

## ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در غبار برخی جاده‌های کرج

فرشته دست‌گشاده\*<sup>۱</sup>، امیدرضا تونی<sup>۲</sup>، سیما مقدم شیخ‌جان<sup>۳</sup>، گیتی تقی‌نژاد<sup>۴</sup>، نرگس همتیان<sup>۵</sup>، رقیه حاتمی<sup>۶</sup>

۱. کارشناس ارشد شیمی تجزیه، رئیس اداره امور آزمایشگاه‌ها، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز

۲. کارشناس ارشد اقتصاد محیط‌زیست، رئیس اداره نظارت و پایش، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز

uko\_ariaee@yahoo.co

۳. کارشناس ارشد مهندسی کشاورزی، کارشناس اداره امور آزمایشگاه‌ها، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز

sima\_irany@yahoo.com

۴. کارشناس ارشد شیمی کاربردی، کارشناس اداره امور آزمایشگاه‌ها، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز

gity\_taghinezhad@yahoo.com

۵. کارشناس شیمی کاربردی، کارشناس اداره امور آزمایشگاه‌ها، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز

narges.hematian@gmail.com

۶. کارشناس آلودگی محیط‌زیست، کارشناس مسئول اداره امور آزمایشگاه‌ها، اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان البرز

hatami\_683@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۸/۱۱

### چکیده

با رشد سریع شهرنشینی، صنعتی‌شدن شهرها و افزایش انتشار آلودگی از وسایل نقلیه، بحران آلودگی هوا یکی از مشکلات اکولوژیکی شدید در مقیاس جهانی است. با توجه به سهم آلودگی گرد و غبار در افزایش آلودگی هوا، غبار راسب‌شده در اطراف جاده‌ها و خیابان‌های سطح شهر به‌منزله یکی از عوامل ارزیابی میزان آلودگی هوای شهری بررسی شد. با توجه به رشد جمعیت و تردد وسایل نقلیه در کرج و خطرهای ناشی از آلودگی فلزات سنگین برای سلامتی بشر، غلظت فلزات Ni، Mn، Cr، Pb، Cu و Zn در غبار جمع‌آوری شده از ۳ خیابان در سطح کرج اندازه‌گیری شد. نمونه‌های غبار با ابعاد کمتر از ۲۵۰ μm پس از هضم اسیدی در مایکروویو، از طریق دستگاه جذب اتمی آنالیز شدند. اندازه غلظت فلزات در غبار خیابان‌ها برای هر یک از عناصر عبارت‌اند از: Cu: ۲۷۱-۸۶ μg/g، Ni: ۱۹-۲۲۴ μg/g، Pb: ۴۸-۶۲۹ μg/g، Zn: ۲۸۲-۱۲۱۲ μg/g، Mn: ۶۰۹-۷۸۴ μg/g، Cr: ۴۰-۱۱۷ μg/g. برای ارزیابی میزان آلودگی نمونه‌ها مقادیر شاخص ضریب انباشتگی (Igeo)، فاکتور غنی‌شدگی (EF)، فاکتور آلودگی (CF) هر یک از عناصر و شاخص بار آلودگی (PLI) در هر یک از ایستگاه‌ها و میانگین آن در هر جاده محاسبه شد. مقادیر محاسبه‌شده شاخص زمین‌انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی نشان می‌دهند میزان فلزات سرب، مس و روی در کلیه جاده‌ها در اثر فعالیت‌های انسانی افزایش یافته‌اند و منشأ طبیعی ندارند. با محاسبه مقادیر فاکتور آلودگی، به طور میانگین بیشترین میزان آلودگی سه عنصر اخیر در جاده کرج-قزوین مشاهده شد. مقادیر محاسبه‌شده شاخص بار آلودگی (PLI) در هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد در مناطق پرتراфик و صنعتی میزان بار آلودگی فلزات سنگین بالاتر است.

### کلیدواژه

آزادراه کرج-قزوین، آلودگی هوا، شاخص ارزیابی، غبار خیابان و فلزات سنگین.

## ۱. سرآغاز

آلودگی هوا امروزه یکی از معضلات اساسی جوامع مدرن است و بالقوه نوعی آلودگی مرگبار تلقی می‌شود. در این زمینه، افزایش میزان آلودگی ناشی از شهرنشینی و رشد انتشارات مربوط به وسایل نقلیه موضوع درخور توجهی است. در میان آلاینده‌ها، آلودگی محیط‌زیست از طریق فلزات سنگین مشکل جهانی است، زیرا این فلزات تخریب‌ناپذیرند و بیشتر آن‌ها در ارگان‌های زنده آثار سمی دارند. با اینکه برخی از فلزات برای انسان ضروری به نظر می‌رسند در مقادیر بالا می‌توانند برای انسان مسمومیت ایجاد کنند (Domingo, 1994; Chang, 1996). بر اساس بسیاری از بررسی‌های انجام‌شده، منابع آلودگی فلزات سنگین در محیط‌زیست اساساً ناشی از فعالیت‌های انسانی است. منابع فعالیت‌های انسانی فلزات سنگین در خاک‌ها و غبار جاده‌های شهری عبارت‌اند از: انتشارات ناشی از ترافیک، انتشارات صنایع و انتشارات شهری (Sezgin, et al., 2003; Ahmed and Ishiga, 2006; Amato, et al., 2009; Faiz, et al., 2009; Binggan and Linsheng, 2010).

در سال‌های اخیر مطالعه روی آلودگی هوا به ویژه در محیط‌زیست شهری تا حد زیادی روی غبار راسب‌شونده در جاده‌ها متمرکز شده است (De Miguel, et al., 1997; Bhargava, et al., 2003; Banerjee, 2003; Turer, 2005; Yongming, et al., 2006; Ahmed and Ishiga, 2006; Shinggu, et al., 2010; Lu, et al., 2009; Addo, et al., 2012). غبار خیابان یا ذرات راسب‌شده بر سطح جاده‌ها، از برهم کنش مواد جامد، مایع و گاز ناشی از منابع مختلف سرچشمه گرفته است و بالقوه می‌تواند حامل بار آلودگی بالایی از فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی باشد (Shinggu, et al., 2010; Lu, et al., 2009; Addo, et al., 2012; Al-Khashman, 2007; Banerjee, 2003). غبار خیابان تحت تأثیر وسایل نقلیه سطح جاده‌ها می‌تواند عامل ۳۳ درصد از آلودگی هوا باشد. مواد خارج شده از آگروز وسایل نقلیه و خروجی صنایع، فرسایش تایرها و لنت ترمزها، غبار ناشی

از جاده‌های آسفالت، دست‌اندازها و ساختمان‌سازی، از عوامل تشکیل‌دهنده غبار خیابان‌ها به شمار می‌روند. غبار خیابان یکی از منابع مهم پیدایش و ورود ذرات به اتمسفر و کنترل آن موضوع بحرانی در نواحی شهری و سایر مناطق پرتراffیک است. در حال حاضر با روش‌های مکانیکی مانند ماشین‌آلات جاروب شهری، روغن سبزیجات و اسپری آب می‌توان غبار جاده را سرکوب کرد (Sezgin, et al., 2003; Malkoç, et al., 2010). رسوب کرده بر سطح جاده‌ها برای مدت طولانی به همان صورت باقی نمی‌ماند (Lu, et al., 2009; Addo, et al., 2012). این غبار به سادگی به صورت ذرات معلق به اتمسفر باز می‌گردد و مقادیر زیادی از عناصر سنگین را به آن وارد می‌کند (Faiz, et al., 2009; Addo, et al., 2012). غبار حامل فلزات سنگین در نتیجه فرایندهای رسوب‌گذاری و برخورد بر سطح خاک تجمع می‌کند (Lu, et al., 2009; Li, et al., 2001; Sezgin, et al., 2006; Addo, et al., 2012). به طور کلی تأثیرات بین آلودگی هوا و خاک متقابل است. اتمسفر از طریق رسوب‌گذاری مقادیر بزرگی از فلزات سنگین را به خاک‌های شهری منتقل می‌کند (Ritter and Rinefierd, 1983; Patel, et al., 2001; Addo, et al., 2012) و غبار خاک نیز می‌تواند در غلظت فلزات سنگین در اتمسفر مشارکت داشته باشد (Chen, et al., 1997; Addo, et al., 2012).

