

محیط شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۶۱، بهار ۹۱، صفحه ۹-۱۸

آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته نشین شده خیابانی شهر تهران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی آنها

مهديه سلمانزاده^۱، محسن سعیدی^{۲*}، غلامرضا نبی بیدهندی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران m_salmanzadeh@civileng.iust.ac.ir

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

Ghhendi@ut.ac.ir

۳- استاد گروه مهندسی محیط زیست دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۹

چکیده

غبارها، ترکیبات ذره‌ای معلق در هوا هستند که از منابع مختلف زمینی و انسان‌ساز به وجود می‌آیند که پس از گذشت زمان با توجه به اندازه و چگالی‌شان مجدداً روی سطوح فرو می‌نشینند. ۴۹ نمونه از غبارهای خیابانی از کناره چند خیابان اصلی از شرق و پایانه مسافربری جنوب تهران و یک نمونه از محوطه درون دانشگاه علم و صنعت ایران در فصل تابستان و در شرایط آب و هوایی خشک جمع‌آوری و غلظت فلزات آهن، منگنز، روی، سرب، نیکل، کروم، مس، لیتیم و کادمیم در آنها اندازه‌گیری شد. منابع احتمالی آلاینده‌ها با استفاده از تحلیل همبستگی، تحلیل خوشه‌ای، ضریب همبستگی پیرسون و تحلیل اجزای اصلی شناسایی، همچنین با استفاده از ضریب غنی‌سازی آثار احتمالی فعالیت‌های انسانی بر غلظت فلزات سنگین ارزیابی شد. نتایج، غلظت‌های بالای فلزات کادمیم، سرب، مس، روی، آهن، کروم و نیکل را نسبت به میانگین غلظت این فلزات در پوسته زمین نشان داد. بیشترین غلظت فلزات مس، سرب، کروم، نیکل، روی و آهن مربوط به بزرگراه باقری است که یکی از پرترددترین بزرگراه‌های تهران است. تحلیل نتایج نشان داد آلودگی می‌تواند ناشی از فعالیت‌های مختلف انسانی از جمله ترافیک سنگین خودروها، احتراق سوخت‌های فسیلی، مواد افزودنی به سوخت خودروها، خوردگی سطوح فلزی اتومبیل‌ها و خوردگی مصالح ساختمانی باشد. مقادیر ضریب غنی‌سازی فلزات مس، کادمیم، سرب و روی، غنی‌شدگی شدت زیاد و منشاء انسانی این عناصر نشان داد. محاسبات مربوط به ریسک اکولوژیکی نیز با استفاده از روش هاکانسون انجام گرفت. تمامی نقاط مورد مطالعه ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد را نشان می‌دهند.

کلیدواژه

غبارهای خیابانی، فلزات سنگین، ریسک اکولوژیکی، ضریب غنی‌سازی، تهران

سرآغاز

اختلاف نظر وجود دارد، اما بیان می‌شود منبع اصلی آنها بیابان‌های کشورهای مجاور است. به هر حال مقادیر چشمگیری از آنها به شکل غبار روی سطوح مناطق شهری فرونشین می‌شوند. احتراق سوخت‌های فسیلی نیز مقادیری از فلزات سنگین نیکل، کروم، سرب و منگنز را تولید می‌کنند، این آلاینده‌ها خاصیت تجمع‌پذیری و سرطان‌زایی دارند و می‌توانند مشکلات متعدد بهداشتی و زیست محیطی ایجاد کنند. همچنین قرارگیری در معرض آنها می‌تواند کم‌هوشی، مشکلات کلیوی و در برخی موارد، قرارگیری طولانی مدت، مرگ را به همراه داشته باشد (Jiries, 2003). غبارهای خیابانی حاوی فلزات سنگین نیز می‌توانند از طریق دست و دهان وارد بدن کودکان شوند (Watt, et al., 1993). امروزه مطالعات زیادی در مورد غلظت و پراکندگی فلزات سنگین انجام شده‌است که

رشد جمعیت، صنایع و وسایل نقلیه، میزان آلودگی در شهرها، بخصوص شهرهای بزرگ را افزایش داده است. بنابراین اخیراً ارزیابی کیفیت غبارهای خیابانی به عنوان یکی از منابع آلودگی مورد توجه قرار گرفته است (Jiries, 2003; Al-Khashman, 2007). فلزات سنگین موجود در غبارهای خیابانی یکی از اصلی‌ترین آلاینده‌های محیط‌های شهری هستند که می‌توانند ناشی از ترافیک سنگین، صنایع، فرسایش ساختمان‌ها، فرسایش لاستیک و قطعات استفاده شده در خودروها، فعالیت‌های معدنی و احتراق سوخت‌های فسیلی باشند (Manasreh, 2010). طی چند سال گذشته مقادیر زیادی غبارهای جوئی از طریق مرزهای کشور نیز وارد فضای شهرهایی نظیر تهران شده‌اند. اگرچه در مورد منشاء دقیق آنها

غبارهای خیابانی شهر تهران برای شناسایی منابع تولید و میزان ریسک اکولوژیکی ناشی از این آلاینده‌ها اندازه‌گیری شده و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه و روش کار

تهران یکی از قدیمی‌ترین شهرهای ایران و پایتخت این کشور است. مساحت این شهر ۷۳۰ کیلومترمربع، دارای جمعیتی بالغ بر ۸,۷۹۱,۰۰۰ نفر و تراکم جمعیت در آن بیش از یازده هزار نفر در هر کیلومترمربع است، بنابراین یکی از شهرهای پرتراکم جهان محسوب می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۹).

در سالهای اخیر ساکنان و در نتیجه صنایع و خودروهای موجود در این شهر به طرز چشمگیری افزایش یافته است، به طوری که امروزه تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان شناخته شده است. آب و هوای تهران گرم و خشک و بارندگی معمولاً در فصول پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد به این دلیل نمونه‌گیری در فصل خشک تابستان و در ماه مرداد که کمترین میزان بارندگی وجود دارد، انجام گرفت. پراکندگی نمونه‌برداری بدین شرح است:

۱۰ نمونه از هر کدام از خیابان‌های رسالت، هنگام و بزرگراه باقری، ۵ نمونه از خیابان استقلال واقع در شرق تهران، ۱۴ نمونه از پایانه مسافربری جنوب و ۱ نمونه از دانشگاه علم و صنعت ایران. نمونه‌گیری از خیابان‌ها و پایانه مسافربری به منظور تأکید بیشتر بر خودروها و ترافیک سنگین به عنوان یکی از مهمترین منابع آلاینده محیط زیست انجام گرفت (شکل شماره ۱).

