

## بررسی عناصر سنگین (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) موجود در غبار ریزشی شهر تهران

فاطمه ارسلانی<sup>\*</sup>، بهلول علیجانی<sup>۱</sup>، مهری اکبری<sup>۱</sup>، شیرین محمدخان<sup>۲</sup>

۱- گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۲/۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۶/۲۳

### چکیده

هدف پژوهش حاضر تعیین غلظت عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی شهر تهران، تحلیل فضایی آن و محاسبه شاخص‌های آلودگی جهت بررسی شدت تأثیر عوامل انسان‌ساخت است. بدین‌منظور غبار ریزشی با استفاده از تله رسوب‌گیر تیل‌های<sup>۱</sup> MDCO در ۲۸ ایستگاه شهر تهران در دوره آماری (۱۳۹۷/۳/۳۱) - (۱۳۹۶/۱۰/۱) جمع‌آوری شد. جهت شناسایی و تعیین غلظت عناصر سنگین (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) موجود در گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده، از آنالیز<sup>۲</sup> XRF، تعیین پراکندگی مکانی - زمانی عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی از روش درون‌یابی کریجینگ، ردیابی مسیر ورود آن به کلان شهر تهران از مدل<sup>۳</sup> HYSPLIT و تعیین سطح آلودگی آن‌ها از شاخص‌های استاندارد (EF) و ( $I_{geo}$ ) استفاده شد. پایدار بودن هوا، وارونگی دما و استفاده بیشتر از وسایل گرمایشی در فصل زمستان باعث افزایش غلظت عناصر سنگین در زمستان نسبت به بهار شد. به دلیل الگوی غربی باد، ذرات ریز گردوغبار که حاوی فلزات سنگین است از غرب تهران به نقاط شرقی‌تر پراکنده می‌شود. بدلیل الگوی توپوگرافی تهران و کم شدن سرعت باد در شرق، غلظت این عناصر در شرق بیشتر از غرب می‌باشد. بیشترین غلظت کروم در نواحی مرکزی به سمت جنوب تهران قرار دارد. یکی از دلایل آن، معادن شن و ماسه واقع در غرب تهران است. براساس مقادیر شاخص غنی‌شدگی (EF) و شاخص زمین‌انباشت ( $I_{geo}$ ) غلظت فلزات سنگین موجود در گردوغبار ریزشی در زمستان ۱۳۹۶ و بهار ۱۳۹۷ به ترتیب  $Ni > Cr > Cu > Pb > Cd$  می‌باشد. سرب و کادمیوم منشأ انسانی، مس، کروم و نیکل منشأ طبیعی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل فضایی، تله‌رسوب‌گیر MDCO، شهر تهران، غبار ریزشی، فلزات سنگین.

## مقدمه

منجر به افزایش سطوح فلزات سنگین در محیط زیست می‌گردد. این فلزات در غبار، خاک و آب های سطحی تجمع پیدا کرده و اکوسیستم جهانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد ( Al-Khashman, 2007; Sadiq and Mian, 1994; Almory and Belhadj, 2007). فلزات سنگین به دلیل سمیت و ماندگاری در محیط زیست جزء خطرناک‌ترین گروه از آلاینده‌های انسان‌ساخت طبقه‌بندی می‌شود ( Kumar Sharma et al, 2008; Almory and Belhadj, 2007; Csavina et al, 2012). به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر انسان و سایر موجودات زنده در غلظت‌های کم نیز حائز اهمیت شناخته شده‌اند ( Kumar Sharma et al, 2008; wang et al, 2012). تأثیرات زیان بار فلزات سنگین بر سلامتی انسان از جهات مختلف به اثبات رسیده است و مواجهه با این دسته از آلاینده‌ها موجب مسمومیت‌های حاد و مزمن و بیماری‌های بسیاری از جمله اختلالات عصبی، فقر موادغذایی، برهم خوردن تعادل هورمون‌ها، چاقی، سقط جنین، اختلالات تنفسی و قلبی، آسیب‌های کبدی و کلیوی، آلرژی و آسم، عفونت‌های ویروسی مزمن، کاهش آستانه تحمل بدن، ناباروری، کم‌خونی و خستگی، تضعیف سیستم ایمنی بدن، تخریب ژن‌ها، پیری زودرس، کاهش حافظه، پوکی استخوان، ریزش مو، بی‌خوابی، انواع سرطان و مرگ اشاره کرد (Alloway, 1995). پایش غلظت این عناصر در ذرات اتمسفر اطلاعات مهمی در خصوص میزان آلودگی هوا و همچنین ارزیابی خطرات بالقوه برای انسان در اختیار می‌گذارد (Rizzio et al, 1999). برخی از محققان از جمله مودایش (Modaihsh, 1997) در ریاض پایتخت عربستان سعودی، لی و همکاران ( Li et al, 2001) در هنگ کنگ، اوردونز ( Ordonez et al, 2003) در شمال اسپانیا، مزافیگورا و همکاران ( Meza-Figueroa et al, 2007) در شمال

غبارها به ترکیبات ذره‌ای معلق در هوا گفته می‌شود که از منابع مختلف زمینی و انسان‌ساز به وجود می‌آیند و پس از گذشت زمان با توجه به اندازه و چگالی‌شان مجدداً روی سطح زمین فرو می‌نشینند (سلمان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از دلایل اصلی بررسی گرد و غبار ریزشی، استنشاق این ذرات توسط افراد است. و عمدتاً گردوغبار در خیابان‌ها به فلزات سنگین آلوده است، افراد در معرض مخاطرات بهداشتی مرتبط با این آلودگی‌ها قرار می‌گیرند. ( Apeageyi et al, 2011; El-Araby, 2011; Christoforidis and Stamatis 2009; Duong and Lee, 2011; Oliva and Fernández Espinosa, 2007). گزارشات زیادی مبنی بر تهدید انسان بر اثر غبار به ویژه برای کودکان به دلیل تحمل کمتر آنها در مقابل سمیت و همچنین خوردن مقدار قابل توجهی خاک از طریق دهان ارائه شده ( Zheng et al, 2010; Hu et al, 2011; Kabadayi, 2010; Oliva and Fernández Espinosa, 2007). بنابراین غبار کف خیابان به عنوان یک منبع آلودگی قابل توجه به رسمیت شناخته شده است ( Charlesworth et al, 2003). ترکیب غبار ریزشی پیچیده و در اکثر موارد ثابت نیست و غلظت فلزات سنگین در آن بسیار متغیر (Sami et al, 2006). فلزات سنگین با اتصال به ذرات گردوغبار قادرند در مقیاس وسیع منتشر شوند (Duong and lee, 2011). ذرات گردوغبار بسته به منشأ و مسیر حرکت خود توانایی بالایی در حمل فلزات سنگین دارند (Khozestani and Souri, 2013). منابع مختلف طبیعی و مصنوعی برای فلزات سنگین در محیط زیست وجود دارد، علاوه بر منابع طبیعی و سنگ بستر، غالباً این فلزات دارای منشأ انسان ساخت است (Csavina et al, 2012). فعالیت‌های انسانی