با توجه به آنکه ذرات غبار به راحتی از طریق جریان هوا جابه‌جا و در سطح شهر پراکنده می‌شوند، پیامد آن آلودگی سطح شهر به این عنصر خطرناک است. در حال حاضر نیز خطرهای ناشی از مواجهه با این عنصر برای عموم افراد جامعه شناخته شده است. عنصر سرب در سیستم عصبی و عروقی افراد تأثیر می‌گذارد. کودکان به علت رشد سریع و متابولیسم بالا نسبت به عنصر سرب آسیب‌پذیری بیشتری دارند و این عنصر در رشد سیستم عصبی آن‌ها اثرگذار است و سبب کاهش ضریب هوشی می‌شود (ATSDR, 2007; Banks, et al., 1997). لذا

زنده و به علت آنکه غبار جاده‌ها و خیابان‌ها یکی از منابع آلودگی هوا با فلزات سنگین است، میزان فلزات Ni، Mn، Pb، Cr، Cu و Zn در غبار جمع‌آوری شده از ۳ جاده در سطح کرج اندازه‌گیری شد. جاده ملارد (مسیر پل فردیس - بعد از نیروگاه) و اتوبان کرج - قزوین (مسیر پل فردیس - پل حصارک) به علت مجاورت با صنایع آلاینده و تردد بالای وسایل نقلیه بررسی شدند. بلوار آیت‌الله طالقانی (مسیر میدان طالقانی - کوه نور) نیز به علت دوربودن از مناطق صنعتی و کم‌تردد بودن وسایل نقلیه به‌منزله منطقه با بار آلودگی پایین برای مقایسه با دو جاده مذکور ارزیابی شد.

### ۳. نمونه‌برداری و آنالیز

برای نمونه‌برداری از غبار حاشیه آسفالت خیابان، ۲۰ ایستگاه تعیین شد. ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که مناطق پرتردد و مجاور ناحیه صنعتی، همچنین مناطقی که فاقد هر دو فعالیت اخیر بودند را شامل می‌شدند. از هر ایستگاه، ۳ نمونه جمع‌آوری شد. نمونه‌های هر ایستگاه به صورت تصادفی از شعاع ۱۰ متری ایستگاه‌های نمونه‌برداری جمع‌آوری شد و یک نمونه ترکیبی (حدود ۵۰ گرم) به دست آمد. در مجموع ۲۰ نمونه ترکیبی، شامل ۱۰ نمونه از اتوبان کرج - قزوین، ۷ نمونه از جاده ملارد و ۳ نمونه از بلوار آیت‌الله طالقانی جمع‌آوری شد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل و جدول ۱ مشخص شده است. ذرات غبار از طریق قلم پلاستیکی جمع‌آوری و در ظروف پلی پروپیلنی در بسته و برچسب زده شده به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن در آن (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) از الک ۲۵۰ μm عبور داده شدند. مقدار ۰/۴ - ۰/۳۵ گرم از هر نمونه از طریق ۱۰ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی در مایکروویو ( Milestone Ethos one) هضم و غلظت فلزات Ni، Mn، Pb، Cr، Cu و Zn از طریق دستگاه جذب اتمی Varian 240 اندازه‌گیری شد.

می‌بایست نسبت به این مسئله و کاهش این آلودگی در سطح شهر توجه بیشتری شود. تنفس مقادیر بالای کروم نیز سبب بروز مشکلات در مخاط و مجرای بینی، آبریزش بینی و مشکلات تنفسی نظیر آسم، سرفه، تنگی نفس و خس خس می‌شود (Martin and Griswold, 2009).

مقدار نیکل در ریه‌ها، حفره بینی، کلیه و کبد کارگرانی که از این عنصر تنفس می‌کنند افزایش می‌یابد ( Kollmeier, et al., 1987; Raitchel, et al., 1988; Andersen and Svenes, 1989). آسیب‌دیدگی سیستم تنفسی نیز در این افراد مشاهده شده است.

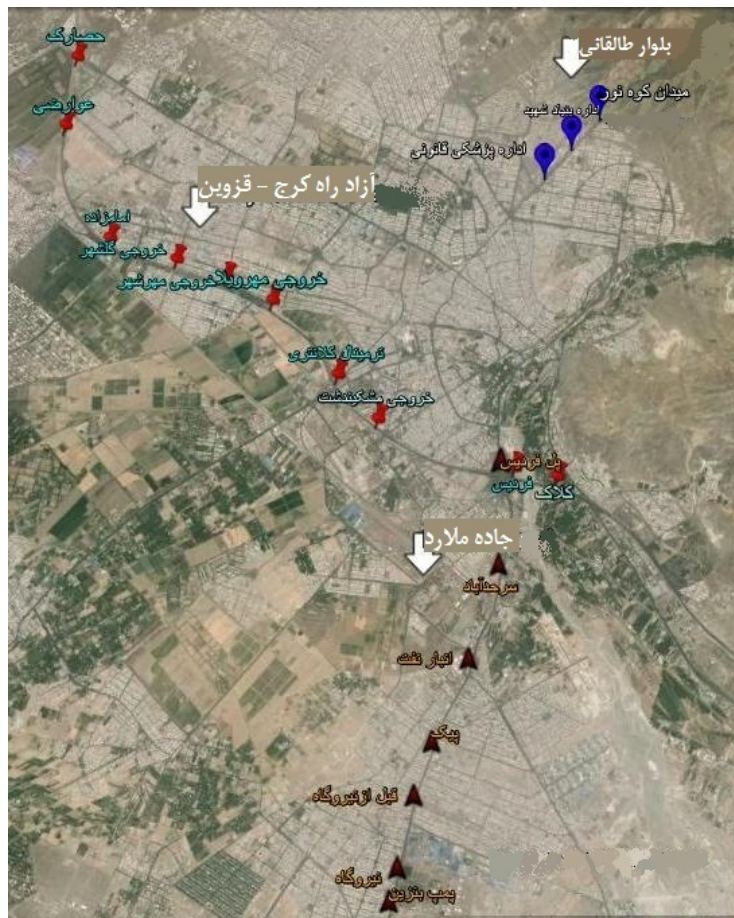
## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. منطقه مورد مطالعه

