آید (Muller, 1969):

$$I_{geo} = \log_2[C_n/1.5B_n] \quad (1)$$

که در آن Cn غلظت اندازه گیری شده در نمونه و Bn مقدار اندازه گیری شده در پوسه است. شاخص زمین انباشت به صورت زیر رده بندی می شود:

$I_{geo} \leq 0$	غیر آلوده
$0 < I_{geo} \leq 1$	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
$1 < I_{geo} \leq 2$	آلودگی متوسط
$2 < I_{geo} \leq 3$	آلودگی متوسط تا به شدت آلوده
$3 < I_{geo} \leq 4$	به شدت آلوده
$4 < I_{geo} \leq 5$	به شدت تا بی نهایت آلوده
$5 < I_{geo}$	بی نهایت آلوده

شاخص زمین انباشت برای فلزات تحت مطالعه بررسی شد که بیشینه و کمینه آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

در رابطه با عنصر نیکل به جز ۶ نمونه (Av1, Av6, Av7, Av9, A4I, C6ha) که غیر آلوده تا آلودگی متوسط نشان می دادند، دیگر نمونه ها شاخص زمین انباشت کمتر و مساوی صفر ($I_{geo} \leq 0$) دارند که نشان می دهد محیط در مورد عنصر نیکل غیر آلوده است. برای فلز مس هم بیشتر نمونه ها $I_{geo} \leq 0$ داشتند که نشان می دهد محیط در مورد این عنصر غیر آلوده است. تنها ۵ نمونه (Av3, Av5, Av6, C1s, C4sh) محیط غیر آلوده تا آلودگی متوسط نشان می دادند. برای عنصر سرب ۱۶ مورد آلودگی متوسط تا به شدت آلوده، ۵ مورد آلودگی متوسط، یک مورد به شدت آلوده (Av3) و یک مورد بی نهایت آلوده است (B4kg). برای عنصر روی، یک مورد غیر آلوده، ۷ مورد غیر آلوده تا آلودگی متوسط، ۱۳ مورد آلودگی متوسط و ۲ مورد آلودگی متوسط تا به شدت آلوده دارند (Av7, A4I). برای عنصر کروم نیز همه موارد غیر آلوده تا آلودگی متوسط نشان می دهند.

۵-۲. شاخص آلودگی (PI)

این شاخص با استفاده از فرمول زیر به دست می آید:

$$PI = C_n/B_n \quad (2)$$

که در آن Cn غلظت اندازه گیری شده در نمونه و Bn مقدار اندازه گیری شده در پوسه است. شاخص آلودگی به صورت زیر رده بندی می شود:

$PI \leq 1$	سطح آلودگی پایین
$1 < PI \leq 3$	سطح آلودگی متوسط
$PI > 3$	سطح آلودگی بالا

شاخص آلودگی برای فلزات تحت مطالعه بررسی شد که بیشینه، کمینه و میانگین آن در جدول ۵ نشان داده شده است.

برای عنصر مس، ۷ نمونه آلودگی پایین و ۱۶ نمونه آلودگی متوسط نشان می دهد. در حالی که همه نمونه ها در مورد نیکل سطح آلودگی متوسط نشان می دهند. شاخص آلودگی برای عنصر سرب در همه موارد سطح خیلی بالای آلودگی را نشان می دهد. عنصر روی در ۸ مورد سطح آلودگی متوسط و در ۱۵ مورد سطح آلودگی بالا نشان می دهد. در مورد عنصر کروم همه نمونه ها سطح پایین آلودگی نشان می دهند.

۶-۲. بحث

سرب و روی بیشتر در فازهای کربناتی و فازهای اکسید آهن و منگنز موجود است که در گرد و غبارهای خیابانی وجود دارند. مس به مقدار زیاد در رابطه با فازهای آلی و سولفیدهاست. میزان بالای سرب و روی در ارتباط با فازهای غیر باقیمانده نشان می‌دهد که این عنصر می‌تواند به راحتی به غذا و آب انتقال پیدا کند.

عناصر Ni، Cu و Cr بیشتر با فاز باقیمانده همراه هستند؛ در حالی که Zn و Pb بیشتر با فازهای غیر باقیمانده همراه هستند که این امر بیانگر منشأ بیشتر طبیعی Ni، Cu و Cr و منشأ انسان‌زاد Zn و Pb است.

بخش قابل توجهی از سرب (به‌طور میانگین حدود بیش از ۵۰ درصد) به راحتی قابل دسترسی است و در مراحل ۱، ۲ و ۳ آزاد می‌شود که نشانه تحرک خوب این فلز است.