نمونه‌برداری با استفاده از جاروب و مکندۀ از کناره جداول در دو طرف خیابان‌ها و کناره جداول و دیوارهای پایانه مسافربری جنوب انجام شده، سپس نمونه‌ها در کیسه‌های مخصوص نگهداری و در دمای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اطمینان از عدم بروز خطاهای اندازه‌گیری و محاسبه غلظت‌ها و بر اساس روش معمول این مطالعات، نمونه‌ها در دمای اتاق (کمتر از ۴۰ درجه سانتیگراد) تا رسیدن به وزن ثابت خشک، انجام گرفت، سپس از مجموعه الک‌های نمره ۱۰، ۳۵، ۶۰ و ۲۳۰ عبور داده شدند. نتایج دانه‌بندی چند نمونه در جدول شماره (۱) نمایش داده شده است. ذرات با قطر کوچکتر از ۶۳ میکرون (اندازه قطر حفره الک نمره ۲۳۰) که به آسانی معلق و در هوا پخش می‌شوند و احتمال ورودشان به سیستم تنفسی و ایجاد خطر برای سلامتی انسان بیشتر است (Zhou, et al., 2003)، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

تعداد زیادی از این مطالعات مربوط به کشورهای توسعه یافته است. در ترکیه Sezgin و همکارانش با انتخاب یکی از بزرگراههای این کشور اقدام به نمونه‌برداری از خاک و غبارهای خیابانی کردند. نمونه‌برداری از دو طرف بزرگراه و تونل موجود انجام گرفت. نتایج تحلیل نشان داد که میانگین غلظت سرب در غبارهای خیابانی ۹ تا ۱۱ برابر بزرگتر از غلظت آن در خاک است. در مورد مس و کادمیم، میانگین غلظت این آلاینده در غبارهای خیابانی دو برابر غلظت آنها در خاک است. این عدد در مورد روی نیز ۹ تا ۱۲ برابر است.

نیکل نیز غلظتی بالاتر از غلظت موجود در خاک را نشان می‌دهد. در ادامه، منابع انتشار این فلزات به صنایع و ترافیک خودروها ربط داده می‌شود (Sezgin, et al., 2003). مطالعه دیگری در لبنان توسط Jiries برای بررسی غلظت فلزات سنگین موجود در غبارهای خیابانی صورت گرفت. در این مطالعه مناطق نمونه‌گیری به ۴ منطقه مرکز شهر، تونل‌ها، پارکینگ‌های سرپشته خودروها و محل‌های مسکونی تقسیم شدند. بیشترین مقدار فلزات سنگین در تونل‌ها و کمترین غلظت در مناطق مسکونی موجود است. سپس با تحلیل نتایج به دست آمده مشاهده شد که همبستگی زیادی بین سرب و کادمیم وجود دارد. بنابراین می‌توان گفت این آلاینده‌ها منبع انتشار مشترک دارند (Jiries, 2003).

در پاره‌ای از مطالعات نیز به بررسی منابع انتشار فلزات سنگین در خاک و غبارهای خیابانی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای^۱ و تحلیل اجزای اصلی^۲ (PCA) پرداخته شده است. در سال ۱۹۹۷ De Miguel و همکارانش با استفاده از تحلیل خوشه‌ای روش وارد^۳ و تحلیل اجزای اصلی دوبعدی، سه منبع ترافیک خودروها، ساختمان‌سازی و منابع طبیعی را از عوامل انتشار ۲۵ نوع فلز کمیاب^۴ در غبارهای خیابانی در اسلو و مادرید دانستند (De Ordonez, Miguel, et al., 1997) و همکارانش منبع انتشار ۲۷ فلز مختلف را در نمونه غبارهای مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تحلیل خوشه‌ای، منابع انسانی، منابع طبیعی، و یا ترکیبی از این دو تشخیص دادند (Ordonez, et al., 2003).

با توجه به افزایش شدت آلودگی هوا و ذرات معلق در سالهای اخیر در تهران، همچنین ورود توده‌های بزرگ غبار در دو سال گذشته و آثار سوء غبارهای آلوده بر سلامت شهروندان، بهداشت و محیط زیست، لزوم بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در این شهر پرجمعیت احساس می‌شود. در مطالعه حاضر غلظت فلزات مس، کادمیم، کروم، نیکل، منگنز، روی، آهن، لیتیم و سرب موجود در

(210VGP) اندازه گیری شد. برای تمامی تحلیل ها نمونه های شاهد و به ازای هر ۱۰ نمونه یک نمونه بدل^۶ به همراه نمونه ها، هضم اسیدی و تحلیل شد.

میزان خطای آزمایش ها کمتر از ۶٪ بود. از تحلیل خوشه ای و تحلیل اجزای اصلی با استفاده از نرم افزارهای MVSP و SPSS 18.0 برای شناسایی منابع احتمالی فلزات در غبارهای خیابانی و از ضریب غنی سازی^۷ برای بررسی آثار احتمالی فعالیت های انسانی بر غلظت آنها استفاده شد (Wei, et al., 2010). ضریب غنی سازی یک فلز با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$EF = \frac{\left[\frac{C_x}{C_{ref}}\right]_{\text{sample}}}{\left[\frac{C_x}{C_{ref}}\right]_{\text{background}}} \quad (1)$$

که در معادله (۱) $\left[\frac{C_x}{C_{ref}}\right]_{\text{sample}}$ نسبت غلظت فلز مورد

نظر به فلز مبنا در نمونه مورد مطالعه و $\left[\frac{C_x}{C_{ref}}\right]_{\text{background}}$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا به عنوان مقادیر زمینه است. پنج گروه مختلف از مقادیر EF برای تحلیل مقادیر به دست آمده تعریف می شود که در جدول شماره (۲) نشان داده شدند (Yongming, et al., 2006).