کرج یکی از شهرهای مرکزی و کوهپایه‌ای ایران در دامنه رشته کوه‌های البرز و در بلندای ۱۳۰۰ متری از سطح دریا واقع شده و مرکز استان البرز است. این شهر با مساحتی معادل ۱۷۵/۴ کیلومتر مربع و حریمی به وسعت ۱۷۸/۹ کیلومتر مربع با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی در ۳۶ کیلومتری غرب تهران و در دامنه جنوبی رشته کوه البرز قرار گرفته است. جمعیت این شهر طبق آمار رسمی سال ۱۳۹۰، ۱/۹۳۰ میلیون نفر است که از این جهت در حال حاضر پس از شهرهای تهران و مشهد به‌منزله سومین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌رود. کرج پس از تهران بزرگ‌ترین شهر مهاجرپذیر ایران است. با توجه به جمعیت ساکن در حوزه کرج، همچنین جمعیت شهرک‌های اقماری آن که هم‌روزه برای اشتغال و دریافت خدمات مختلف در سطح این شهر تردد دارد معابر مرکزی با عبور و مرور سنگین مواجه شده است. امروزه هوای کرج به علت گسترش شهر و تردد زیاد وسایل نقلیه و کارخانه‌ها و شهرک‌های صنعتی رو به آلودگی است به طوری که در زمستان و پاییز، پدیده وارونگی دما کاملاً قابل لمس است. لذا با توجه به خطرهای فلزات سنگین برای موجودات

جدول ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری

موقعیت جغرافیایی (UTM)	نام ایستگاه	محل نمونه‌برداری	
39S0500291, 3960705	m1	پل فردیس	جاده ملارد
39S0500484, 3959002	m2	سرحدآباد (قبل از پل)	
39S0500202, 3957441	m3	روبه‌روی انبار نفت (زیر پل بصیرت)	
39S0499801, 3956059	m4	پیک (روبه‌روی آگزوسازی و سنگ‌فروشی)	
39S0499633, 3955201	m5	قبل از نیروگاه	
39S0499537, 3954036	m6	مقابل در ورودی نیروگاه	
39S0499497, 3953537	m7	پمپ بنزین بعد از نیروگاه	
39S0501195, 3960678	k1	پل کلاک	اتوبان کرج - قزوین
39S0500478, 3960736	k2	زیر پل فردیس	
39S0498071, 3961284	k3	خروجی مشکین‌دشت	
39S0497307, 3961942	k4	ترمینال کلاتری	
39S0495971, 3963112	k5	خروجی مهرویلا	
39S0495131, 3963410	k6	خروجی فاز ۴ مهرشهر	
39S0494214, 3963618	k7	خروجی گلشهر	
39S0493022, 3963883	k8	امامزاده طاهر	
39S0491831, 3965804	k9	عوارضی	
39S0491819, 3967089	k10	پل حصارک	
39S0501160, 3967046	T1	میدان کوه نور (قبل از کوهپایه)	بلوار آیت‌الله طالقانی
39S0500744, 3966490	T2	روبه‌روی اداره کل بنیاد شهید	
39S0500346, 3965943	T3	قبل از میدان طالقانی (روبه‌روی اداره کل پزشکی قانونی)	



شکل ۱. ایستگاه‌های نمونه‌برداری

## ۴. ارزیابی و بررسی نتایج

## ۱.۴. نتایج آنالیز

جدول ۲ مقادیر ماکزیمم، مینیمم، میانگین و میانۀ عناصر مورد آنالیز در نمونه‌های غبار سه جاده را نشان می‌دهد. بیشترین میزان سرب، روی و مس در جاده کرج- قزوین و بیشترین مقدار کروم و نیکل در جاده ملارد اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج محاسبه‌شده اندازه غلظت فلزات در غبار خیابان‌ها برای هر یک از عناصر عبارت‌اند از:  $629 \mu\text{g/g}$ -Pb،  $48 \mu\text{g/g}$ -Ni،  $224 \mu\text{g/g}$ -Cu،  $86 \mu\text{g/g}$ -Cr،  $40 \mu\text{g/g}$ -Mn،  $282 \mu\text{g/g}$ -Zn و  $117 \mu\text{g/g}$ -Cr. نتایج به‌دست‌آمده برای میانگین غلظت فلزات سنگین در چند شهر معروف جهان با نتایج این مقاله مقایسه و در جدول ۳ ارائه شده است.

برای ارزیابی میزان آلودگی خاک و رسوب معیارهای مختلفی وجود دارد. در این تحقیق میزان آلودگی غبار جاده‌ها با استفاده از محاسبه ضریب زمین انباشتگی Igeo، فاکتور غنی‌شدگی EF، فاکتور آلودگی CF و شاخص بار آلودگی PLI ارزیابی شد.

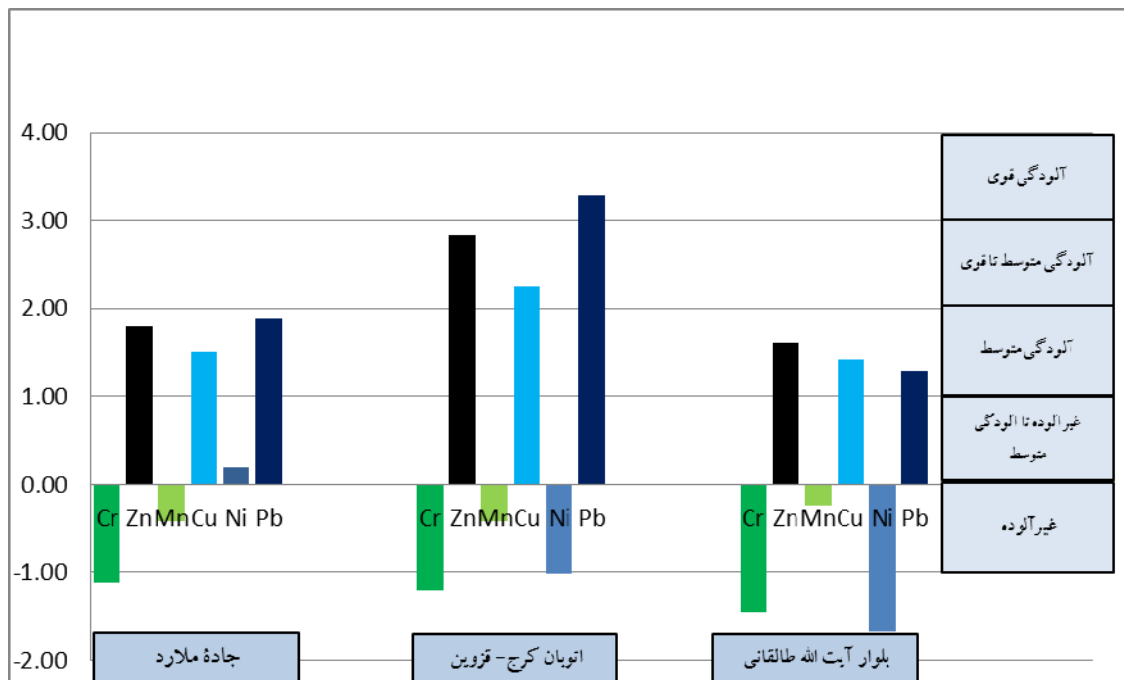
نتایج محاسبه شاخص زمین انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. میزان آلودگی هر عنصر برای هر سه جاده از طریق فاکتور آلودگی (شکل ۴) و میزان بار آلودگی هر ایستگاه از طریق شاخص بار آلودگی (شکل ۵) محاسبه شد.