تحرک پذیری فلزات سنگین در گرد و غبارهای ترافیکی شهر مشهد به‌صورت زیر است:



با اینکه بیشتر نیکل در فاز باقیمانده وجود دارد، ولی در فازهای اولیه نیز مقداری نیکل وجود دارد که مرتبط با فعالیت‌های انسانی است؛ همانند نمونه C5h که مربوط به یکی از مناطق پرتراфик مشهد در حوالی میدان بسیج است که به دلیل وجود انواع خودروها و سایش ترمز، خوردگی وسایل نقلیه و پمپ روغن خودرو که از منابع عمده ورود نیکل به هواست، ایجاد شده است. غلظت بالایی از مس در دو مرحله آخر (آلی و باقیمانده) وجود دارد، ولی مقدار قابل توجهی هم (مانند نمونه C6ha) در فاز متصل به اکسیدهای آهن و منگنز وجود دارد که مربوط به نمونه‌ای از زیرگذر حرم مطهر رضوی است که به دلیل حجم بالای وسایل نقلیه و استفاده از ترمزهای مکرر ایجاد شده است و منشأ انسانی را برای این عنصر در این نمونه نشان می‌دهد.

سرب و روی بیشتر در فازهای کربناتی و فازهای اکسید آهن و منگنز وجود دارد که کانه‌های اصلی فاز کربناتی از گرد و غبارهای خیابانی ناشی از مواد سطح جاده ایجاد می‌شود. مس به مقدار زیاد در رابطه با فازهای آلی و سولفیدهاست. در غبارهای شهری مقدار روی بالاست. روی تحرک پذیری بالایی دارد؛ به‌طوری که ۶۰ درصد آن جذب فاز کربناتی و ۳۰ درصد جذب اکسیدهای آهن و منگنز می‌شود. آزادسازی بخش قابل توجهی از سرب و روی در مراحل اولیه استخراج ترتیبی روی غبارهای ترافیکی شهر مشهد نه تنها تأکیدی است بر تحرک بالای این فلزات بلکه گویای این واقعیت است که این عناصر بیشتر از راه فعالیت‌های انسانی و صنعتی به محیط وارد می‌شوند که با توجه به اثرات بد این دو عنصر بر سلامت موجودات زنده، کنترل محیط زیست نسبت به آلودگی این عناصر اهمیت خاصی دارد.

به‌طور کلی می‌توان توزیع فلزات مورد بررسی در فازهای ژئوشیمیایی را به‌صورت زیر بیان کرد:

Pb: Fe-Mn oxide > Residual > Organic > Carbonat > Exchangeable

Zn: Fe-Mn oxide > Carbonat > Residual > Organic > Exchangeable

Cu: Residual > Organic > Fe-Mn oxide > Carbonat > Exchangeable

Ni: Residual > Fe-Mn oxide > Organic > Carbonat > Exchangeable

Cr: Residual > Fe-Mn oxide > Organic > Carbonat > Exchangeable

۷- نتیجه‌گیری

بر پایه این مطالعه مشخص شد که سطح آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبارهای ترافیکی به شدت وابسته به حجم ترافیکی و سرعت خودروهاست. زیرا افزایش سرعت وسایل نقلیه می‌تواند سبب افزایش مصرف سوخت و همچنین سایش سطح جاده و لاستیک‌ها شود. سرب در گرد و غبار شهری از منابع بنزین سرب‌دار، روغن

اطلاعاتی در مورد شکل‌ها یا گونه‌های مختلف عناصر در محیط خاک فراهم آورد (Han et al., 2001).

شناخت نوع ترکیب فلزات و یا چگونگی حضور آنها در خاک و رسوبات کمک به‌سزایی در ارزیابی تأثیرپذیری محیط زیست و موجودات زنده در خاک یا رسوب دارد. انواع روش‌های مورد استفاده در تعیین مقادیر فلزات سنگین موجود در مواد مختلف (به‌ویژه خاک) شامل روش آبشویی ستونی، روش استخراج تک‌مرحله‌ای، روش استخراج ترتیبی، روش تعین محتوای خاک و روش تجزیه نمونه کامل است (امامی حیدری و آدینه‌وند، ۱۳۹۰). هر کدام از این روش‌ها توانایی جداسازی فازهای خاصی را دارند. در میان انواع روش‌های استفاده شده در پاکسازی مواد مختلف، از دید قدرت جدایش فلزات موجود در فازهای مختلف، روش استخراج ترتیبی دارای بیشترین بازدهی برای جداسازی فازها در مواد مختلف است. در این روش از حلال‌های بسیاری در مراحل متوالی برای حل کردن ترکیبات مختلف فلز در خاک استفاده می‌شود. افزودن هر حلال در شرایط خاص (دما، pH و ...) سبب جدا شدن فلز از ترکیب ویژه‌ای می‌شود و به این ترتیب درصد حضور فلزات در اجزای مختلف خاک و رسوبات به دست می‌آید. درجه خطرناکی و تأثیرگذاری فلز بر محیط زیست با افزایش قابلیت انحلال ترکیبات آن بیشتر می‌شود (امامی حیدری و آدینه‌وند، ۱۳۹۰).