پژوهشگران از جمله جیری (Jiries, 2003) در شهر امان<sup>۵</sup>، پایتخت اردن، وی و همکاران (Wei et al, 2009) شهر ارومگی<sup>۶</sup> در چین، دهقانی و همکاران (۲۰۱۷) در تهران به تحلیل فضایی عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی پرداختند. طی سال‌های گذشته شناسایی مناطق منبع گردوغبار در تحقیقات بی‌شماری مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این پژوهش‌ها از روش‌های متداولی از جمله سنجش از دور، مدلسازی عددی هواشناسی و مشاهدات زمینی گردوغبار، برای شناسایی مناطق گردوغبار استفاده شده است. مدل HYSPLIT یکی از پرکاربردترین مدل‌های هواشناسی در تعیین مسیر حرکت گردوغبار است. برخی از محققین از جمله وانگ و همکاران (Wang et al, 2011) در چین، استاین و همکاران (Stein et al, 2011) در شبه جزیره ایبری جنوبی، چن و همکاران (Chen et al, 2013) در مجتمع بزرگ صنعتی در جنوب اسپانیا، کاو و همکاران (Cao et al, 2015) در مناطق خشک و نیمه خشک منطقه آسیای غربی به ویژه دجله و فرات، ها و همکاران (Ha et al, 2017) در کره، مفیدی و جعفری (۱۳۹۰) در جنوب غرب ایران، سلیم و ارحام (۱۳۹۲) در دو کلان‌شهر اراک و اصفهان، در ارزیابی و شناسایی منابع آلودگی هوای شهری از این مدل استفاده نموده‌اند. و نشان دادند که مدل (HYSPLIT) می‌تواند شرایط جوی و مسیر حرکت جریان‌ها را به خوبی ارزیابی و کانون‌های ایجاد گردوغبار را ردیابی کند. تهران از جمله شهرهای بزرگ دنیاست که هم‌اکنون به شدت با مسئله آلودگی هوا، ریزگردها و طوفان‌های ناگهانی درگیر است (Akbari et al, 2018). با توجه به این مسئله که کلان‌شهر تهران جمعیتی بیش از هشت میلیون نفر دارد. برای ایجاد محیط زیست امن‌تر و سالم‌تر برای

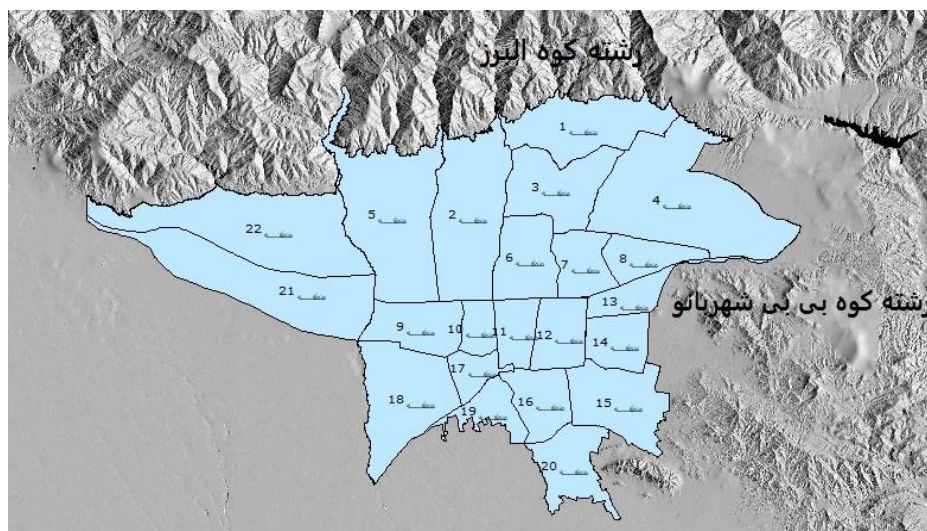
مکزیک، زراسوندی و همکاران (۲۰۱۱) در خوزستان، فرهمندکیا و همکاران (۱۳۸۸) در زنجان، اکبری و همکاران (۱۳۹۱) در بهبهان، جورکش و همکاران (۱۳۹۱) در لنجان اصفهان، به مطالعه‌ی عناصر سنگین موجود در گردو غبار ریزشی پرداختند. در پژوهش‌های زیست محیطی از شاخص‌های محاسباتی مانند شاخص زمین-انباشتگی  $I_{geo}$ ، فاکتور غنی‌شدگی EF، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی برای شناخت منشأ و شدت آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها، رسوبات و گردوغبار استفاده می‌شود (Gonzalez et al, 2006; Lu et al, 2009). به ویژه زمانی که فاکتورهای طبیعی و انسانی به‌طور همزمان غلظت فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توان برای تعیین میزان اثر فاکتور خارجی از فاکتور غنی‌شدگی (EF) استفاده کرد (Ta et al, 2004). از شاخص زمین انباشتگی ( $I_{geo}$ ) به منظور مشخص کردن سطح آلودگی و میزان تأثیر عوامل انسان‌زاد از عوامل طبیعی استفاده می‌شود. این شاخص می‌تواند بیانگر شدت تأثیر عوامل خارجی (انسان‌زاد) باشد (Anagnostou et al, 1997). گونگ و همکاران (Gong et al, 2008) در چین، چایی و لی (Cai and li, 2019) در نمونه غبارهای خیابانی در شهر شیجیاچا<sup>۴</sup> چین، الثانی (Al-Thani et al, 2018) در شهر دوحه در قطر، بقائی و احمدی (۲۰۱۹) در اصفهان، تقوی و همکاران (۲۰۱۹) در تهران مقادیر شاخص زمین‌انباشتگی و شاخص آلودگی را در جهت تعیین نقش عامل انسانی در افزایش عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی محاسبه کردند. مراد از مفهوم تحلیل فضایی نخست توصیف پراکندگی‌ها از نظر ساختار فضایی است. سپس، براساس رابطه‌ی فضایی آن‌ها با پراکندگی‌های دیگر استدلال برای دلیل وجود آن‌ها صورت می‌گیرد (علیجانی، ۱۳۹۴). برخی

واقف شده است که در بازه‌ای از زمان تحت تأثیر سیستم‌های عرض‌های میانی و در بازه‌ای دیگر متأثر از سیستم‌های عرض‌های پایین جغرافیایی قرار می‌گیرد. ناهمواری‌های کم‌انی‌شکل در اطراف تهران، نقش بی‌دلیلی در اقلیم آن دارد. گسترش شهر در این محیط بسته سبب تشدید مخاطرات آب و هوایی شده است. اگر وارونگی در هر محیطی می‌تواند علت تشدید آلودگی‌های جوی شود، در محیط بسته‌ی تهران به صورت مضاعف تأثیرگذار خواهد بود. تهران از جهت شمال با دامنه‌های جنوبی البرز و از جانب شرق با رشته کوه‌های بی‌بی‌شهربانو محصور شده است (شکل ۱). استقرار در پناه این ناهمواری‌ها سبب تشدید مخاطرات آب و هوایی شده است. این موقعیت جغرافیایی سبب شده جریان بادهای منطقه‌ای کمتر در تهویه‌ی هوای تهران مؤثر باشند (سلیقه، ۱۳۹۴).