جدول ۲. مقادیر آماری فلزات سنگین در جاده‌ها

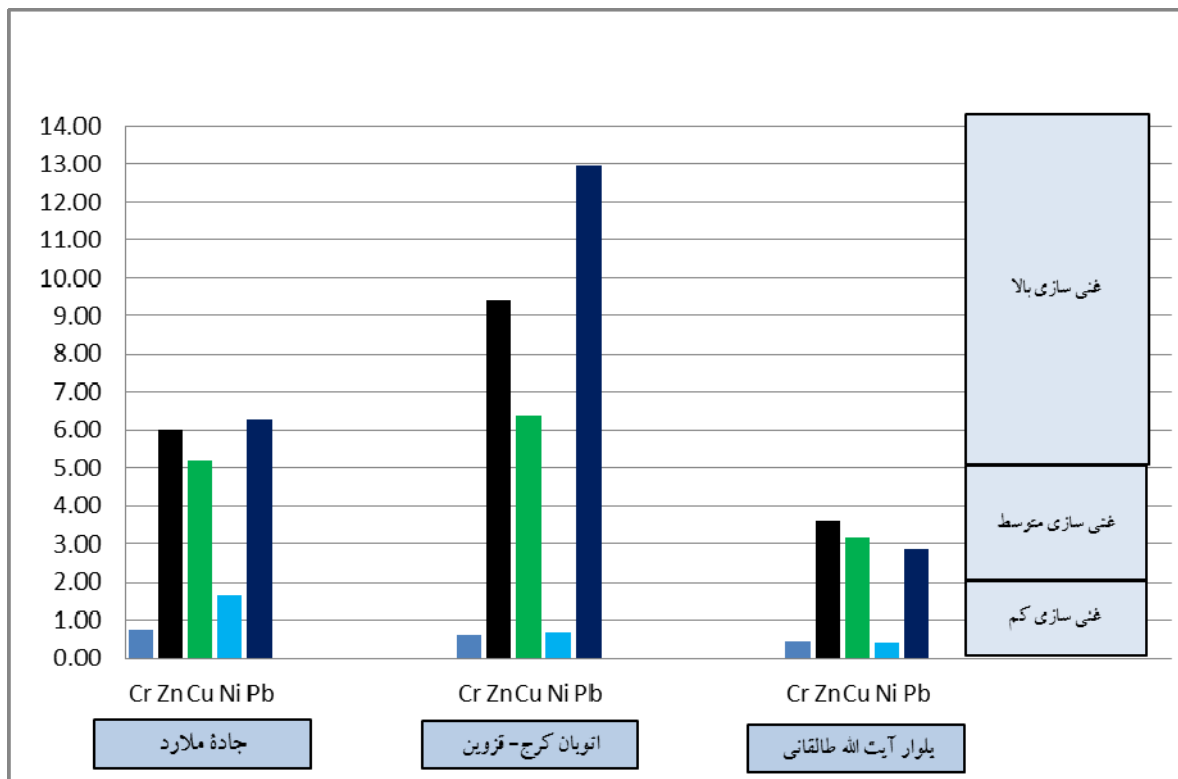
غلظت فلزات $\mu\text{g/g}$						شاخص آماری	نام جاده
Cr	Zn	Mn	Cu	Ni	Pb		
۱۱۷	۶۳۷	۷۰۳	۱۷۴	۲۲۴	۱۸۷	max	جاده ملارد
۵۳	۲۸۲	۶۰۹	۱۰۱	۳۰	۹۴	min	
۶۱	۴۶۱	۶۶۹	۱۶۲	۶۶	۱۰۴	median	
۶۹	۴۷۲	۶۶۵	۱۴۴	۸۱	۱۱۸	mean	
۶۳	۱۲۱۲	۷۷۵	۲۷۱	۴۱	۶۲۹	max	اتوبان کرج- قزوین
۴۸	۵۰۶	۶۱۸	۸۶	۲۴	۹۵	min	
۵۵	۷۱۳	۶۶۴	۱۷۴	۳۱	۱۸۲	median	
۵۶	۷۵۲	۶۷۴	۱۷۹	۳۲	۲۴۷	mean	
۵۰	۳۹۴	۷۸۴	۱۰۷	۲۲	۸۲	max	بلوار آیت‌الله طالقانی
۴۰	۲۸۴	۷۴۴	۹۲	۱۹	۴۸	min	
۵۰	۲۹۴	۷۴۹	۱۰۲	۲۲	۵۵	median	
۴۶	۳۲۴	۷۵۹	۱۰۰	۲۱	۶۲	mean	
۸۵	۷۱	۶۰۰	۲۵	۴۴	۱۷	میانگین غلظت در پوسته زمین	

جدول ۳. مقایسه غلظت فلزات سنگین در غبار خیابان‌های چند شهر جهان با نتایج به‌دست‌آمده برای کرج

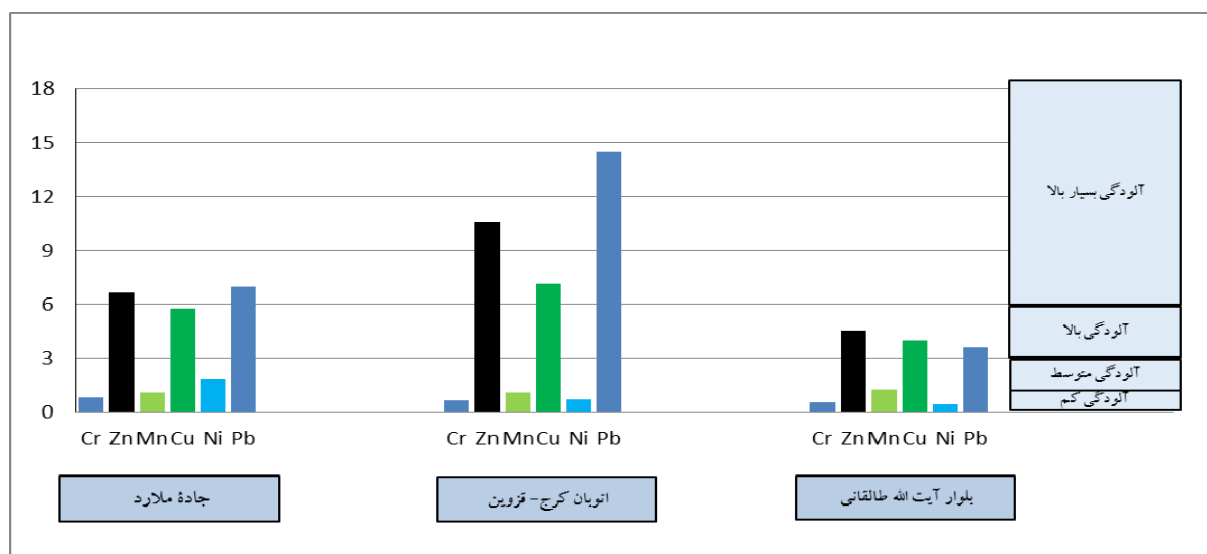
Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	مرجع	شهر
۵۴	۴۴	-	۴۲	۵۳۶	۱۵۹	1999 Chatterjee and Banerjee ,	کلکته
-	۵۲	-	۲۳	۱۰۴	۱۱۶	Faiz et al., 2009	اسلام‌آباد
۱۰۳	۹۰/۸	-	-	۱۲۲۳	۷۱۶	Fergusson, et al., 1986	نیوزیلند
-	۱۷۷	-	۸۸	۲۳۶	۳۵۸	Al-Khashman , 2007	عمان
-	۳۰۴	-	۵۴	۲۰۵	۱۶۹	Ahmed and Ishiga, 2006	داکا
-	۱۲۳	۸۳۰	۴۱	۱۸۰	۴۱۲	De Miguel, et al., 1997	اسلو
-	۶۵/۸	۴۳۱/۵	۱۵/۲	۳۹/۱	۱۱۲/۵	Rasmussen, et al., 2001	اتاوا
-	۱۱۰	۵۹۴	۲۸/۶	۱۲۰	۳۸۴۰	, 2003.Yeung, et al	هنگ‌کنگ
۱۵۹/۳	۱۹۶/۸	-	۸۳/۹	۲۹۴/۹	۷۳۳/۸	Shi, et al., 2008	شانگ‌های
۲۶	۴۲	-	۱۰	۳۱۵	۳۱۷	Ordonez, et al., 2003	لوآندا
۷۴۴	۶۰/۵	۵۶۴/۴	۷۳/۴	۲۲/۹	۱۳۳/۵	Addo, et al., 2012	منطقه جنوبی Ketu در کشور غنا
۵۷	۱۴۱	۶۹۹/۳	۴۴/۶	۱۴۲/۳	۵۱۶	کرج - تحقیق انجام‌شده در این مقاله	