جدول شماره (۲): گروه های مختلف محدوده تغییرات

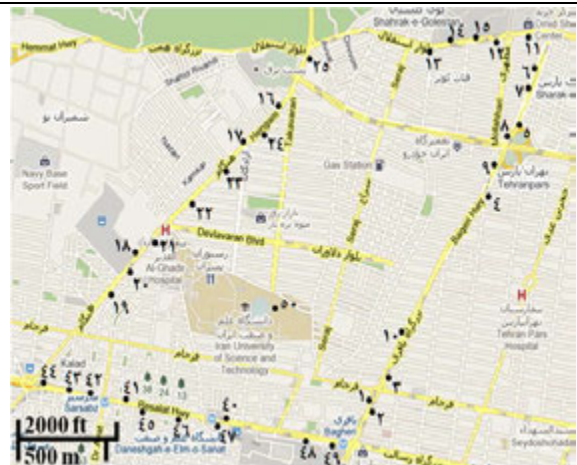
ضریب غنی سازی (EF)	
میزان غنی شدگی	مقادیر EF
غنی شدگی کم	$EF < 2$
غنی شدگی متوسط	$2 \leq EF < 5$
غنی شدگی زیاد	$5 \leq EF < 20$
غنی شدگی خیلی زیاد	$20 \leq EF < 40$
غنی شدگی بشدت زیاد	$EF \geq 40$

برای به دست آوردن ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین از رابطه زیر استفاده شد (Hakanson, 1980):

$$C_f = C_s / C_n$$

$$E_r = T_r \times C_f \quad (2)$$

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



شکل شماره (۱): ۵۰ نقطه نمونه گیری (منبع: شهرداری تهران)

جدول شماره (۱): درصد جرمی ذرات در اندازه های مختلف

قطر ذرات (mm)	نمونه غبارهای و چند ایستگاه مورد مطالعه			
	۰-۰/۰۶۳	۰/۲۵-۰/۰۶۳	۰/۲۵-۰/۵	۰/۵-۲
شماره نمونه				
۱	٪ ۱۲/۵	٪ ۴۳/۰۷	٪ ۳۳/۰۷	٪ ۲۰/۶۴
۵	٪ ۱/۷۱	٪ ۲۱/۴۴	٪ ۳۹/۵۲	٪ ۳۴/۸۸
۹	٪ ۸/۵۱	٪ ۴۵/۳۸	٪ ۲۹/۷	٪ ۱۵/۸۹
۱۱	٪ ۱۰/۵۹	٪ ۶۲/۶۵	٪ ۱۹/۲۵	٪ ۷/۵۱
۲۱	٪ ۱۶/۸۲	٪ ۳۸/۱۸	٪ ۳۴/۴۷	٪ ۹/۸۷
۲۳	٪ ۹/۲۲	٪ ۳۰/۶۸	٪ ۲۰/۹۵	٪ ۳۸/۸۴
۲۶	٪ ۲/۵	٪ ۳۳/۴۲	٪ ۳۲/۲۴	٪ ۵۰/۴۲
۳۱	٪ ۷/۹۴	٪ ۷۱/۳۹	٪ ۱۵/۶۷	٪ ۴/۷۹
۳۳	٪ ۱۷/۸۹	٪ ۴۳/۳۳	٪ ۱۶/۶۷	٪ ۲۱/۲۵
۴۰	٪ ۴/۳۹	٪ ۵۱/۸۲	٪ ۳۸/۷۷	٪ ۱۴/۳۱
۴۴	٪ ۱۴/۳۹	٪ ۳۹/۳۹	٪ ۲۰/۷	٪ ۳۴/۳۵
۴۸	٪ ۱۰/۳	٪ ۳۳/۲۱	٪ ۲۶/۹۸	٪ ۲۸/۶۳

برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین، هضم اسیدی^۵ با استفاده از اسید کلریدریک، نیتریک و پرکلریک گرم انجام شد. غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی model

مقایسه‌ای بین غلظت فلزات سنگین مطالعات انجام شده در نقاط دیگر جهان با مقادیر به‌دست آمده از این تحقیق ارائه شد.

در مقایسه با سایر شهرها، بویژه شهرهای متعلق به کشورهای توسعه‌یافته، غلظت فلزات کادمیم، منگنز، روی، آهن و لیتیم مقادیر بیشتری را نشان می‌دهند. فلزات کادمیم و روی غلظت بسیار بالاتری را نسبت به باقی نقاط نشان می‌دهند که نگرانی را در مورد میزان بالای این آلاینده‌ها در غبارهای خیابانی تهران افزایش می‌دهد. سرب و مس نیز که از آلاینده‌های اصلی محیط زیست هستند به غیر از چند مورد، غلظت‌های بیش‌تری از دیگر نقاط جهان دارند. همچنین به جز نیکل، کروم و لیتیم باقی عناصر به میزان چشمگیری غلظت بیشتری از میانگین موجود در پوسته زمین دارند. در مورد این سه فلز نیز نمی‌توان گفت چون مقادیر کمتری نسبت به میانگین پوسته زمین دارند ناشی از طبیعت هستند زیرا با توجه به جدول، مقادیر این سه آلاینده در دیگر شهرها نیز کمتر از میانگین پوسته زمین هستند. با توجه به این که ایران در مقایسه با کشورهای چوچون کانادا، انگلیس و اسپانیا کشوری صنعتی محسوب نمی‌شود و در جدول شماره (۵) داده‌های شهرهای پرجمعیتی چون لندن نیز ارائه شده است، میزان بالای برخی از آلاینده‌ها در غبارهای خیابانی شهر تهران نگران کننده بوده و احتمالاً ناشی از منابع دیگری به غیر از منابع طبیعی‌اند. یکی از منابع انتشار را می‌توان سوخت مصرفی در خودروهای شهر تهران دانست که ممکن است با توجه به کیفیت نامناسب آن میزان آلاینده‌های خطرناک در تهران نسبت به شهرهای صنعتی و پرجمعیت جهان، مقادیر بیشتری را نشان دهند. خوردگی بدنه خودروها، سطوح فلزی مختلف در شهر و همچنین ذرات ریز لاستیک و لنت ترمز خودروها نیز از منابع ورود این فلزات به شکل ذره‌ای به محیط شهری‌اند.