انبوه جمعیت حاضر، در دست داشتن اطلاعات جامع پیرامون گرد و غبار ریزشی می‌تواند ما را در مدیریت توسعه پایدار و ایجاد محیط زیست امن‌تر برای ساکنان یاری رساند. لذا هدف پژوهش حاضر تعیین غلظت عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی شهر تهران، تحلیل فضایی آن و محاسبه شاخص‌های آلودگی جهت بررسی شدت تأثیر عوامل انسان‌ساخت است. تا بتوانیم برنامه‌های دقیق، علمی و کاربردی را طرح‌ریزی کنیم.

### منطقه مورد مطالعه

تهران، شهری در ارتفاع متوسط ۱۱۰۰ متر، از نظر شرایط آب و هوایی در بیشتر موارد هوایی آرام دارد. وجود وارونگی‌های دمایی فراوان به ویژه در دوره‌ی سرد سال و استقرار سامانه‌های پرفشار در زمستان، همگی حاکی از احتمال بالای پایداری هوای شهری است. تهران در دامنه‌های جنوبی کوه‌های البرز در محدوده‌ای از شرایط آب و هوایی



شکل ۱: احاطه شدن تهران توسط رشته کوه البرز در شمال و رشته کوه بی‌بی‌شهربانو در شرق

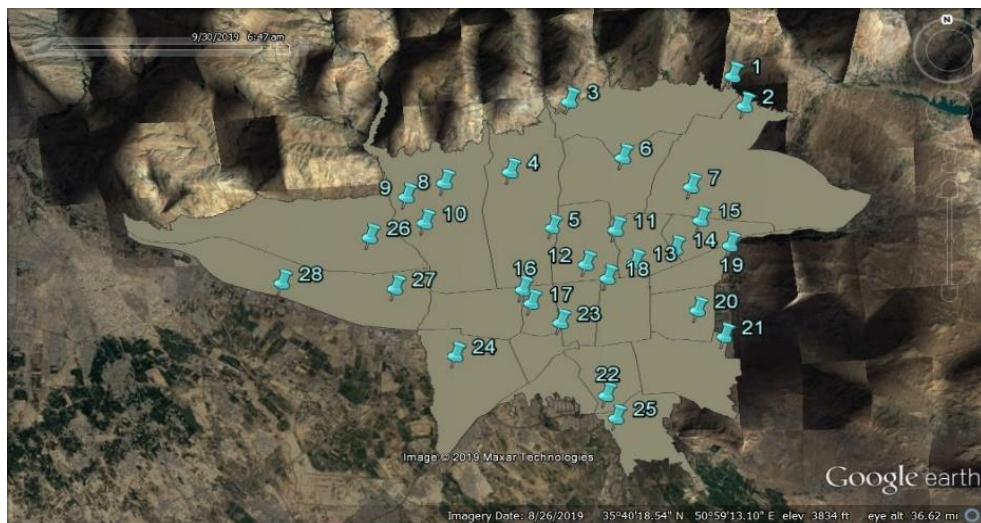
در روش آزمایشگاهی از تله‌رسوبگیر برای جمع-آوری غبارهای افقی و عمودی استفاده می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی تله‌رسوبگیر کارآمدی آن است.

### مواد و روش‌ها

امروزه برای برآورد اندازه‌گیری غبار ریزشی دو روش محاسبات تئوری و آزمایشگاهی وجود دارد.

مورد استفاده قرار می‌گیرد، و در تحقیقات بیابانی عمومیت زیادی را دارا می‌باشد. این رسوبگیر در ابتدا توسط گانر (Ganor, 1975) طراحی شد. در این پژوهش برای توزیع مناسب تله‌های رسوبگیر در سطح شهر، در هر منطقه یک تله رسوبگیر نصب گردید و در مناطقی که وسعت بیشتری را شامل می‌شدند دو یا سه تله نصب گردید (شکل ۲).

راندمان یک تله رسوبگیر به عوامل مختلفی نظیر اندازه و شکل تپله، سرعت باد، اندازه ذره، فیلتر جمع‌کننده گردوغبار در تله و زمان وابسته است (Gosser and Offer, 2000). در این پژوهش برای جمع‌آوری غبار ریزشی از روش آزمایشگاهی، جمع‌آوری غبار با استفاده از تله رسوبگیر استفاده کردیم. تله مورد استفاده در این پژوهش MDGO بوده است که به‌طور گسترده در جهان



شکل ۲: موقعیت مکان‌های جمع‌آوری گردوغبار در Google Earth  
 ۱. بلوار نیرو هوایی، ۲. سازمان جنگل‌ها، ۳. خوابگاه شهید بهشتی، ۴. بلوار دادمان، ۵. گیشا، ۶. بلوار آرش، ۷. بلوار بیژن، ۸. جنت آباد، ۹. پل کن، ۱۰. بلوار تعاون، ۱۱. خوابگاه دانشگاه خوارزمی، ۱۲. دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، ۱۳. خانه جغرافیا، ۱۴. خیابان انصارالحسین، ۱۵. میدان نود، ۱۶. هاشمی، ۱۷. کمیل غربی، ۱۸. سی تیر، ۱۹. حسینیه موسی‌الرضا، ۲۰. شاهد، ۲۱. زمین‌شناسی، ۲۲. شهرک وصال، ۲۳. کمپانی، ۲۴. یافت‌آباد، ۲۵. خیابان امام‌زاده ابوالحسن، ۲۷. تهرانسر، ۲۸. مرکز بهداشت الزهرا

آماری در SPSS و جهت تحلیل فضایی، از درون-یابی در Arc Map 10.5 استفاده شد. از میان روش‌های درون‌یابی، کریجینگ به دلیل اینکه هر دو ساختار منطقه‌ای و محلی را در نظر می‌گیرد، مناسب‌تر تشخیص داده شد. بررسی آماری داده‌ها در دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که غلظت عناصر سنگین (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) دارای رفتار منطقه‌ای (روند) هستند بنابراین از کریجینگ رونددار (Universal) استفاده شد. همچنین داده‌های سرعت و جهت باد روزانه در دوره آماری