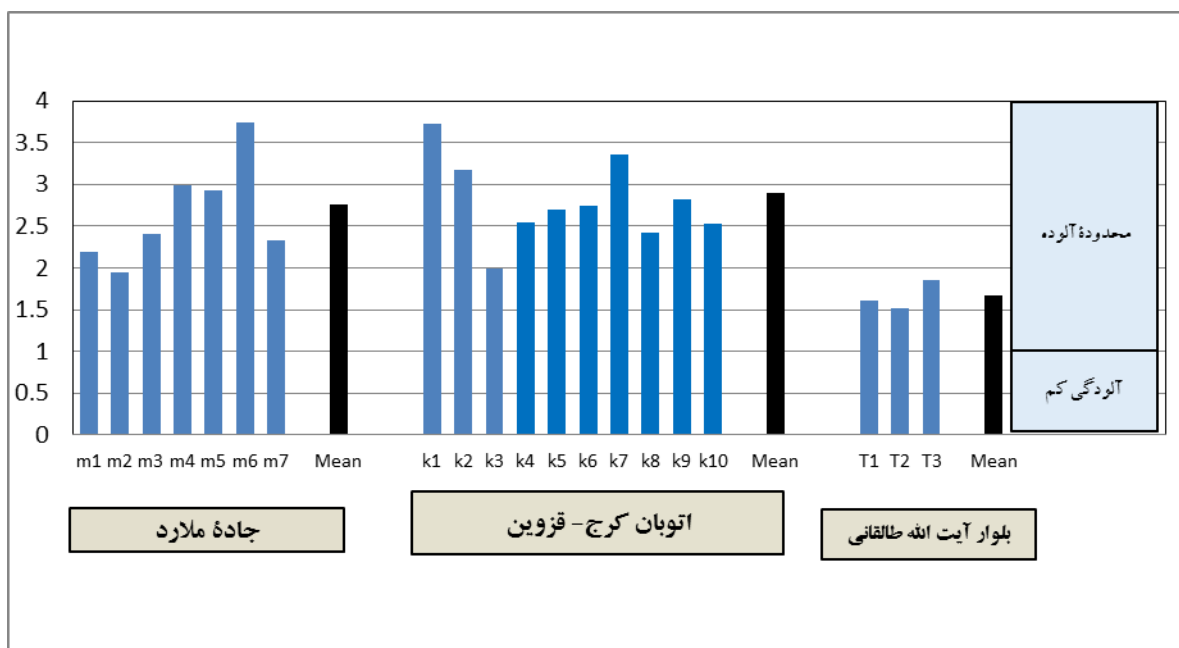
شکل ۲. مقایسه مقادیر شاخص زمین‌انباشتی هر یک از عناصر در هر جاده



شکل ۳. مقایسه مقادیر فاکتور غنی‌شدگی هر یک از عناصر در هر جاده



شکل ۴. مقایسه مقادیر فاکتور آلودگی هر یک از عناصر در هر جاده



شكل ۵. مقایسه مقادیر شاخص بار آلودگی در هر ایستگاه

جدول ۴. سطوح آلودگی شاخص زمین انباشتگی

شاخص زمین انباشتگی	درجه آلودگی
<۰	غیر آلوده
۰-۱	غیر آلوده تا آلودگی متوسط
۱-۲	آلودگی متوسط
۲-۳	آلودگی متوسط تا قوی
۳-۴	آلودگی قوی
۴-۵	آلودگی بسیار قوی
>۵	شدیداً آلوده

(Lu, et al., 2009)

محاسبه مقادیر شاخص زمین انباشتگی (شكل ۲) نشان می دهد عناصر کروم و منگنز در هر سه جاده تحت بررسی از نظر شدت آلودگی غیر آلوده اند و عناصر مس، روی و سرب آلودگی متوسط تا قوی دارند. جاده كرج- قزوین برای سه عنصر اخیر بیشترین آلودگی را نشان می دهد. عنصر نیکل در جاده ملارد در محدوده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد و در دو جاده دیگر غیر آلوده است.

۲.۴. شاخص زمین انباشتگی

مولر از اواخر دهه ۱۹۶۰ شاخص Igeo را معرفی کرده است (Muller, 1969) و از آن زمان تاکنون به طور گسترده در اروپا برای مطالعه روی فلزات سنگین استفاده می شود. شاخص Igeo با مقایسه غلظت های موجود با غلظت های قبل از صنعتی شدن برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک ها و غبار جاده های شهری استفاده می شود (Wei and Yang, 2010). شاخص Igeo از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$Igeo = \log_2 ((Cn) \times 1/5Bn)$$

بر اساس شاخص زمین انباشتگی مولر،  $Cn(Igeo)$  غلظت در نمونه (خاک یا غبار) و  $Bn$  غلظت زمینه است. ضریب ۱/۵ به منظور کاهش تغییرات احتمالی در مقدار زمینه ناشی از ناپایداری های لیتولوژیک رسوبات اعمال شده است. Lu و همکارانش مقادیر شاخص زمین انباشتگی را مطابق جدول ۴ تفسیر کردند.



پایین به‌منزله عنصر مرجع در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی استفاده شد. مقادیر حاصل از محاسبه این فاکتور (شکل ۳) نشان می‌دهند در سه جاده تحت بررسی، عناصر نیکل و کروم درجه غنی‌شدگی کم و عناصر مس، روی و سرب درجه غنی‌شدگی متوسط تا بالا دارند.