شناسایی منابع احتمالی

ضریب غنی‌سازی (EF)

به منظور شناسایی منابع طبیعی، و یا غیر طبیعی آلاینده‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه از تحلیل‌های گوناگونی استفاده شد. از مقادیر EF می‌توان پی برد منابع انتشار فلزات سنگین، طبیعی است، یا انسانی. همان‌گونه که در فرمول مربوط به محاسبه EF نشان داده شد به مقداری به نام مقدار زمینه^۸ نیاز است. در مطالعات مختلف، مقادیر محاسبه شده فلزات سنگین از مطالعات پیشین را به‌عنوان مقدار زمینه انتخاب می‌کنند (Manasreh, 2010; Zheng, et al., 2010).

که در معادله (۲)، C_s غلظت فلز نمونه‌برداری شده و C_n مقادیر زمینه فلزات را نشان می‌دهد. E_f ریسک اکولوژیکی هر عنصر و RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد.

هاکانسون (1980) مقدار T_r را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین نام دارد به ترتیب برای کادمیم، مس، سرب، کروم و روی اعداد ۳۰، ۵، ۲ و ۱ ارائه داده است. برای تحلیل مقادیر به‌دست آمده چهار گروه مختلف تعریف می‌شود که در جدول شماره (۳) مشاهده می‌شوند.

جدول شماره (۳): گروههای محدوده تغییرات RI و

میزان ریسک اکولوژیکی

مقادیر RI	میزان ریسک اکولوژیکی
$RI < 150$	ریسک اکولوژیکی کم
$150 \leq RI < 300$	ریسک اکولوژیکی متوسط
$300 \leq RI < 600$	ریسک اکولوژیکی قابل توجه
$RI \geq 600$	ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد

نتایج و بحث

مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات مختلف در ۵۰ نمونه مورد مطالعه در جدول شماره (۴) ارائه شد.

جدول شماره (۴): مقادیر میانگین، حداقل، حداکثر غلظت و

انحراف معیار مواد مورد نظر (n=50)

عنصر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
مس	۲۲۲	۵۸/۵۹	۷۷۸/۳۱	۱۴۹/۵۳
کادمیم	۱۰/۷	۹/۹۳	۱۱/۰۶	۰/۲۵
سرب	۲۵۴/۴	۶۴/۶۸	۷۶۴/۹	۱۵۸/۲
کروم	۳۳/۳	۱۵/۲۲	۵۸/۰۵	۱۱/۲۹
نیکل	۳۴/۵	۱۲/۶۲	۷۲/۹۶	۱۵/۱
منگنز	۱۲۱۲/۲	۷۲۱/۵۶	۲۳۲۱/۶۶	۳۲۴/۲
روی	۸۶۳/۶	۳۹۹/۳۳	۱۹۳۵/۱۷	۲۸۰/۱۵
آهن (%)	۴/۷	۲/۶۶	۹/۶۴	۱/۲۷
لیتیم	۹/۳	۳/۴۵	۱۶/۸۳	۲/۷۹

بیشترین غلظت فلزات مس، سرب، کروم، نیکل، روی و آهن مربوط به نقاط نمونه‌گیری موجود در بزرگراه باقری است که یکی از پر ترددترین بزرگراههای تهران محسوب می‌شود. با توجه به نکته ذکر شده می‌توان گفت منشاء احتمالی این فلزات منابع مربوط به تردد زیاد خودروهاست اما کادمیم، منگنز و لیتیم منبع انتشار متفاوتی دارند.

برای بررسی این که غلظت آلاینده‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه مقادیر زیادی را نشان می‌دهد یا خیر، در جدول شماره (۵)

جدول شماره (۵) : میانگین غلظت فلزات سنگین موجود در غبارهای خیابانی تهران و دیگر نقاط جهان (ppm)

لیتیم	آهن	روی	منگنز	کروم	نیکل	سرب	کادمیم	مس	قطر ذرات (μm)	فلزات سنگین شهر
۹/۳	۴۷۷۶۳/۷	۸۶۳/۶	۱۲۱۲/۲	۳۳/۳	۳۴/۵۱	۲۵۴/۴	۱۰	۲۲۲	< ۶۳	تهران (این مطالعه)
۱/۷۲	۵۳۷۰/۶	۴۱۰	۱۴۴/۶	۱۸/۳۳	۱۶/۲۷	۹۷۶	۱/۱	۲۴۹/۶	< ۲۰۰	عمان (اردن) (Jiries 2003)
		۵۳۴			۴۱/۱	۴۸	۱/۶	۴۶۶/۹	< ۶۳	بیرمنگام (انگلستان) (Charlesworth, et al. 2003)
	۱۷۹۰	۳۴۴	۱۵۳			۲۴۶۶	۲/۹	۳۵/۵	< ۶۳	کوالالمپور (مالزی) (Ramlan and Badri 1989)
	۲۶۰۰۰	۶۸۰				۱۰۳۰	۳/۵	۱۵۵	< ۵۰۰	لندن (انگلستان) (Schwar, et al. 1998)
	۵۳۶۲	۱۳۲	۱۳۶		۱/۷	۱۴۳	۱/۳	۶۹	< ۶۳	موتاه (اردن) (Manasreh 2010)
	۱۹۳۰۰	۴۷۶	۳۶۲	۶۱	۴۴	۱۹۲۷		۱۸۸	< ۱۰۰	مادرید (اسپانیا) (De Miguel, et al. 1997)
۹	۲۵۶۶۰	۱۸۴	۵۳۴	۵۹	۱۹	۶۸	۰/۶	۱۸۸	۱۰۰ - ۲۵۰	اتاوا (کانادا) (Rasmussen, et al. 2000)
		۳۵۴/۸		۲۳۲/۴	۶۷/۹	۳۸۶/۹	۰/۲	۱۷۲/۴	< ۶۳	کاوالا (یونان) (Christoforidis and Stamatis 2009)
۲۰	۴۱۰۰۰	۷۵	۹۵۰	۱۰۰	۸۰	۱۴	۰/۲	۵۰	-----	میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین (Karbassi, et al. 2005) & Niencheski, et al. (2002)

(2010)، از مقادیر میانگین موجود در پوسته زمین به‌عنوان غلظت زمینه فلزات استفاده شد.