نمونه‌گیری در دو دوره (سه ماهه) زمستان ۱۳۹۶، بهار ۱۳۹۷ انجام شد و در مجموع ۵۴ نمونه غبار ریزشی از مناطق مختلف شهر جمع‌آوری شد. غبارهای به دام افتاده در تله‌های رسوبگیر با دقت تمام جمع‌آوری شدند. پس از آماده‌سازی اولیه برای انجام آزمایش‌های مربوطه به آزمایشگاه شیمی دانشگاه تهران منتقل شدند. برای شناسایی و تعیین غلظت عناصر سنگین موجود در گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده از آنالیز XRF استفاده شد. جهت تحلیل زمانی داده‌ها، از تحلیل‌های

فاکتور غنی‌شدگی (Enrichment Factor) استفاده شد. منابع ممکن است انسان‌زاد، طبیعی یا ترکیبی از هر دو مورد ذکر شده باشد. این شاخص از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

رابطه ۱)

$$EF = \frac{(C_X / C_{ref})_{sample}}{(C_X / C_{ref})_{background}}$$

که در آن  $(C_X / C_{ref})_{sample}$  نسبت غلظت فلز موردنظر به فلز مبنا در نمونه مورد مطالعه و  $(C_X / C_{ref})_{background}$  نسبت غلظت فلز موردنظر به فلز مبنا به عنوان فلز زمینه است. گروه‌های مختلف تغییرات ضریب غنی‌شدگی در جدول ۱ ارائه شده است (Sutherland, 2000).

شش ماهه (۹۷/۳/۳۰ - ۹۶/۱۰/۱) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. و با کمک نرم‌افزار WRPLOT برای تحلیل آماری و مکانی باد گباد آن ترسیم گردید. از داده‌های مدل HYSPLIT برای بررسی حرکت رو به جلو آلاینده‌های جوی بهره گرفته می‌شود. برای اجرای مدل از مجموع داده‌های FNL استفاده شد. داده‌های FNL (Final) در واقع داده‌های NCEP<sup>v</sup> هستند که توسط لابراتوار منابع هوا وابسته به NOAA<sup>h</sup> مورد پردازش مجدد قرار گرفته است. این داده‌ها با قدرت تفکیک افقی ۱\*۱ درجه، برای ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰۰-۱۰۰ هکتوپاسگال) و با گام زمانی ۶ ساعته از جولای ۱۹۹۹ در دسترس می‌باشند. جهت شناسایی منابع تولید کننده آلاینده‌ها از

جدول ۱: طبقه‌بندی سطح آلودگی براساس فاکتور غنی‌شدگی (Sutherland, 2000)

کلاس	فاکتور غنی‌شدگی	درجه غنی‌شدگی
۱	$EF < 2$	غنی‌شدگی کم
۲	$2 \leq EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط
۳	$5 \leq EF < 20$	غنی‌شدگی زیاد
۴	$20 \leq EF < 40$	غنی‌شدگی خیلی زیاد
۵	$EF \geq 40$	غنی‌شدگی بشدت زیاد

که در آن  $C_n$  غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه و  $B_n$  غلظت اندازه‌گیری شده در زمینه می‌باشد. ضریب ۱/۵ نیز برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظت‌های زمینه ناشی از فعالیت‌های زمین‌شناسی اعمال می‌شود. طبقه‌بندی شاخص زمین‌انباشت در جدول ۲ ارائه شده است.

برای تعیین درجه آلودگی فلزات سنگین در خاک و گردوغبار خیابان از شاخص زمین‌انباشت (Index of geoaccumulation) استفاده شد. این شاخص با استفاده از فرمول رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

رابطه ۲)

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \{ C_n / 1.5 B_n \}$$

جدول ۲: طبقات شاخص زمین‌انباشتگی (Loska and Wiechula, 2003)

کلاس	شاخص زمین‌انباشتگی	درجه آلودگی
0	$I_{geo} \leq 0$	غیرآلوده
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	غیرآلوده تا کمی آلوده
2	$1 < I_{geo} \leq 2$	کمی آلوده
3	$2 < I_{geo} \leq 3$	کمی آلوده تا خیلی آلوده
4	$3 < I_{geo} \leq 4$	خیلی آلوده
5	$4 < I_{geo} \leq 5$	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
6	$I_{geo} > 5$	شدیداً آلوده

به عنوان فلز مبنا برای نرمال سازی محاسبات استفاده می شود. زیرا این فلز میزان بیشتری را در پوسته زمین دارد (Al Bakain et al, 2012). سهم منابع انسانی برای تولید آن ناچیز است (Yaroshevsky, 2006). و به طور عمده از منابع طبیعی ناشی می شود (Saeedi et al, 2012).

### نتایج

میانگین و انحراف استاندارد فلزات سنگین موجود در غبار ریزشی شهر تهران محاسبه شد (جدول ۳). برای سنجش نرمال بودن مقادیر غلظت فلزات سنگین از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) استفاده شد. نتایج این آزمون در زمستان و بهار به ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است.

در دو فرمول ذکر شده در بالا به مقداری به نام مقدار زمینه نیاز است که در بعضی از مطالعات از غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به عنوان مقادیر زمینه استفاده شده است (Tokalioglu et al, 2006; Kartal et al, 2006). در این مطالعه نیز از مقادیر موجود در پوسته زمین به عنوان مقادیر زمینه استفاده شده است. همچنین در فرمول فاکتور غنی شدگی (EF) به فلز مبنا نیاز است. فلز مبنا فلزی پایستار (زمین زاد) مانند Al، Fe و Mn است (Tam and Yao, 1998). برای تعیین فاکتور غنی شدگی بیشتر از عناصری چون Fe، Al و Li به عنوان فلزات مبنا استفاده می شود (Saeedi et al, 2012). وانگ و همکاران (۲۰۰۹) و الباکیان و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود از آهن به عنوان فلز مبنا استفاده کردند (Al Bakain et al, 2012; Wang et al, 2009). در این پژوهش نیز از آهن

جدول ۳: آمار توصیفی فلزات سنگین موجود در گردوغبار ریزشی تهران در مقایسه با میانگین غلظت فلزات در پوسته زمین و استاندارد غلظت فلزات در خاک