در میان روش‌های استخراج ترتیبی روش Tessier et al. (1979) دارای قدرت جدایش بیشتر و میزان خطای آزمایشگاهی کمتری است. این روش از کامل‌ترین روش‌های استخراج ترتیبی و در حقیقت یک روش آزمایشگاهی و تجزیه‌ای است که در آن با استفاده از حلال‌های شیمیایی فازهای مختلف ژئوشیمیایی فلزات در نمونه‌های رسوب در طی ۵ مرحله عملیات جدا می‌شوند (قشلاقی و فرقانی، ۱۳۹۰). پنج جز یا فازی که در طی پنج مرحله استخراج می‌شود عبارتند از:

۱) جزو تبادل پذیر: فلزاتی که در این جز قرار می‌گیرند به دلیل پیوندهای الکترواستاتیک ضعیف به راحتی تحت تأثیر فرایندهای تبادل یونی (جذب/اجذب) قرار می‌گیرند. pH و یا قدرت یونی آب نیز بر این فرایندها اثر می‌گذارد (F1).

۲) جزو متصل به کربنات: این بخش فلزاتی را در بر می‌گیرد که دسترس پذیری متوسطی دارند و در اثر تغییرات pH می‌توانند مبادله شوند (F2).

۳) جزو متصل به اکسیدهای آهن و منگنز فازهای کاهش پذیر (F3).

۴) جزو متصل به ماده آلی فاز اکسایش پذیر (F4).

۵) جزو باقیمانده: فلزاتی که در این بخش باقی می‌مانند، فلزاتی غیر متحرک و پایدار به شمار می‌آیند. این بخش معمولاً در ساختمان سیلیکات‌ها حضور دارند و دارای پیوندهای محکمی هستند (F5) (Forghani et al., 2009).

مراحل استخراج ترتیبی در شکل ۲ نشان داده شده است که توضیح آنها در ادامه می‌آید.

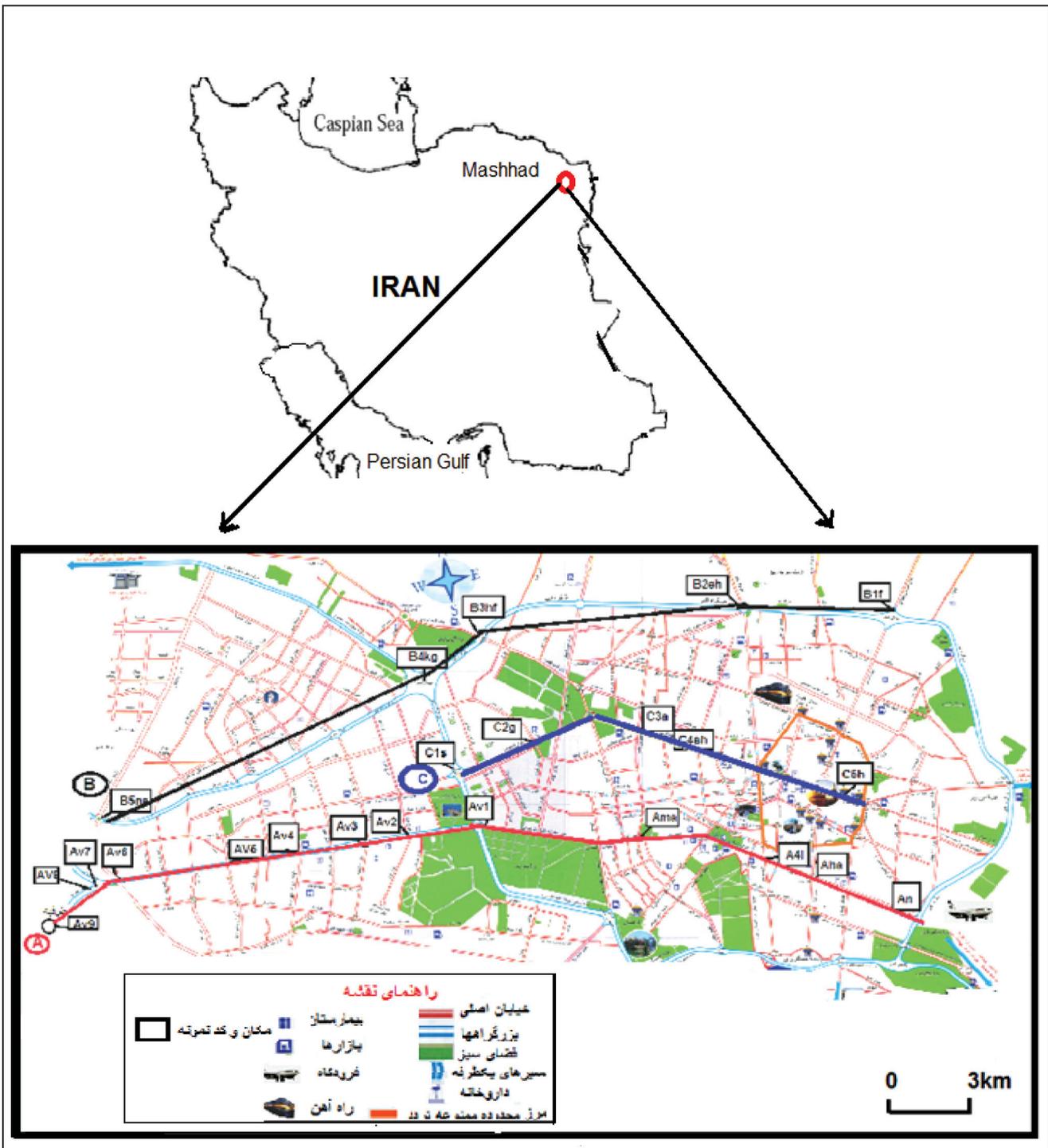
۶-۱. روند کلی گونه‌سازی فلزات در نمونه‌های خاک مورد مطالعه