با توجه به رابطه (۱) افزون بر مقادیر زمینه به مقادیری به‌عنوان فلز مبنای نیاز است. معمولاً فلزی را به‌عنوان فلز مبنای انتخاب می‌کنند که کمترین ضریب همبستگی را با دیگر فلزات سنگین داشته و به‌طور عمده ناشی از منابع طبیعی باشد. در این مطالعه نیز به منظور انتخاب فلز مبنای در محاسبات مربوط به ضریب غنی‌سازی، ضرایب همبستگی فلزات سنگین با یکدیگر محاسبه و در جدول شماره (۶) نشان داده شدند. ضرایب همبستگی موجود در این جدول، ضرایب پیرسون^۱ هستند.

جدول شماره (۶) : مقادیر ضریب همبستگی فلزات سنگین با یکدیگر

لیتیم	آهن	روی	منگنز	نیکل	کروم	سرب	کادمیم	مس
								۱/۰۰۰
کادمیم							۱/۰۰۰	-۰/۱۲۶
سرب						۱/۰۰۰	-۰/۲۶۲	۰/۷۸۵
کروم					۱/۰۰۰	۰/۶۷۷	-۰/۳۱۲	۰/۶۵۸
نیکل				۱/۰۰۰	۰/۷۸۸	-۰/۵۳۶	-۰/۳۵۳	۰/۶۴۸
منگنز			۱/۰۰۰	-۰/۴۰۴	-۰/۲۶۲	-۰/۱۵۸	۰/۲۱۲	-۰/۲۳۵
روی		۱/۰۰۰	۰/۲۳۹	۰/۳۴۱	۰/۴۲۹	۰/۵۳۱	۰/۱۳۲	۰/۶۸۰
آهن	۱/۰۰۰	۰/۵۹۱	-۰/۱۱۹	۰/۶۶۹	۰/۷۱۰	۰/۷۴۸	-۰/۳۳۷	۰/۸۷۹
لیتیم	۱/۰۰۰	-۰/۱۵۶	-۰/۱۲۰	۰/۳۳۹	-۰/۰۰۸	-۰/۲۷۴	-۰/۲۴۰	-۰/۱۶۹

در بعضی از مطالعات نیز از غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به‌عنوان مقادیر زمینه استفاده شده است (Tokalioglu, et al., 2003; Kartal, et al., 2006). بنابراین با توجه به این که اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین موجود در غبارهای خیابانی شهر تهران برای نخستین بار در این مطالعه انجام می‌گیرد، به دلیل موجود نبودن اطلاعات قبلی و همچنین عدم تدوین و ارائه مقادیر غلظت‌های زمینه‌ای عناصر برای نواحی مختلف کشور از طرف ارگان‌های ذی‌ربط (در حالی که این مقادیر به وسیله بسیاری از کشورها تهیه و ارائه شده است (Jien, et al., 2011; Wei, et al., 2006)).

مطالعاتی نیز وجود دارد که از لیتیم به عنوان فلز مینا برای نرمال سازی محاسبات استفاده شده است (Niencheski, et al., 2002; Loring, 1991). بنابراین از غلظت لیتیم برای مقادیر مینا استفاده شد. با استفاده از غلظت فلزات سنگین مورد نظر در ۵۰ ایستگاه نمونه برداری شده، میانگین غلظت آنها در پوسته زمین در جدول شماره (۵) و رابطه شماره (۱)، ضریب غنی سازی مربوط به هر فلز محاسبه شده و در جدول شماره (۷) نشان داده شدند.

جدول شماره (۷): طیف مقادیر ضریب غنی سازی به دست آمده با در نظر گیری لیتیم به عنوان فلز مینا در نمونه ها

مقادیر ضریب غنی سازی فلزات سنگین	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	میانها ^{۱۱}
کادمیم	۱۲۶/۲۳	۶۲/۳۰	۳۱۰/۴۳	۴۵/۴۹	۱۱۸/۰۱
مس	۱۰/۲۲	۲/۳۶	۵۱/۲۰	۸/۰۸	۸/۵۰
کروم	۰/۷۷	۰/۴	۱/۹۳	۰/۳۷	۰/۶۶
آهن	۲/۷۳	۰/۹۰	۸/۱۵	۱/۲۴	۲/۴۴
نیکل	۱/۰۰	۰/۳۸	۳/۲۲	۰/۶۰	۰/۸۵
سرب	۴۲/۶۵	۸/۲۵	۱۸۹/۳۷	۳۲/۰۶	۳۲/۱۷
روی	۲۷/۰۰	۱۴/۱۸	۶۵/۷۰	۱۳/۱۶	۲۳/۳۶
منگنز	۲/۹۲	۱/۲۳	۵/۶۰	۰/۹۷	۲/۸۰

همان گونه که از جدول شماره (۶) مشاهده می شود فلزات منگنز، لیتیم و کادمیم همبستگی چشمگیری با سایر فلزات ندارند و در اکثر موارد ضریب همبستگی منفی ای را با دیگر آلاینده ها نشان می دهند. در نتیجه منابع انتشار احتمالی متفاوتی با سایر آلاینده ها دارند. کادمیم به میزان کمی در پوسته زمین یافت می شود و معمولاً فعالیت های انسانی باعث افزایش غلظت این آلاینده در آب، خاک و هوا می شود.

یا طبیعی عناصر مورد مطالعه از تحلیل اجزای اصلی و تحلیل خوشه ای استفاده و نتایج با یکدیگر مقایسه شد.

تحلیل خوشه ای و ضریب همبستگی پیرسون

به منظور شناسایی منابع انتشار احتمالی آلاینده ها ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم افزار MVSP محاسبه شد. نتایج محاسبات در جدول شماره (۶) مشاهده می شود. با توجه به این جدول مس، سرب، کروم، نیکل، روی و آهن ضرایب همبستگی بالایی دارند، بنابراین منابع انتشار احتمالی یکسانی دارند. لیتیم بیشترین ضریب همبستگی را با منگنز دارد. همان طور که دیده می شود کادمیم ضریب همبستگی چشمگیری را با هیچ یک از دیگر آلاینده ها نداشته و منشاء انتشار متفاوتی را نشان می دهد. برای بالا بردن وضوح نتایج، درختواره مربوط به این محاسبات که ضریب همبستگی پیرسون آلاینده ها را با یکدیگر نشان می دهد در شکل شماره (۲) مشاهده می شود. با توجه به شکل شماره (۲) می توان منابع انتشار را به سه دسته اصلی A، B و C تقسیم کرد. فلزات مس، آهن، سرب، کروم و نیکل در خوشه A، ضریب همبستگی بزرگتر از ۰/۶ را نشان می دهند. بنابراین احتمالاً منشاء انتشار یکسانی دارند. فلز روی نیز با ضریب همبستگی بیش تر از ۰/۵ به این فلزات پیوسته و منشاء انتشار تقریباً یکسانی را با آنها دارد.