#### ۴.۴. فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی

فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در غبار جاده، همچنین فراهم آوردن معیاری برای تعیین درجه آلودگی در طول جاده خاص استفاده می‌شود (Hakanson, 1980). پارامترهای فاکتور آلودگی (CF) و شاخص بار آلودگی (PLI) با روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$CF = C_{\text{metal}} / C_{\text{background}}$$

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n}$$

$C_{\text{metal}}$  غلظت آلاینده در رسوب،  $C_{\text{background}}$  مقدار فلزات در زمینه (میانگین غلظت در پوسته زمین) و  $n$  تعداد فلزات است. نتایج حاصل از روابط بالا در جدول‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

شاخص بار آلودگی ابزار مقایسه‌ای ساده برای ارزیابی کیفیت محل تحت بررسی است. شاخص PLI از سوی تامپلسون و همکارانش ارائه شد (Thomilson, et al., 1980).

#### جدول ۶. سطوح فاکتور آلودگی

فاکتور آلودگی	سطح آلودگی
< 1	آلودگی کم
1 ≤ CF < 3	آلودگی متوسط
3 ≤ CF ≤ 6	آلودگی بالا
CF > 6	آلودگی بسیار بالا

(Nasr, et al., 2006; Mmolawa, et al., 2011)

مقادیر فاکتور آلودگی (شکل ۴) برای میانگین غلظت عناصر در هر جاده محاسبه شد. عناصر منگنز، کروم و نیکل آلودگی کم تا متوسط و عناصر مس، روی و سرب آلودگی بالا تا بسیار بالا را نشان می‌دهد.

#### ۳.۴. فاکتور غنی‌شدگی

فاکتور غنی‌شدگی از سوی پژوهشگران مختلف برای ارزیابی آلودگی در بخش‌های مختلف زیست‌محیطی استفاده شده است (Lu, X., et al., 2009; Addo, et al., 2012; Loska, et al., 2003; Manno, et al., 2004; Al-Hashman, 2006). فرمول استفاده شده برای ارزیابی آلودگی در نمونه‌های مختلف زیست‌محیطی به شرح زیر (Atiemo, et al., 2011) است:

$$EFX = [XS / ES(\text{ref})] / [XC / EC(\text{ref})]$$

در این فرمول EFX، فاکتور غنی‌شدگی عنصر X، XS غلظت عنصر موردنظر در نمونه، ES(ref) غلظت عنصر مرجع استفاده شده برای نرمالیزاسیون در نمونه، XC غلظت عنصر موردنظر در پوسته زمین و EC(ref) غلظت عنصر مرجع استفاده شده برای نرمالیزاسیون در پوسته زمین است (Taylor and McLennan, 1985 and 1995). بر اساس میزان فاکتور غنی‌شدگی، ۵ سطح آلودگی معین شده است (جدول ۵).

#### جدول ۵. سطوح فاکتور غنی‌شدگی

شاخص فاکتور غنی‌شدگی	درجه غنی‌شدگی
< ۲	غنی‌شدگی کم
۲-۵	غنی‌شدگی متوسط
۵-۲۰	غنی‌شدگی بالا
۲۰-۴۰	غنی‌شدگی بسیار بالا
> ۴۰	غنی‌شدگی شدیداً بالا

(Loska, et al., 2003; Atiemo, et al., 2011; Addo, et al., 2012).

فاکتور غنی‌شدگی فرمولی جهان شمول و ابزاری ساده و آسان برای ارزیابی درجه غنی‌شدگی و مقایسه آلودگی‌های مختلف زیست‌محیطی است (Addo, et al., 2012). در محاسبه فاکتور غنی‌شدگی، عنصر مرجع می‌باید احتمال تغییرپذیری کمی داشته باشد. با محاسبه فاکتور غنی‌شدگی می‌توان ارزیابی کرد که عناصر موجود در نمونه زیست‌محیطی موردنظر منشأ طبیعی دارند یا در نتیجه فعالیت‌های انسان به وجود آمده‌اند (Atiemo, et al., 2011). در این مقاله عنصر منگنز به علت تغییرات غلظت

## جدول ۷. سطوح بار آلودگی

شاخص بار آلودگی	سطح بار آلودگی
<۱	شرایط مناسب
=۱	وجود زمینه‌ای از آلاینده‌ها
>۱	کیفیت نامناسب محل از نظر آلودگی

(Thomilson, et al., 1980)

مقادیر شاخص بار آلودگی برای هر ایستگاه نمونه‌برداری محاسبه شدند (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد سطح بار آلودگی در کلیه ایستگاه‌های نمونه‌برداری و هر سه جاده در شرایط آلوده قرار دارد.

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج محاسبات ضریب زمین انباشتگی (شکل ۲)، فاکتور غنی‌شدگی (شکل ۳) و فاکتور آلودگی (شکل ۴) نشان می‌دهد میزان آلودگی غبار جاده به عناصر سرب، روی و مس در سطح متوسط تا قوی قرار دارد. این نتایج نشان می‌دهد که سه عنصر مذکور در نتیجه فعالیت‌های انسان به محیط وارد شده‌اند و منشأ طبیعی ندارند. عناصر نیکل و کروم در برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آلودگی بالایی نشان دادند، اما میانگین غلظت این دو عنصر بر اساس مقادیر شاخص‌های زمین انباشتگی و فاکتور غنی‌شدگی در همه جاده‌ها در محدوده غیرآلوده قرار گرفته است. بر اساس مقادیر فاکتور آلودگی نیز این دو عنصر آلودگی کم نشان می‌دهند به استثنای جاده ملارد که عنصر نیکل آلودگی متوسط نشان می‌دهد. عنصر منگنز نوسان غلظتی پایینی نشان داده و از نظر شدت آلودگی غیرآلوده است. میانگین غلظت سرب در اتوبان کرج- قزوین بیش از سایرین بود که ناشی از تردد بالای خودروها در این اتوبان است. بالاترین میزان آلودگی سرب در اتوبان کرج- قزوین، ایستگاه k7 (خروجی گلشهر) و کمترین مقدار سرب نیز در بلوار آیت‌الله طالقانی، ایستگاه T1 (میدان کوه نور) اندازه‌گیری شد. با توجه به آنکه تغییر در مقدار سرب در غبار جاده‌ها غالباً مربوط به حجم ترافیک است (Arslan, 2001; Fergusson, et al., 1980; Kartal, et al., )