نتایج حاصل از انجام تجزیه استخراج ترتیبی نشان می‌دهد که عناصر Ni، Cu و Cr در بیشتر نمونه‌ها بیشتر با فاز باقیمانده همراه هستند. در حالی که Zn و Pb بیشتر با فازهای غیر باقیمانده همراه هستند. این امر نشانگر منشأ بیشتر طبیعی Cr و Cu و منشأ بیشتر انسان‌زاد Zn و Pb است؛ زیرا فلزات دارای منشأ طبیعی بیشتر در ساختار کانی‌های خاک و در ماتریس کانیایی (فاز باقیمانده یا تخریبی) حضور دارند، در حالی که فلزات دارای منشأ انسان‌زاد در فازهای قابل استخراج (شامل فازهای تبادل پذیر، کربنات، اکسید، ماده آلی و سولفید و به‌طور کلی فازهای غیر باقیمانده حضور می‌یابند (Forghani et al., 2009). بخش باقیمانده در اصل بیشتر مربوط به بخش سیلیکاتی خاک است و بنابراین نامتحرک در نظر گرفته می‌شود.

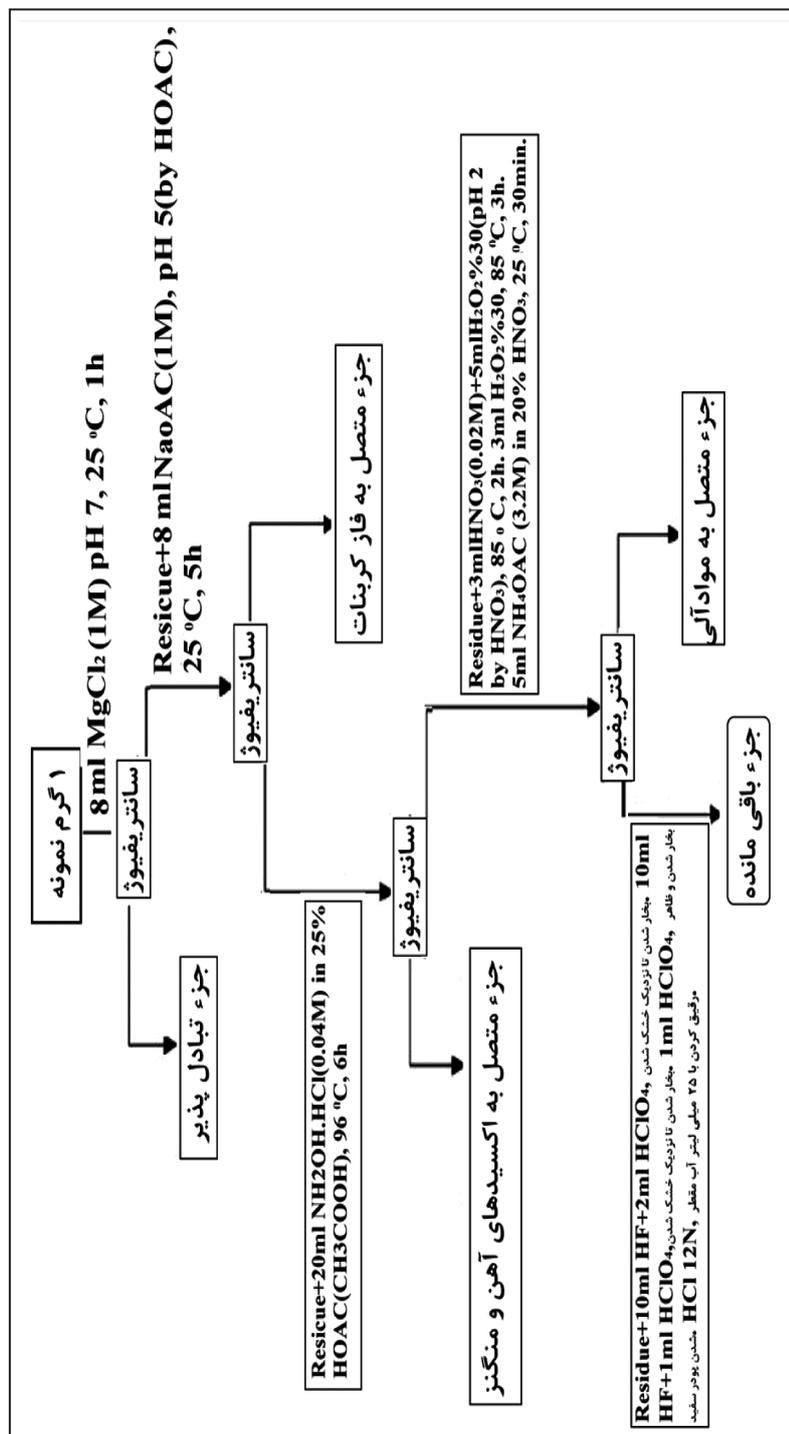
شکل ۳ توزیع فلزات در فازهای مختلف ژئوشیمیایی در برخی نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