فلزات با ضریب غنی سازی بیش تر از ۱۰ به طور عمده ممکن است ناشی از فعالیت های انسانی باشند (Yongming, et al., 2006). در هر صورت مقادیر بالای این ضریب نشان دهنده غنی شدگی و خطرهای احتمالی فلزات است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت فلزات مس، کادمیم، سرب و روی احتمالاً ناشی از فعالیت های انسانی بوده، و یا حداقل می توان گفت دارای ضریب خطر بالایی برای سلامتی انسان در تماس با این غبارها خواهد بود.

همان گونه که از جدول شماره (۷) مشاهده می شود کادمیم ضریب غنی سازی زیادی را نشان می دهد، با توجه به اینکه غلظت مبنای این فلز بسیار کم و ۰/۲ است، بنابراین کادمیم احتمالاً ناشی از فعالیت های انسانی است و شاید پرخطرترین فلز در میان فلزات مورد مطالعه موردی تحقیق در غبارهای شهری تهران باشد. در مورد فلز سرب نیز همین وضعیت برقرار است.

در محاسبات ضریب غنی سازی با لیتیم به عنوان فلز مینا، ضریب غنی سازی نیکل و کروم به عدد ۲ نزدیک است و تا حدودی می توانند ناشی از فعالیت های انسانی باشند. در این حالت میانگین ضریب غنی سازی آهن و منگنز بیش تر از ۲ است، در نتیجه میزان غنی شدگی متوسطی را نشان می دهد. برای تشخیص منشاء انسانی،

تحلیل اجزای اصلی (PCA)

با استفاده از تحلیل اجزای اصلی و نرم‌افزار SPSS 18.0 با صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های پیشین صورت گرفت. عوامل اصلی استخراج شده‌ای که مقدار مشخصه بیشتر از ۰/۷ دارند انتخاب و در جدول شماره (۸) مقادیر ماتریس اجزای چرخشی این عوامل ارائه شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سه عامل اصلی از تحلیل PCA به‌دست آمد.

جدول شماره (۸): ماتریس اجزای چرخشی آلاینده‌های

موجود در غبارهای خیابانی تهران

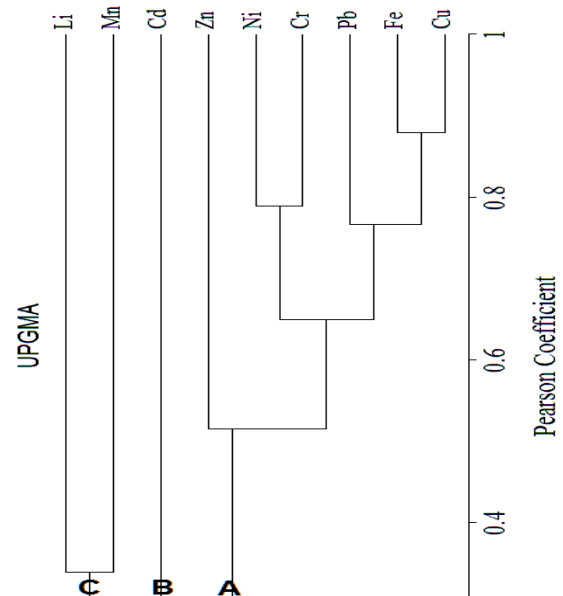
فلز سنگین	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳
مس	۰/۹۱۲	-۰/۲۳۰	-۰/۰۶۴
کادمیم	-۰/۲۰۵	-۰/۲۹۰	۰/۷۰۲
سرب	۰/۸۲۴	-۰/۲۱۲	-۰/۱۲۰
کروم	۰/۲۷۹	۰/۰۸۰	-۰/۳۷۹
نیکل	۰/۷۱۷	۰/۰۹۰	-۰/۵۳۲
منگنز	-۰/۰۰۴	۰/۵۵۷	۰/۱۲۳
روی	۰/۷۸۹	-۰/۰۰۵	۰/۴۶۱
آهن	۰/۹۱۴	-۰/۱۴۶	-۰/۱۵۱
لیتیم	-۰/۰۴۴	۰/۸۹۹	-۰/۱۳۶

عوامل اصلی بزرگتر از ۰/۵ از هر گروه از جدول شماره (۸) نشان داده شدند. مس، سرب، کروم، نیکل، آهن و روی عوامل چشمگیر بزرگتر از ۰/۷ دارند در نتیجه منشاء انتشارشان یکسان و منابع انسانی است. همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شد منگنز و لیتیم در گروه دوم با عوامل بزرگتر از ۰/۵ به یکدیگر پیوسته‌اند و منبع انتشار یکسانی دارند که احتمالاً منابع طبیعی است.

کادمیم نیز با مقادیر عوامل منفی، و یا بسیار کمی که با سایر مواد نشان می‌دهد در گروه سوم قرار گرفته و منبع متفاوتی نسبت به دیگر آلاینده‌ها دارد. بنابراین می‌توان بیان کرد عوامل ۱ و ۳ منابع انسانی مختلفی را نشان می‌دهند، اما عامل ۲ مشخص‌کننده منابع انتشار طبیعی است.