عنصر	بهار ۱۳۹۷		زمستان ۱۳۹۶		میانگین غلظت فلزات در پوسته زمین (Karbassi et al, 2005; Niencheski et al, 2002)	استانداردهای آلودگی منابع خاک و راهنمای آن (معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب و خاک)	درصد(%) ایستگاه های بالاتر از حد استاندارد در زمستان ۱۳۹۶	درصد(%) ایستگاه های بالاتر از حد استاندارد در بهار ۱۳۹۷
	Mean	Std. Deviation	Mean	Std. Deviation				
Cd	۲	۰.۷	۲.۹	۲.۱	۰.۲	۲	۷۴	۲۸
Cr	۱۰.۵	۱۶۲	۱۰۲.۱	۳۷.۱	۱۰۰	۱۱۰	۴۰	۴۴
Cu	۱۱۲.۵	۲۸.۱	۱۸۷.۶	۵۹.۷	۵۰	۱۰۰	۸۸.۸	۷۲
Ni	۶۳	۱۷.۴	۶۱.۱	۲۰.۵	۸۰	۵۰	۷۰.۳	۸۰
Pb	۱۱۶.۵	۴۸.۲	۲۰۸.۶	۷۰.۷	۱۴	۵۰	۱۰۰	۹۶
Fe	۳۱۶۴۲	۸۴۵۵.۳۳	۳۲۴۴۹	۹۶۶۴.۳۸	۴۱۰۰۰			

شاخص های پراکندگی و تمرکز را به طور همزمان نشان دهد. خط عرضی وسط، میانه داده ها بوده

در این پژوهش برای نشان دادن توزیع داده ها از نمودار جعبه ای، که یک روش استاندارد برای نمایش توزیع داده ها است، استفاده شده تا

**کادمیوم (Cd)**

میانگین و انحراف معیار غلظت کادمیوم در زمستان بالاتر از بهار است. کادمیوم در زمستان تغییرپذیری بالاتری نسبت به بهار دارد (شکل ۳). حد استاندارد آن در خاک ایران ۲ است (جدول ۳). در زمستان در ۷۴٪ ایستگاه‌ها و در بهار در ۲۸٪ ایستگاه‌ها بالاتر از حد استاندارد است. برای بررسی معنی‌داری تفاوت غلظت کادمیوم در زمستان و بهار از آزمون مان-ویتنی استفاده شد.

است و جعبه، محدوده‌ای است که ۲۵٪-۷۵٪ داده‌ها در آن محدوده قرار دارند. خطوطی که از مستطیل خارج شده و به سمت بالا و پایین کشیده شدند به عنوان بزرگترین و کوچکترین داده که از لحاظ آماری پرت نیستند در نظر گرفته شد. نقاطی که به صورت دایره نشان داده شدند، داده‌های نسبتاً پرت و نقاط به صورت ستاره نیز داده‌های خیلی پرت است.

جدول ۴: نتایج آزمون نرمال بودن عناصر سنگین در زمستان

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Cd.w	.182	27	.022	.874	27	.004
Cr.w	.108	27	.200*	.972	27	.659
Cu.w	.112	27	.200*	.963	27	.428
Ni.w	.088	27	.200*	.982	27	.908
Pb.w	.123	27	.200*	.973	27	.676
a. Lilliefors Significance Correction						
*. This is a lower bound of the true significance.						

جدول ۵: نتایج آزمون نرمال بودن عناصر سنگین در بهار

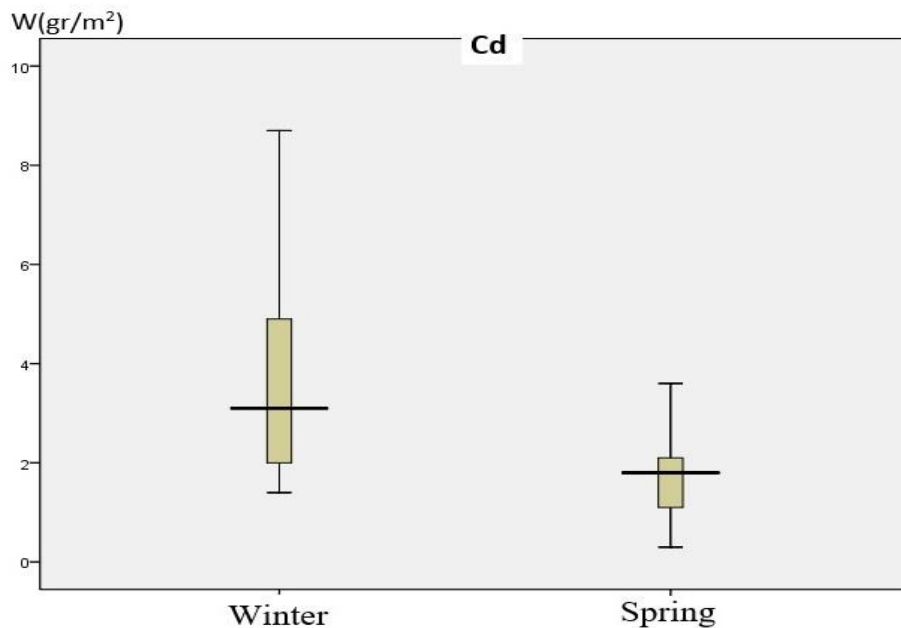
Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Cd.s	.108	25	.200*	.971	25	.660
Cr.s	.321	25	.000	.607	25	.000
Cu.s	.163	25	.084	.958	25	.381
Ni.s	.148	25	.161	.931	25	.089
Pb.s	.123	25	.200*	.967	25	.558
a. Lilliefors Significance Correction						
*. This is a lower bound of the true significance.						

جدول ۶: نتایج آزمون مان-ویتنی برای غلظت کادمیوم

Test Statistics <sup>a</sup>	
	Cd
Mann-Whitney U	150.500
Wilcoxon W	475.500
Z	-3.432
Asymp. Sig. (2-tailed)	.001
a. Grouping Variable: season	



سطح معنی‌داری (sig) به دست آمده کمتر از ۰/۰۱ است ( $P < 0.01$ ) که نشان می‌دهد بین میانگین دو فصل تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۶).



شکل ۳: غلظت کادمیوم در غبار ریزشی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف شهر تهران

میانگین غلظت کروم در منطقه‌ی مورد مطالعه است. غلظت کروم در نمونه شماره ۱۶، ایستگاه هاشمی واقع در منطقه ۹، (380mg/kg)، نمونه شماره ۱۹، ایستگاه حسینییه موسی الرضا واقع در منطقه ۱۳ (362mg/kg) و نمونه شماره ۱۸ ایستگاه سی‌تیر واقع در منطقه ۱۲ (287mg/kg) بوده است. غلظت کروم در این ایستگاه‌ها تقریباً ۲ برابر میانگین غلظت کروم در منطقه‌ی مورد مطالعه است. غلظت کروم در نمونه شماره ۲۰ ایستگاه شاهد ۲ واقع در منطقه ۱۴ (242mg/kg) بوده است. که تقریباً ۱/۵ برابر میانگین غلظت کروم در منطقه‌ی مورد مطالعه است. برای بررسی معنی‌داری تفاوت غلظت کروم در زمستان و بهار از آزمون مان-ویتنی استفاده شد. سطح معنی‌داری (sig) به دست آمده بیشتر از ۰/۰۱ است ( $P > 0.01$ ) که نشان می‌دهد بین میانگین دو فصل تفاوت معنی‌دار وجود ندارد (جدول ۷).