(1992; Arslan and Gizir, 2004) به علت تردد کمتر وسایل نقلیه در مسیر بلوار طالقانی کاهش مقدار سرب در این جاده توجیه‌پذیر است. با توجه به گزارش‌های سراسر جهان، Chen و همکارانش آلودگی بالای سرب را مربوط به انتشار این عنصر از آگزوز اتومبیل‌ها و رسوب آن در حاشیه جاده‌ها و بزرگراه‌ها می‌دانند (Chen, et al., 1997; Addo, et al., 2012). با توجه به آنکه در حال حاضر بنزین سرب‌دار تولید و استفاده نمی‌شود و در عین حال افزایش میزان سرب با افزایش میزان ترافیک مرتبط است، برای انتشار سرب در غبار جاده‌ها می‌بایست منابعی غیر از احتراق بنزین وجود داشته باشد. Smichowski معتقد است علاوه بر بنزین سرب‌دار، فرسایش لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه‌های سربی چرخ‌ها (وزنه‌های مخصوص بالانس چرخ خودرو) از منابع اصلی آلودگی محیط‌زیست شهری به سرب به شمار می‌روند (Smichowski, et al., 2008). فرسایش وزنه‌های سربی بالانس چرخ‌های وسایل نقلیه موتوری، به‌منزله منبع مهم در زمینه انتشار و تجمع سرب در خیابان‌ها تحت بررسی قرار گرفته و از سال ۲۰۰۵ استفاده از آن‌ها در اروپا برای وسایل نقلیه جدید ممنوع شده است (Robert, 2000; Bleiwas, 2006). بیشترین مقدار آلودگی عناصر مس و روی نیز در آزادراه کرج- قزوین و کمترین مقدار در بلوار طالقانی به دست آمد. اتوبان کرج- قزوین بعد از آزادراه تهران- کرج، پرترددترین جاده در سطح کرج و استان البرز است به همین علت مقدار و نوع آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های غبار این جاده با میزان تردد وسایل نقلیه در آن ارتباط مستقیم دارد. بر اساس گزارش‌ها میزان مس و روی نیز با حجم ترافیک مرتبط است (Arslan and Gizir, 2006; Fergusson, et al., 1980; Kartal, et al., 1992; Narin and Soyak, 1999; Fergusson and Kim, 1991). محتمل‌ترین منبع عنصر روی در غبار جاده عمدتاً ناشی از اکسید روی استفاده‌شده در ولکانیزاسیون لاستیک تایرهاست. منشأ احتمالی مس نیز فرسایش قطعات فلزی اتومبیل‌هاست (Addo, et al., 2012). میزان عناصر کروم و

جاده ملارد) محاسبه شد. در ایستگاه k1 افزایش میزان بار آلودگی فلزات سرب، مس و روی ناشی از حجم ترافیک و در ایستگاه m6 افزایش بار آلودگی فلزات نیکل و کروم ناشی از فعالیت صنعتی نیروگاه سبب افزایش میزان شاخص بار آلودگی شده است. با مقایسه میانگین بار آلودگی در سه جاده، بیشترین بار آلودگی در آزادراه کرج- قزوین و کمترین مقدار در بلوار آیت‌الله طالقانی مشاهده شده است.

با توجه به آنکه غبار جاده‌ها به راحتی در هوا منتشر و از این طریق به سیستم تنفسی وارد می‌شود، باید به آلودگی فلزات سنگین توجه ویژه شود.

نتایج حاصل از این تحقیق به مقادیر بالای آلودگی سرب در گرد و غبار سطح جاده‌ها تأکید می‌کند. بیشترین مقادیر فاکتور آلودگی، شاخص غنی‌شدگی و فاکتور زمین انباشتگی به عنصر سرب در آزادراه کرج- قزوین تعلق داشت. همچنین، با توجه به نتایج آنالیز، باید به منطقه اطراف نیروگاه از نظر آلودگی کروم و نیکل توجه بیشتری شود.

نیکل به طور میانگین در محدوده نمونه‌برداری جاده ملارد بالاتر از سایر جاده‌ها بود. در این جاده نمونه‌های اخذ شده از ایستگاه‌های m5 (قبل از نیروگاه)، m6 (نیروگاه) و m7 (بعد از نیروگاه) بیشترین مقدار نیکل و کروم را نشان می‌دهند که با افزایش فاصله از نیروگاه میزان غلظت این عناصر کاهش می‌یابد. با توجه به آنکه نیروگاه‌های تولید برق عامل مهمی در انتشار عناصر کروم و نیکل به هوا به شمار می‌روند (EIP report, 2011) آلودگی مشاهده‌شده در نواحی اطراف نیروگاه، ناشی از انتشارات این واحد به هواست. در این جاده بیشترین میزان سرب در ایستگاه m4 (پیک) مشاهده شد که احتمالاً علت آن این است که ایستگاه مربوطه در مقابل واحد آگزوسازی قرار دارد. به طور کلی میزان فاکتور آلودگی فلزات سرب، مس و روی در هر سه جاده در محدوده آلودگی بالا تا بسیار بالا قرار دارد. همچنین، شاخص بار آلودگی که با در نظر گرفتن کلیه مقادیر آلاینده برای هر ایستگاه محاسبه می‌شود نیز برای کلیه ایستگاه‌ها در سطح آلوده قرار گرفت. بیشترین مقدار شاخص بار آلودگی (PLI) در ایستگاه‌های k1 (پل کلاک در اتوبان کرج- قزوین) و m6 (مقابل نیروگاه در

## منابع

- Addo, M. A., Darko, E. O., Gordon, C., Nyarko, B. J. B. and Gbada go, J. K. 2012. Heavy Metal Concentrations in Road Deposited Dust at Ketu-South District, Ghana. *International Journal of Science and Technology*, Volume 2 No.1, 28-39
- ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry). 2007. Toxicological Profile for Lead U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Human Services, Centers for Diseases Control, Atlanta.
- Ahmed, F., and Ishiga, H. 2006. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh, *Atmospheric Environment*, 40, 3835-3844.
- Al-Khashman, O. A. 2007. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan. *Environmental Geochemistry and Health*, 29, (1), 1-10
- Al-Khashman, O. A. 2004. The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba City, Jordan. *Environmental, Geochemical and Health*, 29, 197-207
- Amato, F., Pandolfi, M., Viana, M., Querol, X., Alastuey, A. and Moreno, T. 2009. Spatial and chemical patterns of PM10 in road dust deposited in urban environment. *Atmospheric Environment*, 43, 1650-1659.
- Andersen, I., and Svenes, K. B. 1989. Determination of nickel in lung specimens of thirty-nine autopsied nickel workers. *Int Arch Occup Environ Health*, 61, 289-95.
- Arslan, H., and Gizir, A. M. 2004. Monitoring of heavy metal pollution of traffic origin in Adana. *Fresen. Environ. Bull*, 13, 4, 361-365.