زیادی سرب به جو می‌شود که در مقایسه با مرکز شهر بیشتر است. سایش ترمز، خوردگی وسایل نقلیه و پمپ روغن خودرو از منابع اصلی ورود نیکل به هواست. این نتایج نشان می‌دهد که انتشار فلزات سنگین در درجه اول به منابع ترافیک و ویژگی‌های آن از جمله تعداد وسایل نقلیه، نوع و سرعت وسایل نقلیه وابسته است. انجام تجزیه استخراج ترتیبی منشأ بیشتر طبیعی را برای کروم و مس و منشأ انسانی را برای سرب، روی و تا حدی نیکل نشان داد.

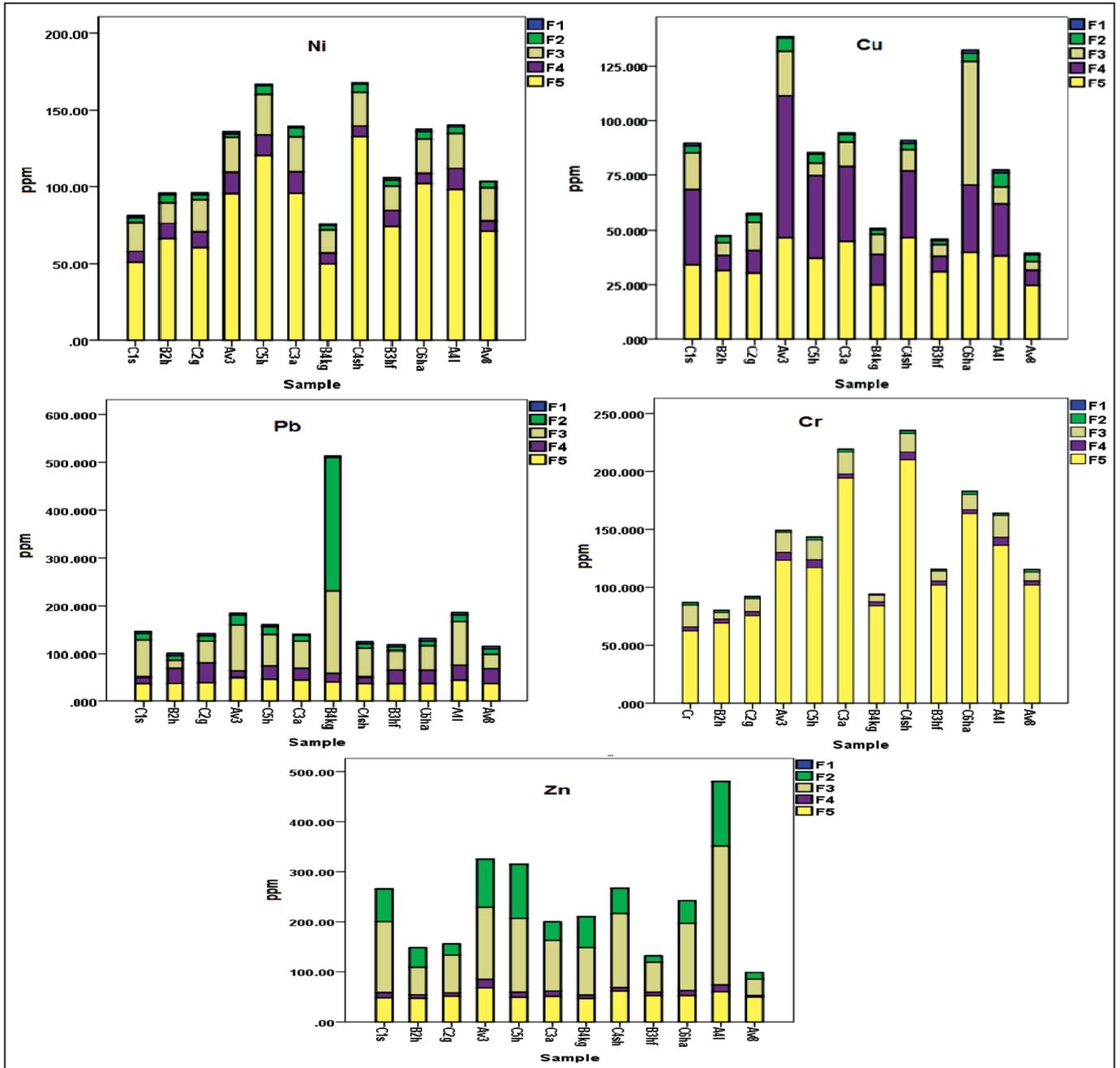
وسایل نقلیه و سایدگی و پارگی لاستیک ناشی می‌شود. همچنین سایش لاستیک خودروها مقدار زیادی عنصر روی وارد محیط می‌کند. بالاترین غلظت مس در محدوده میدان یا چهارراه‌ها است که به دلیل وجود ترمزهای مکرر است. در مناطقی که چراغ راهنمایی وجود دارد غلظت بالایی از مس و سرب وجود دارد که بیشتر به دلیل توقف وسایل نقلیه در حال انتظار است. افزایش آلاینده‌های ناشی از وسایل نقلیه سنگین مانند کامیون که برای حمل و نقل صنعتی استفاده می‌شود سبب ورود حجم



شکل ۱- موقعیت برداشت نمونه‌ها در سه مسیر اصلی: مسیر A، مسیر B و مسیر C.