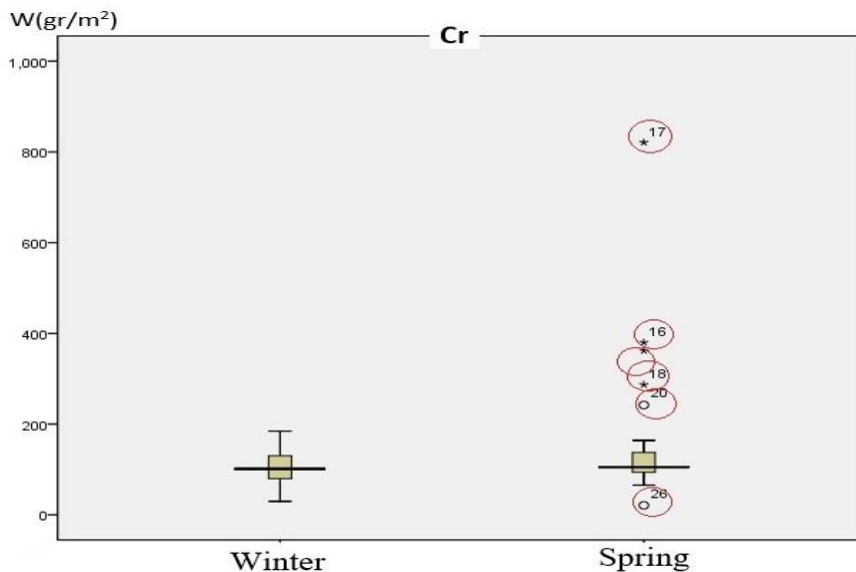
#### کروم (Cr)

میانگین غلظت کروم در زمستان و بهار بسیار به هم نزدیک است. ولی انحراف استاندارد آن در بهار بالاتر از زمستان است. حد استاندارد کروم در خاک ایران ۱۱۰ است (جدول ۳). در زمستان تقریباً ۴۰ درصد از ایستگاه‌ها و در بهار ۴۴ درصد از ایستگاه‌ها غلظت بالاتر از حد استاندارد دارند. ایستگاه مرکز بهداشت‌الزهرها در هر دو فصل پایین‌ترین مقدار کروم را داشته است. این ایستگاه در فصل بهار فاصله‌ای به اندازه‌ی حداقل ۳- انحراف معیار با میانگین داشته است. و به عنوان ایستگاه نسبتاً پرت مشخص شده است. در بهار چندین نقطه‌ی پرت که فاصله‌ای به اندازه‌ی حداقل ۳+ انحراف معیار با میانگین داشته است، وجود دارد (شکل ۴). بالاترین غلظت کروم را نمونه شماره ۱۷، ایستگاه کمیل غربی واقع در منطقه ۱۰ با (821mg/kg) داشته است. که تقریباً ۵ برابر

جدول ۷: نتایج آزمون مان-ویتنی برای غلظت کروم

Test Statistics <sup>a</sup>	
	Cr
Mann-Whitney U	303.000
Wilcoxon W	681.000
Z	-.632
Asymp. Sig. (2-tailed)	.527

a. Grouping Variable: season



شکل ۴: غلظت کروم در غبار ریزشی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف شهر تهران

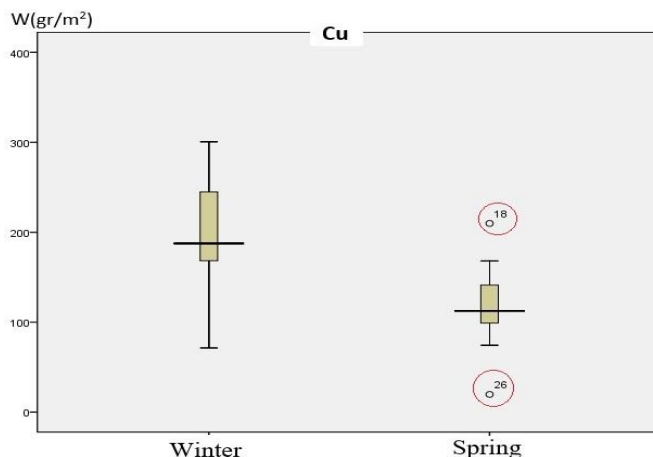
بهداشت الزهرا واقع در منطقه ۲۱ به عنوان داده پرت معرفی شدند (شکل ۵). برای بررسی معنی‌داری تفاوت غلظت مس در زمستان و بهار از T مستقل استفاده شد. سطح معنی‌داری (sig) به دست آمده کمتر از ۰/۰۱ است ( $P < 0.01$ ) که نشان می‌دهد بین میانگین دو فصل تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸).

#### مس (Cu)

میانگین و انحراف استاندارد مس در زمستان بالاتر از بهار است. حد استاندارد مس در خاک ایران ۱۰۰ است (جدول ۳). غلظت مس در زمستان در ۸۸/۸۸ درصد نقاط و در بهار در ۷۲ درصد نقاط بالا از حد استاندارد است. غلظت مس در زمستان میانگین و میانه بالاتری نسبت به بهار دارد. در بهار نمونه شماره ۱۸، ایستگاه سی‌تیر واقع در منطقه ۱۲ و نمونه شماره ۲۶، ایستگاه مرکز

جدول ۸: نتایج آزمون T مستقل برای غلظت مس

t-test for Equality of Means				
Cu	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Equal variances assumed	5.519	48	.000	75.07649
Equal variances not assumed	5.813	38.276	.000	75.07649



شکل ۵: غلظت مس در غبار ریزشی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف شهر تهران

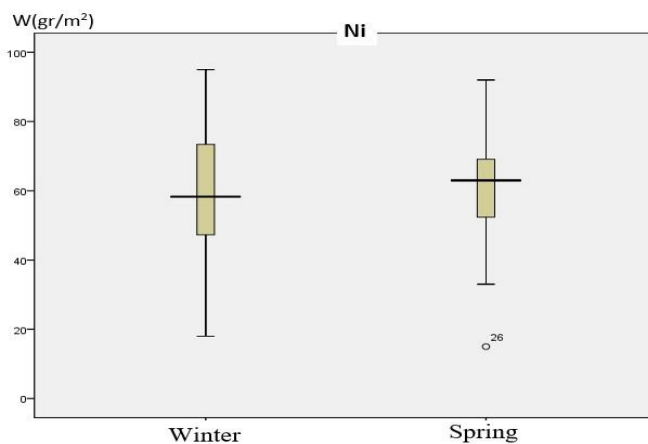
میانگین داشته است. کمترین مقدار را داشته و به عنوان داده‌ی پرت معرفی شده است. برای بررسی معنی‌داری تفاوت غلظت نیکل در زمستان و بهار از T مستقل استفاده شد. سطح معنی‌داری (sig) به دست آمده بیشتر از ۰/۰۱ است ( $P > 0.01$ ) که نشان می‌دهد بین میانگین دو فصل تفاوت معنی‌دار وجود ندارد (جدول ۹).