- Arslan, H., and Gizir, A. M. 2006. Heavy metal content of roadside soil in Mersin, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol 15, No 1, 15-20
- Arslan, H. 2001. Investigation of heavy metal pollution of traffic in Kemalpaşa-Turkey. *Fresenius Environ. Bull*, 10,405-408.
- Atiemo, M. S., Ofori, G. F., Kuranchie-Mensah, H., Tutu, O. S., Linda Pa Im, N.D.M. and Blankson, S. A. 2011. Contamination Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Selected Roads in Accra, Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3,5, 473-480
- Banerjee, A. D. K. 2003. Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution*, 123, 95-105
- Banks, E. C., Ferretti, L. E. and Shucard, D. W. 1997. Effects of low-level lead exposure on cognitive function in children: A review of behavioral, neuropsychological and biological evidence. *Neurotoxicology*, 18, 237-81.
- Banerjee, A. D. K. 2003. Heavy Metal Levels and Solid Phase Speciation in Street Dust of Delhi, India. *Environmental Pollution*, 123:95-105.
- Bhargava, A. K., Gupta, R., Bhargava, S. and Paridhi, P. 2003. Effect of automobile exhaust on total N, P and heavy metals of road side sugarcane at district Saharanpur. *Ad Plant Science*, 16, 557-560
- Binggan, W., and Linsheng, Y. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China, *Microchemical Journal* 94, 99-107
- Bleiwas, D. I. 2006. Stocks and flows of lead-based wheel weights in the United States: U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1111, 6 p.
- Chang, L. W. 1996. *Toxicology of Metals*. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA
- Chen, T. B., Wong, J. W. C., Zhou, H. Y. and Wong, M. H. 1997. Assessment of trace metal distribution in surface soils of Hong Kong. *Environmental Pollution*, Vol. 96, No. 1, 61-68
- Chatterjee, A., and Banerjee, R. N. 1999. In: Al-Momani, I. F. 2009. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Amman, Jordan, *Jordan J. Chem*, 4 (1), 77-87
- De Miguel, E., Llamas, J. F., Chacon, E., Berg, T., Reysset, S., Larssen, O. and Vadset, M. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unloaded petrol and urban lead. *Atmos Environ*, 31, 2733-2740
- Domingo, J. L. 1994. Metal-induced developmental toxicity in mammals: a review. *J Toxicological Environment and Health*, 42, 123-141
- EIP report. 2011. Pennsylvania, Ohio, Indiana, Kentucky and Texas are Top States in Terms of Toxic Power Plant Air Pollution, [www.environmentalintegrity.org/News & Reports](http://www.environmentalintegrity.org/News%20&%20Reports)
- Faiz, Y., Tufail, M., Javed, M. T., Chaudhry, M. M. and Siddique, N. 2009. Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan. *Microchemical Journal*. 92, 186-192
- Fergusson, J. E., and Kim, N. D. 1991. Trace elements in street and house dusts: sources and speciation. *Sci. Total Environ.*, 100, 125-150.
- Fergusson, J. E., Hayes, R. W., Young, T. S. and Thief, S. H. 1980. Heavy metal pollution by traffic in Christchurch, New Zealand, lead and cadmium content of dust, soil and plant samples. *New Zealand. J. Sci.*, 23, 293-310.
- Fergusson, J. E., Forbes, E. A., Schroeder, R. J. and Ryan, D. E. 1986. In: Al-Momani, I. F. 2009. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Amman, Jordan, *Jordan J. Chem*, 4 (1), 77-87
- Hakanson, L. 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res*, 14, 5, 975-1001
- Kartal, S., Elci, L. and Dogan, M. 1992. Investigation of lead, nickel, cadmium and zinc pollution of traffic in Kayseri. *Fresen. Environ. Bull.*, 1, 28-33.
- Kollmeier, H., Seemann, J. W. and Muller, K. M. 1987. Increased chromium and nickel content in lung tissue and bronchial carcinoma. *Am J Ind Med*, 11, 659-69.
- Li, X., Poon, C. S. and Lin, P. S. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dust in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 16, 1361-1368

- Loska, K., Wiechula, D., Barska, B., Cebula, E. and Chojnecka, A. 2003. Assessment of arsenic enrichment of cultivated soils in Southern Poland. *Pol. J. Environ. Stud.*, 12 (2), 187–192
- Lu, X., Wang, I., Lei, k., Huaing, J. and Zhai, Y. 2009. Contamination assessment of copper, Lead, Zinc, Manganese and Nickel in street dust of Boaji, N. W.china. *J hazardous Materials*, 161, 1058-1062
- Malkoç, S., Yazıcı, B., Altan, M. and Koparal, A.S. 2010. Street dust pollution of some metals along Eskisehir urban roads, Turkey, ICENV, Malezya-Penang, 13-15
- Manno, E., Varrica, D. and Dongarrá, G. 2006. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmos Environ*, 40, 5929-5941
- Martin, S., and Griswold, W. 2009. Human Health Effects of Heavy Metals, Issue 15, <https://www.engg.ksu.edu/CHSR/outreach/resources/>
- Mmolawa, K. B., Likuku, A. S. and Gaboufloe, G. K. 2011. Assessment of heavy metal pollution in soils along major roadside areas in Botswana. *African J. Environmental Science and Technology*, Vol. 5, 3, pp. 186-196
- Muller, G. 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2, 108–118.
- Narin, I., and Soyulak, M. 1999. Monitoring trace metal levels in Nigde, Turkey: nickel, copper, manganese, cadmium and cobalt contents of the street dust samples. *Trace Elements and Electrolytes*, 16, 2, 99-103.
- Nasr, S. M., Okbah, M. A. and Kasem, S. M. 2006. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution in ottom Sediment of Aden Port, Yemen. *Int. J. of Ocean & Oceanography*, Vol. 1,1, 99-109
- Ordóñez, A., Loreda, J., De Miguel, E. and Charlesworth, S. 2003. Distribution of heavy metals in street dust and soils of an industrial city in Northern Spain. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44: 160–170.
- Patel, K. S., Shukla, A., Tripathi, A. N. and Hoffman, P. 2001. Heavy metal concentrations of precipitation in east Madhya Pradesh of India. *Water, Air and Soil Pollution*, 130, 463-468
- Raithel, H. J., Schaller, K. H., Reith, A., Svenes, K. B. and Valentin, H. 1988. Investigations on the quantitative determination of nickel and chromium in human lung tissue industrial medical toxicological and occupational medical expertise aspects. *Int Arch Occup Environ Health*, 60, 55-66.
- Rasmussen, P. E., Subramanian, K. S. and Jessiman, K. S. 2001. A multi-elemental profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada, *Sci Total Environ*, 267, 125-140
- Ritter, C. J., and Rinefield, S. M. 1983. Natural background and pollution levels of some heavy metals in soils from the area of Dayton, OH. *Environmental geology*, 5, 73-78
- Root, R. A. 2000. Lead Loading of Urban Streets by Motor Vehicle Wheel Weights, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 108, No. 10
- Sezgin, N., Ozcan, H. K., Demir, G., Nemlioglu, S. and Bayat, C. 2003. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*, Vol. 29, No. 7, pp. 979-985.
- Shinggu, D. Y., Ogugbuaja, V. O., Toma, I. and barminas, J. T. 2010. Determination of heavy metals in street duct in Yola, Nigeria. *African journal of Pure and Applied Chemistry*, Vol. 4 (1), 17-21
- Shi, G., Chen, S., Xu, S., Zhang, J., Wang, C. and Bi, J. 2008. Potentially toxic metal contamination of urban soils and roadside dust in Shanghai, China, *Environmental Potential*, 156, 251-260
- Smichowski, P., Gómez, D. R., Frazzoli, C. and Caroli, S. 2008. Traffic-related elements in airborne particulate matter, *Appl. Spectros. Rev.*, 43, 23-49.
- Taylor, S. R., and McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Taylor, S. R., and McLennan, S. M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Rev. Geophys*, 33, 241–265.
- Thomilson, D. C., Wilson, D. J., Harris, C. R. and Jeffrey, D. W. 1980. Problem in heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. *Helgol Wiss Meeresunlter*, 33,1–4, 566–575.
- Turer, D. 2005. Effect of non-vehicular sources on heavy metal concentrations of roadside soils. *Water, Air, soil pollution*, 166, 251-264

Wei, B., and Yang, L. 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils , urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94, 99–107

Yongming, H., Peixuan, D. and Junji, E. S. 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, 355, 176-186

Yeung, Z. L. L., Kwok, R. C. W. and Yu, K. N. 2003. A multi-elemental profile of street dust using energy dispersion XRF", *Appl Radiat Isot* , 58, 339-346