شکل ۲- مراحل، مواد شیمیایی و شرایط استخراج ترتیبی به روش (Tessier et al., 1979).



شکل ۳- توزیع فلزات در فازهای مختلف ژئوشیمیایی در نمونه‌های مورد مطالعه.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک شهر مشهد (تیر و شهریور ۱۳۹۱).

No	Sample	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Pb(mg/l)	Zn(mg/l)	Cr(mg/l)	Fe(%)	
1	میدان آزادی	Av1	66.3	140.4	118.9	255.8	55.9	2.24
2	ابتدای بلوار آزادشهر	Av2	65.2	99.1	84.2	217.2	36.6	2.08
3	ابتدای بلوار سیدرضی	Av3	99.8	111.5	162.6	359.2	55.3	2.02
4	ابتدای بلوار دانشجو	Av4	100	104	126.2	366.5	74.7	2.28
5	ابتدای بلوار صیاد	Av5	98.5	93.1	117.6	267.4	58.2	1.66
6	ابتدای بلوار نمایشگاه	Av6	67.9	129.8	117.9	189.6	77.2	2.28
7	سهرای طریقه شاندیز	Av7	56.7	130	104.2	443	50.6	2.52
8	اطراف بند گلستان	Av8	39.3	86.8	46.1	103.9	43.3	2.19
9	میدان طریقه	Av9	75.7	121.9	139.7	219	51.2	2.50
10	میدان احمدآباد	Ama	62.4	97.3	74.5	225.5	37.4	1.67
11	چهارراه لشگر	A4l	80.9	118.8	117.3	506.1	50.5	1.99
12	پایانه نخریسی	Ana	76.4	112	96.1	249.5	40	2.14
13	میدان بسیج	Aha	75.3	119.6	88.8	255.6	60.8	2.10
14	میدان فجر	B1f	49.4	84.1	95.5	159.3	29.4	1.70
15	میدان امام حسین	B2eh	37.3	75.8	59.6	124.3	24.6	1.99
16	میدان فهمیده	B3hf	38.2	82.6	66	123.2	28.1	1.78
17	میدان قائم	B4kg	48.4	84.1	927	298.1	31.4	1.90
18	میدان نمایشگاه	B5na	44.3	79.9	58.3	154.3	32.5	2.18
19	میدان استقلال	C1s	107.5	107.5	131	358.5	50.4	2.50
20	میدان جانباز	C2g	53.3	86.4	81.6	166.4	30.3	2.04
21	چهارراه ابوطالب	C3a	67	91	78.3	179.3	46.9	2.13
22	میدان شهدا	C4sh	79.6	121.4	85.2	269.3	55.9	2.31
23	زیرگذر حرم	C5h	82.9	146.5	85.3	358.9	68.4	2.18

جدول ۲- غلظت عناصر در پوسته (Taylor, 1964) و خاک‌های طبیعی (USEPA).

Metal	Natural Soils	Crust
Cu(mg/l)	30	55
Ni(mg/l)	40	75
Pb(mg/l)	10	12.5
Zn(mg/l)	50	70
Cr(mg/l)	100	100

جدول ۳- میانگین غلظت فلزات سنگین موجود در غبارهای خیابانی مشهد و دیگر نقاط (ppm).

منابع	فلزات سنگین					شهر
	کروم	نیکل	روی	سرب	مس	
	۴۷/۳۷۳	۱۰۵/۳۷۳	۲۵۴/۳۴	۱۳۳/۱۲	۶۸/۳۶	مشهد (این مطالعه)
(سلمانزاده و همکاران، ۱۳۹۰)	۳۳/۳	۳۴/۵۱	۸۶۳/۶	۲۵۴/۴	۲۲۲	تهران
(Jiries, 2003)	۱۸/۳۳	۱۶/۲۷	۴۱۰	۹۷۶	۲۴۹/۶	عمان (اردن)
(Charlesworth et al., 2003)	-----	۴۱/۱	۵۳۴	۴۸	۴۶۶/۹	بیرمنگام (انگلستان)
(Ramlan & Badri, 1989)	-----	-----	۳۴۴	۲۶۶	۳۵/۵	کوالالمپور (مالزی)
(Schwar et al., 1988)	-----	-----	۶۸۰	۱۰۳۰	۱۵۵	لندن (انگلستان)
(Manasreh, 2010)	-----	۱/۷	۱۳۲	۱۴۳	۶۹۰	موتاه (اردن)
(De Miguel et al., 1997)	۶۱	۴۴	۴۷۶	۱۹۲۷	۱۸۸	مادرید (اسپانیا)
(Rasmussen et al, 2001)	۵۹	۱۹	۱۸۴	۶۸	۱۸۸	اتاوا (کانادا)
(Christoforidis & Stamatis, 2009)	۳۵۴/۸	۲۳۲/۴	۶۷/۹	۳۸۶/۹	۱۷۲/۴	کاولا (یونان)
(Taylor, 1964)	۱۰۰	۷۵	۷۰	۱۲/۵	۵۵	میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین

جدول ۴- بیشینه و کمینه شاخص زمین‌انباشت در نمونه‌ها.