**نیکل (Ni)**

میانگین و انحراف استاندارد غلظت نیکل در زمستان و بهار بسیار به همدیگر نزدیک است (شکل ۶). حد استاندارد نیکل در خاک ایران ۵۰ است (جدول ۳). غلظت نیکل در زمستان در ۷۰/۳٪ ایستگاه‌ها و در بهار در ۸۰٪ ایستگاه‌ها بالاتر از حد استاندارد است. مرکز بهداشت الزهرا که فاصله‌ای به اندازه‌ی حداقل ۳- انحراف معیار با

جدول ۹: نتایج آزمون T مستقل برای غلظت نیکل

t-test for Equality of Means				
Ni	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Equal variances assumed	.622	50	.537	3.75363
Equal variances not assumed	.624	49.995	.536	3.75363



شکل ۶: غلظت نیکل در غبار ریزشی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف شهر تهران

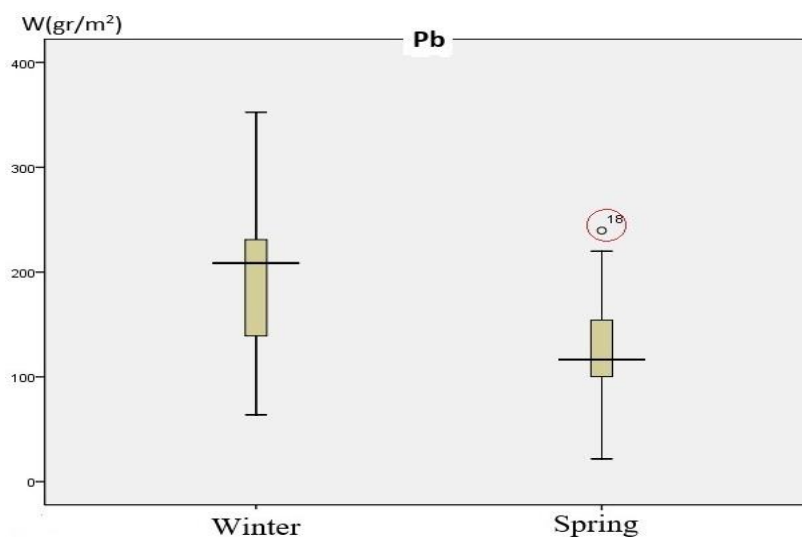
۱۸، ایستگاه سی‌تیر (منطقه ۱۲) و نمونه شماره ۲۶، ایستگاه مرکز بهداشت الزهرا (منطقه ۲۱) به عنوان داده‌ی پرت معرفی شدند (شکل ۷). برای بررسی معنی‌داری تفاوت غلظت سرب در زمستان و بهار از آزمون T مستقل استفاده شد. سطح معنی‌داری (sig) به دست آمده کمتر از ۰/۰۱ است ( $P < 0.01$ ). که نشان می‌دهد بین میانگین دو فصل تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۱۰).

**سرب (Pb)**

میانگین و انحراف استاندارد غلظت سرب در زمستان بالاتر از بهار است. حد استاندارد سرب در خاک ایران ۵۰ است (جدول ۳). در زمستان در تمام ایستگاه‌های انتخاب شده در شهر تهران مقدار سرب بالاتر از حد استاندارد بوده است. در بهار تمام ایستگاه‌ها مقادیر بالاتر از حد استاندارد دارد فقط ایستگاه مرکز بهداشت الزهرا مقادیر پایین‌تر از حد استاندارد دارد. در بهار نمونه شماره

جدول ۱۰: نتایج آزمون T مستقل برای غلظت سرب

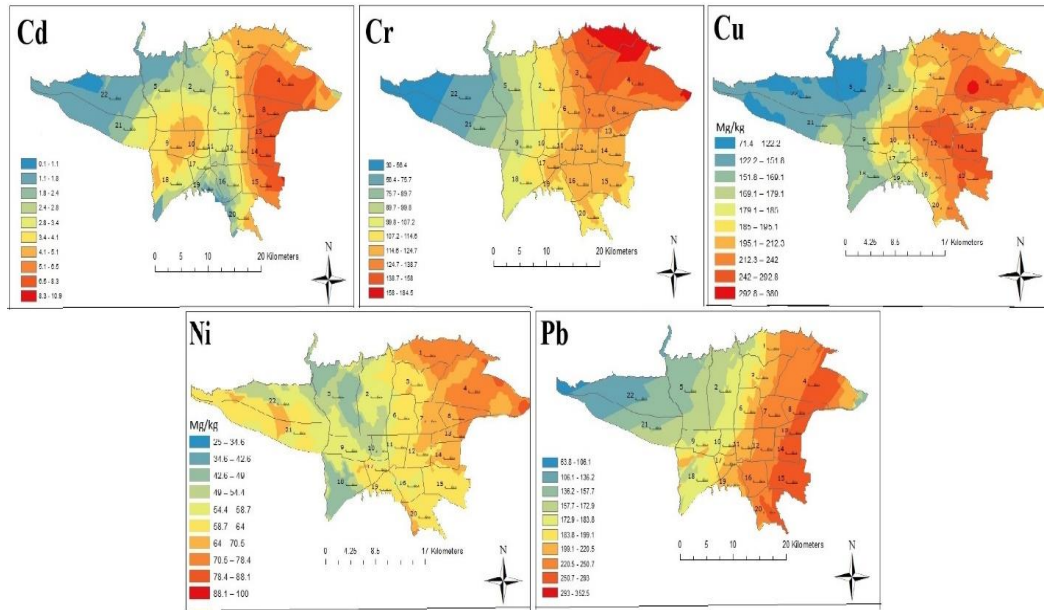
t-test for Equality of Means				
Pb	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Equal variances assumed	3.810	50	.000	64.52578
Equal variances not assumed	3.865	46.092	.000	64.52578



شکل ۷: غلظت سرب در غبار ریزشی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف شهر تهران

مس و سرب در غبار ریزشی جمع‌آوری شده از غرب تهران مشاهده می‌شود. و کمترین مقدار نیکل در بخش‌هایی از مناطق ۵، ۱۸ و ۲۲ مشاهده شده است. مناطق واقع در نیمه‌ی شرقی تهران بیشترین غلظت عناصر سنگین را دارند (شکل ۸).