سه تحلیل مختلفی که برای شناسایی منابع انتشار آلاینده‌ها استفاده شدند نتایج تقریباً یکسانی را ارائه کردند، بنابراین می‌توان منابع مختلف تولید این آلاینده‌ها را به سه دسته زیر تقسیم کرد:

دسته اول: مس، سرب، کروم، نیکل، روی و آهن در این گروه قرار دارند. این آلاینده‌ها به احتمال زیاد ناشی از فعالیت‌های انسانی هستند. مطالعات نشان می‌دهند که اصلی‌ترین منبع انتشار سرب در غبارهای خیابانی، مواد افزودنی به سوخت خودروهاست (De Miguel et al., 1997). کروم، مس و روی از فرسایش آلیاژهای استفاده شده در وسایل نقلیه و سایر سطوح و مواد فلزی



شکل شماره (۲): دندوگرام تجزیه و تحلیل خوشه‌ای آلاینده‌های

موجود در غبارهای خیابانی (منبع: نرم‌افزار MVSP)

با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده این خوشه، فلزات نیکل، کروم، آهن، سرب و مس، افزون بر منابع انتشار ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، منابع انتشار دیگری نشأت‌گرفته از آلیاژهای آهنی (خوردگی) و همچنین احتمالاً تا حدودی منابع زمینی حاوی عنصر آهن نیز خواهند داشت. با توجه به این‌که عنصر نیکل در سوخت‌های فسیلی سنگین و همچنین در نفت‌گاز وجود دارد احتمال این‌که برخی از عناصر این خوشه از احتراق سوخت‌های سنگین‌تر و سایر منابع هیدروکربنی سنگین مانند قیر استفاده شده در پوشش معابر نشأت‌گرفته باشند نیز وجود دارد.

در شاخه اصلی دوم فقط کادمیم جای دارد که با توجه به ضریب همبستگی نزدیک به صفری که با گروه C و ضریب منفی‌ای که به همراه گروه C با خوشه A دارد، منبع انتشارش در غبارهای خیابانی متفاوت از دیگر آلاینده‌هاست. منگنز و لیتیم در شاخه C جای دارند که ضریب همبستگی منفی و نزدیک به صفر با آلاینده‌های موجود در دیگر شاخه‌ها نشان می‌دهند.

می‌توان گفت منبع اصلی انتشار فلز لیتیم طبیعت است، اما فلز منگنز با توجه به این‌که غلظت بسیار بالاتری از میانگین پوسته زمین دارد ممکن است افزون بر منشاء طبیعی و خاک‌های محلی، دارای منابع انسانی نیز باشد که به طور مشخص با منابع سایر عناصر سنگین مورد مطالعه متفاوت است.

می‌شود (Wei, et al., 2010). در این مطالعه ساختمان‌های اداری و مسکونی به‌وفور در اطراف خیابان وجود داشت بنابراین به نظر فرسایش تاپیر و باتری خودروها و مواد ساختمانی منشاء اصلی انتشار کادمیم است. در هر صورت منشاء احتراقی برای کادمیم کم احتمال است اما منشاء انسانی آن در شهر و شدت آلودگی محرز است. دسته سوم: عناصر منگنز و لیتیم در این گروه جای دارند. با توجه به همبستگی چشمگیری که لیتیم با فلز منگنز دارد و با در نظر گرفتن غلظت نسبتاً بالای منگنز در غبارها به نظر می‌رسد منشاء قسمتی از منگنز موجود در غبارهای منابع طبیعی حاوی لیتیم (مانند خاک‌های منطقه) و منشاء قسمتی از آن منابع انسانی غیر همسان با منابع سایر فلزات مورد بررسی باشد.

ریسک اکولوژیکی

برای بررسی میزان ریسک اکولوژیکی ایستگاه‌های نمونه‌برداری، مقادیر E_r و RI با استفاده از رابطه شماره (۲) محاسبه و نتایج در جدول شماره (۹) نشان داده شدند.

جدول شماره (۹): ریسک اکولوژیکی نقاط نمونه‌برداری

ریسک اکولوژیکی	RI	میانگین E_r					فلزات	مناطق نمونه‌برداری
		مس	کادمیم	سرب	کروم	روی		
خیلی زیاد	۱۸۳۷/۰۱	۴۰/۵۲	۱۶۰۱/۵۶	۱۷۹/۱۰	۰/۹۳	۱۴/۹	بزرگراه باقری	
خیلی زیاد	۱۷۱۹/۹۶	۲۶/۵۵	۱۵۹۶/۱۸	۸۶/۹	۰/۷۶	۱۰/۳۸	خیابان استقلال	
خیلی زیاد	۱۷۰۴/۷	۱۵/۲۳	۱۶۱۸/۸	۵۹/۹۸	۰/۵۹	۱۰/۱۰	خیابان هنگام	
خیلی زیاد	۱۷۰۲/۰۵	۱۶/۴۴	۱۶۰۲	۷۴/۶۰	۰/۶۰	۹/۴۱	خیابان رسالت	
خیلی زیاد	۱۶۹۶/۵	۵/۸۵	۱۶۴۷	۳۸/۰۸	۰/۴۶	۵/۳۲	دانشگاه علم و صنعت ایران	
خیلی زیاد	۱۷۴۸/۸۸	۲۲/۹۰	۱۶۱۳	۱۰۰/۱۴	۰/۷۰	۱۱/۱۴	میانگین مناطق شرق تهران	
خیلی زیاد	۱۶۹۹/۹۷	۱۷/۸۰	۱۶۰۱/۳۵	۶۷/۶۷	۰/۵۱	۱۲/۶۴	پایانه مسافربری جنوب	

RI در نقاط نمونه‌گیری شرق تهران نشان می‌دهد ریسک اکولوژیکی و غلظت آلاینده‌ها در این قسمت از شهر تهران زیاد و نگران‌کننده است.