I_{geo}	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr
Minimum	-1.145 (B2eh)	-0.569 (B2eh)	1.636 (B5na)	-0.015 (Av8)	0.048 (B2eh)
Maximum	0.381 (C1s)	0.319 (Av1)	5.627 (B4kg)	2.269 (A4I)	0.514 (Av1)

جدول ۵- بیشینه، کمینه و میانگین شاخص آلودگی در نمونه‌ها.

PI	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr
Minimum	0.678 (B2eh)	1.010 (B2eh)	3.688 (Av8)	1.484 (Av8)	0.246 (B2eh)
Maximum	1.954 (C1s)	1.953 (C5H)	74.16 (B4kg)	7.23 (A4I)	0.772 (Av6)
Mean (IPI)	1.242	1.273	10.243	3.633	0.473

جدول ۶- ماتریس همبستگی میان عناصر مورد مطالعه.

Metal	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Fe
Cu	1					
Ni	0.458	1				
Pb	0.628	0.305	1			
Zn	0.736	0.48	0.712	1		
Cr	0.742	0.793	0.487	0.590	1	
Fe	0.291	0.595	0.222	0.238	0.488	1

جدول ۷- گروه‌های مختلف محدوده تغییرات ضریب غنی‌سازی (EF).

میزان غنی‌شدگی	مقادیر EF
غنی‌شدگی کم	$EF < 2$
غنی‌شدگی متوسط	$2 \leq EF < 5$
غنی‌شدگی زیاد	$5 < EF < 20$
غنی‌شدگی خیلی زیاد	$20 \leq EF < 40$
غنی‌شدگی به شدت زیاد	$EF \geq 40$

کتابنگاری

الیاسیان کلات، م.، ۱۳۸۹- آلودگی‌های زیست محیطی شهر مشهد و راهکارهای کاهش آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد.
 امامی حیدری، ح. و آدینه‌وند، م.، ۱۳۹۰- روش استخراج متوالی در جداسازی فلزات سنگین؛ کاربردها و محدودیت‌ها. سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 سلمان‌زاده، س.، سعیدی، م. و نبی‌بیدهندی غ.، ۱۳۹۰- آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی آنها. مجله محیط‌شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۶۱، بهار ۹۱، ص ۹۱-۹۸.

شکوهیان، م. و قاضی‌نژاد، م.، ۱۳۸۹- ترافیک و نقش آن در آلودگی محیط زیست. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، دانشگاه فردوسی مشهد.
 قشلاقی، ا. و فرقانی، گ.، ۱۳۹۰- کمی‌سازی تأثیر آلودگی رسوبات بر غلظت فلزات سنگین در آب‌های رودخانه‌ای با استفاده از روش استخراج ترتیبی و محاسبه ضریب توزیع (مطالعه موردی رودخانه الله‌لوچای، منطقه معدنی انگوران، جنوب غربی زنجان). دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران.
 کرباسی، ع.، معطر، ف.، منوری، م. و مسیبی، س.، ۱۳۸۸- تأثیر آلودگی هوا بر غلظت عناصر سنگین در خاک پارک ملت. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره چهار، زمستان ۸۸، ص ۵۱-۶۳.