جمع بندی

در این مطالعه به اندازه‌گیری غلظت ۹ فلز سنگین در ۵۰ نمونه از غبارهای خیابانی شهر تهران پرداخته شد. همچنین محاسبه ریسک اکولوژیکی ناشی از انتشار و شناسایی منابع مختلف فلزات سنگین در غبارهای خیابانی صورت گرفت. با توجه به محاسبات و تحلیل‌های انجام شده سه منبع اصلی ترافیک بالای وسایل نقلیه (قطعات مورد استفاده در خودروها و احتراق سوخت‌های فسیلی)، قطعات استفاده شده در ساختمان‌ها و منابع طبیعی از عوامل انتشار فلزات سنگین در غبارهای خیابانی هستند. با استفاده از محاسبات مربوط به ریسک اکولوژیکی، تمام ایستگاهها ریسک زیادی را نشان دادند بنابراین

ناشی می‌شوند (Wei, et al., 2010). از آهن نیز در پوشش خودروها استفاده می‌شود بنابراین فرسایش پوشش استفاده شده در خودروها می‌تواند غلظت این عنصر را در غبارهای خیابانی افزایش دهد (Jiries, 2003). ممکن است فعالیت‌های صنعتی نیز منابعی برای انتشار این عناصر در گرد و غبار خیابانی باشند، اما با توجه به این‌که نمونه‌برداری از مناطق داخل شهری و کنار خیابان انجام شد و هیچ کارخانه، یا صنعت خاصی در حوالی خیابان‌ها وجود نداشت، می‌توان منبع اصلی را فرسایش قطعات مورد استفاده در وسایل نقلیه دانست (Al-Khashman, 2007; Charlesworth, et al., 2003). احتراق سوخت‌های فسیلی و روغن‌های مورد استفاده در خودروها از منابع تولیدکننده نیکل هستند (Wei, et al., 2010). بیش‌ترین غلظت آلاینده‌های این گروه، مربوط به اتوبان باقری است که نسبت به سایر مناطق پر ترددتر است، بنابراین نرخ بالای ترافیک خودروها اصلی‌ترین منبع انتشار این آلاینده‌هاست. دسته دوم: کادمیم در ساخت باتری، پلاستیک و مصالح ساختمانی استفاده

تمامی ایستگاه‌های نمونه‌گیری ریسک اکولوژیکی بالایی را نشان می‌دهند، بالاترین ریسک مربوط به بزرگراه باقری است که از جمله پر ترددترین بزرگراههای تهران است. پایین‌ترین ریسک نیز متعلق به غبارهای درون دانشگاه علم و صنعت ایران است که با توجه به تردد کمتر خودروها در این نقطه، بزرگی فضای دانشگاه، سطح فضای سبز زیاد و فاصله نقطه نمونه‌برداری از خطوط محیطی دانشگاه و خیابان‌های اطراف آن نسبت به نقاط دیگر نمونه‌گیری، نتیجه به‌دست آمده کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. همچنین با وجود این‌که دانشگاه علم و صنعت ایران جز مناطق پر تردد خودروها نمی‌باشد این نقطه نمونه‌گیری نیز ریسک اکولوژیکی زیادی را نشان می‌دهد که احتمالاً وزش باد باعث جابه‌جایی غبارهای آلوده خیابان‌های اطراف به دانشگاه و بالا رفتن میزان ریسک اکولوژیکی آن شده‌است. میانگین

4-Trace Metal
 5-Acid Digestion
 6-Duplicate Sample
 7-Enrichment Factor (EF)
 8-Background Value
 9-Reference Metal
 10-Pearson's Coefficient
 11-Median

خطرهای بهداشتی و سلامتی تماس، استنشاق و بلع احتمالی ذرات ریز این غبارها در مناطق تهران به شدت بالا است و مطالعات تفصیلی بیشتری در مورد آثار و خطرات ناشی از این موضوع در سطح شهر تهران مورد نیاز است.

یادداشتها

1-Cluster Analysis
 2-Principle Component Analysis (PCA)
 3-Ward Method

منابع مورد استفاده

http://www.amar.org.ir/Upload/Modules/Contents/asset0/jamiat89/jameiat_tehran89.pdf مرکز آمار ایران . ۱۳۸۹

Al-Khashman, O.A. 2007. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan. *Environmental and Geochem Health*. Vol. 29, pp. 1-10.

Charlesworth, S., et al. 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., N., Stamatis. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, Vol. 151, Pp. 257-263.

De Miguel, E., et al. 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.

Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, Vol. 14, Pp. 975-1001.

http://www.amar.org.ir/Upload/Modules/Contents/asset0/jamiat89/jameiat_tehran89.pdf

Jien, Sh-H., et al. 2011. Baseline concentrations of toxic elements in Metropolitan Park soils of Taiwan. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*, Vol. 5, No. 1, Pp. 1-7.

Jiries, A. 2003. Vehicular Contamination of Dust in Amman, Jordan. *The Environmentalist*, Vol. 23, Pp. 205-210.

Karbassi, A. R., Gh.R., Nabi-Bidhendi, I., Bayati. 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. Iran. *J. Environ. Health. Sci. Eng.*, Vol. 2, No. 4, Pp. 225-260.

Kartal, S., Z., Aydin, S., Takalioglu. 2006. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 132, Pp. 80-89.

Loring, D.H. 1991. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES J. mar. Sci.*, Vol. 48, Pp. 101-115.

Manasreh, W.A. 2010. Assessment of trace metals in street dust of mutah city, Kurak, Jordan. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol.5, No.1, Pp. 5-12.

Niencheski, Hax, L.F., et al. 2002. Lithium as a normalizer for the assessment of anthropogenic metal contamination of sediments of the southern area of Patos Lagoon. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, Vol. 5, No. 4, Pp. 473-483.

Ordenez, A., et al. 2003. Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 44, Pp. 160-170.

Ramlan, M.N., M.A., Badri. 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., K.S., Subramanian, B.J., Jessiman. 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.

Sezgin, N., et al. 2003. Determination of heavy metal concentration in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environmental International*, Vol. 29, Pp. 979-985.

Schwar, M.J.R., et al. 1988. Baseline metal in dust concentrations in Greater London. *The Science of the Total Environment*, Vol. 68, Pp. 25-43.

Tokalioglu, S., S., Kartal, G., Birol. 2003. Application of a three-stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils. *Turk J Chem*, Vol. 27, Pp. 333-346.

Watt, J., I., Thornton, J., Cotter-Howells. 1993. Physical evidence suggesting the transfer of soil Pb into young children via hand-to-mouth activity. *Appl Geochem*, Vol. S2, Pp. 269-272.

Wei, B., et al. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 160, Pp. 33-45.

Yongming, H., et al. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *The Science of the Total Environment*, Vol. 335, Pp. 176-186.

Zheng, L.-G., et al. 2010. Some potential hazardous trace elements contamination and their ecological risk in sediment of western Chaohu Lake, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 166, Pp. 379-386.

Zhou, Y., et al. 2003. Estimating population exposure to power plant emissions using CALPUFF: a case studying Beijing, China. *Atmospheric Environment*, Vol. 37, Pp. 815-826.