References

- Charlesworth, S. M., Everett, M., McCarthy, R., Ordonez, A. & De Miguel, E., 2003- A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environment International*, Vol. 29, Pp. 563-573.
- Christoforidis, A. & Stamatis, N., 2009- Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region. *Greece Geoderma*, 151, pp. 257-263.
- De Miguel, E., Llamas, J., Chacon, E., Berg, T., Larssen, T. & Royset, O., 1997- Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: Unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, Vol. 31, No. 17, Pp. 2733-2740.
- Duong, T. & Kyu Li., K. 2010- Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. Revised 9 August 2010. Accepted 6 September 2010. Available online 9 October 2010.
- Elik, A., 2003- Heavy metal accumulation in street dust samples in Sivas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34, 145-156.
- Ergin, M., Saydam, C., Basturk, O., Erdem, E. & Yoruk, R., 1991- Heavy metal concentrations in surface sediments from the two coastal inlets (Golden Horn Estuary and Izmit Bay) of the northeastern Sea of Marmara. *Chemical Geology*, Vol. 91, pp. 269-285.
- Faiz, Y., Tufail, M., Tayyeb Javed, M., Chaudhry, M. M. & Siddique, N., 2009- Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Pakistan Institute of Engineering and Applied Sciences, Microchemical Journal* 92, pp. 186-192.
- Forghani, G., Moore, F., Lee, S. & Qishlaqi, A., 2009- Geochemistry and speciation of metals in sediments of the Maharlu Saline Lake. *Environmen. Earth. Science*, Vol.59, pp.173-184.
- Han, F. X., Banin, A. & Triplett, G. B., 2001- Redistribution of heavy metals in arid-zone soils under a wetting-drying soil moisture regime. *Soil Science*. 166: 18-28.
- Jiries, A., 2003- Vehicular Contamination of Dust in Amman, Jordan. *The Environmentalist*, Vol. 23, Pp. 205-210.
- Li, X., Poon, C. S. & Liu, P. S., 2001- Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong, *Applied Geochemistry* 16, pp. 1361-1368.
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D & Kwapuliński, J., 1997- Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air, and Soil Pollution* January 1997, Volume 93, Issue 1-4, pp 347-365.
- Lu, X., Wanga, L., Lei, K., Huang, J. & Zhai, Y., 2009- Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NWChina. *Journal of Hazardous Materials* 161, pp. 1058-1062.
- Manasreh, W. A., 2010- Assessment of trace metals in street dust of mutah city, Kurak, Jordan. *Carpatian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol.5, No.1, Pp. 5-12.
- Muller, G., 1969- Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Journal of Geology*, vol. 2, pp. 109-118.
- Page, A. L., Miller, R. H. & Keeney, D. R., 1982- "Methods of soil analysis", Madison, Wisconsin, USA.
- Ramlan, M. N. & Badri, M. A., 1989- Heavy metals in tropical city street dust and road side soils: a case of Kuala Lumpur. *Malaysia Environmental Technology Letters*, Vol. 10, Pp. 435-444.
- Rasmussen, P. E., Subramanian, K. S. & Jessiman, B. J., 2001- A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa. Canada. *The Science of the Total Environment*, Vol. 267, Pp. 125-140.
- Schwar, M. J. R., Moorcroft, J. S., Laxen, D. P. H., Thompson, M. & Armorgie, C., 1988- Baseline metal in dust concentrations in Greater London. *The Science of the Total Environment*, Vol. 68, Pp. 25-43.
- Singh, J. P., Karwasra, S. P. S. & Singh, M., 1988- Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. *Soil Science* 146: 359-366.
- Taylor, S. R., 1964- Abundance of chemical elements in the continental crust. Australian National University, Canberra *Geochimicuet Cosmochimic Acta* 1964, Vol. 28, pp. 1273 to 1285.
- Tessier, A., Campbell, P. G. C. & Bisson, M., 1979- Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, Vol. 51, pp. 844.
- Thorpe, A. & Harrison, R. M., 2008- Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review *Science Total Environmental*, 400 (1-3), pp. 270-282.
- USEPA- Office of Solid Waste and Emergency Response, Hazardous Waste Land Treatment SW-874 (April 1983), page 273.
- Wei, Zh., Bo, B. & Lei., L., 2008- Heavy metal contamination of road-deposited sediments in a medium size city of China *Environ. Monit. Ass*, 147, pp. 171-18.

Determination of Heavy Metals Pollution in Traffic Dust of Mashhad City, and its Origin by Using “Selective Sequential Extraction” (SSE) Procedure

F. Behravesht¹, M. H. Mahmudy Gharai^{2*}, F. Ghassemzadeh³ & S. Avaz Moghaddam⁴

¹ M. Sc. Student, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Assistant Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Professor, Department of Biology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴ Assistant Professor, Islamic Azad University Eslamshahr Branch, Eslamshahr, Iran

Received: 2013 August 20

Accepted: 2014 January 18

Abstract

Traffic dust often contains high concentrations of heavy metals and can influence on environment and human health. In this study, we tried to measure heavy metals in street dusts and soil in the city of Mashhad and sample collections were carried out at the time and location of high traffic. For the purpose of this study, twenty three samples were collected from three main paths that cover the entire city and total concentrations of five heavy metals (Ni, Zn, Pb, Cr, and Cu) were measured. The index of geo-accumulation (Igeo), Pollution index (PI) and integrated pollution index (IPI) were also calculated for the contamination levels of the metals in the city of Mashhad. The pollution index represent that all samples are highly polluted by Pb (3.688-74.16) and most of the samples are highly polluted by Zn (1.484-7.23). However, Cu (0.678-1.945) and Ni show medium level of pollution in the samples (1.01-1.935). Chromium in all samples show low levels of contamination (0.246-0.772). Possible sources of the pollutants were assessed using Pearson correlation and principal components analysis. The results of this analysis show high concentrations of metals such as lead, copper, zinc and nickel in the soil samples as compared to UCC (Upper Continental Crust). There is a positive correlation between heavy metals of zinc and copper as well as lead and zinc, which indicate the source of these metals, can be fuels as well as powder of shoe brake of vehicles. The results of the sequential extraction procedure also imply that the elements of Ni, Zn and Pb has occurred in unstable phases (F1+F2+F3+F4), indicating their human origin. But the elements such as Cr and Cu are mainly on stable phases (F5), which represents natural origin for these two elements.

Keywords: Heavy metals, Environment, Street dust, Sequential extraction, Mashhad.

For Persian Version see pages 141 to 150

*Corresponding author: M. H. Mahmudy Gharai; E-mail: mhmgharaie@um.ac.ir