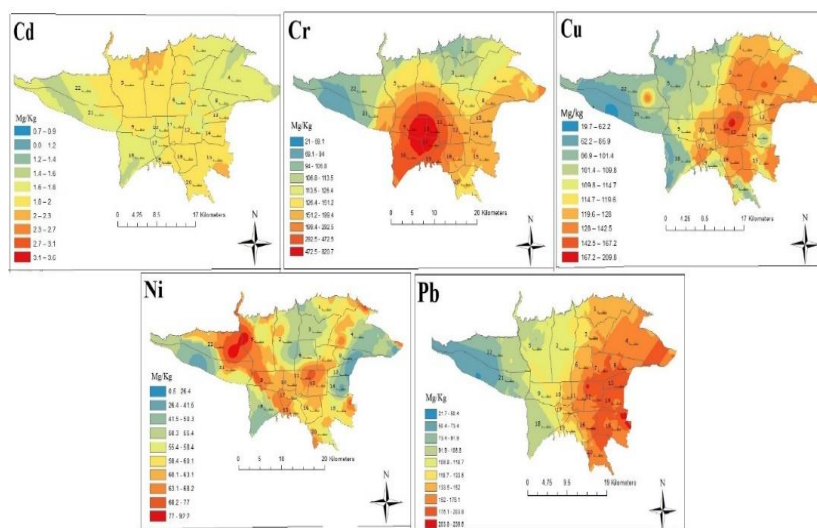
روند منطقه‌ای عناصر سنگین (کادمیوم، کروم، مس، نیکل و سرب) در زمستان از غرب به شرق یک جمله‌ای و افزایشی است. عناصر سنگین (کادمیوم، کروم، نیکل) از شمال به جنوب از تابع درجه دوم تبعیت می‌کند. روند منطقه‌ای سرب و مس از شمال به جنوب یک جمله‌ای و افزایشی است. در این فصل کمترین غلظت کادمیوم، کروم،



شکل ۸: تحلیل فضایی عناصر سنگین در زمستان ۱۳۹۶

غربی تهران کمتر از نیمه شرقی تهران است. غلظت کادمیوم در مناطق مختلف تهران یکدست-تر است. بیشترین مقدار کادمیوم در شمال مناطق ۲ و ۵ و شرق منطقه ۱۵ قرار دارد. بیشترین غلظت کروم در مناطق جنوب غربی تهران قرار دارد. بیشترین غلظت سرب و مس در مناطق شرقی تهران قرار دارد (شکل ۹).

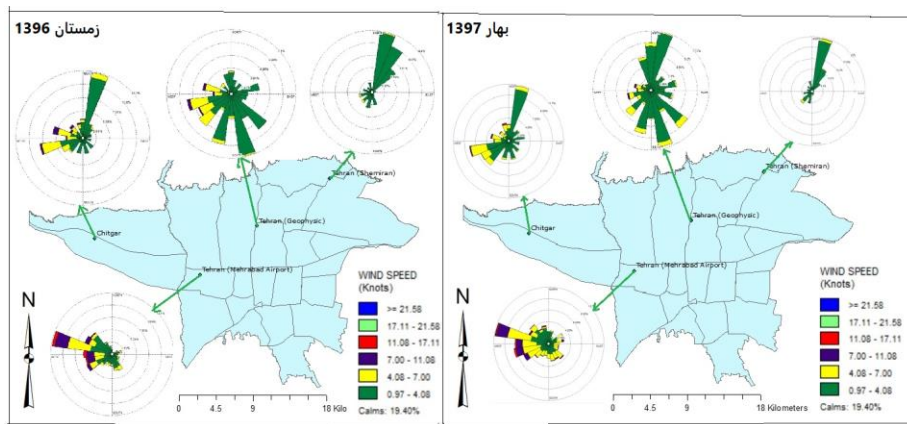
روند منطقه‌ای کادمیوم، کروم و نیکل در بهار از غرب به شرق از تابع درجه دوم تبعیت می‌کند. روند منطقه‌ای مس و سرب از غرب به شرق یک جمله‌ای و افزایشی است. در این فصل روند منطقه‌ای کادمیوم و نیکل از شمال به جنوب دو جمله‌ای است. روند منطقه‌ای کروم، نیکل و سرب از شمال به جنوب یک جمله‌ای و افزایشی است. در این فصل نیز غلظت عناصر سنگین در نیمه



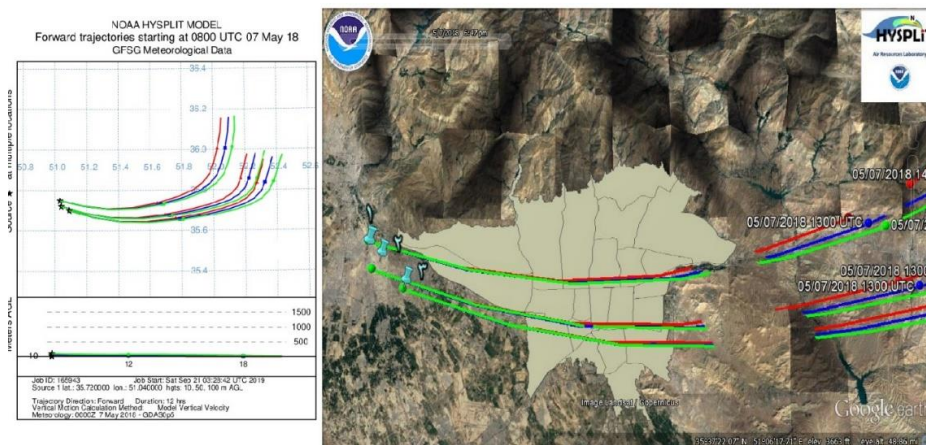
شکل ۹: تحلیل فضایی عناصر سنگین در بهار ۱۳۹۷

استان تهران، کارخانه سیمان تهران، در شهر قدس و شهریار به عنوان کانون بحران در نظر گرفته شد. مدل HYSPLIT برای این چشمه‌ها به صورت پس رو اجرا شد. برای انجام این هدف روزهای گردوغباری در دوره آماری یکساله (۹۷/۹/۳۰ - ۹۶/۱۰/۱) بررسی شد. و مسیر حرکت غبار برای تاریخ ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۷ اجرا شد. ردیابی رو به جلوی ذرات گردوغبار در ترازهای مورد مطالعه (۱۰، ۵۰، ۱۰۰) از معدن شن و ماسه، کارخانه سیمان و فرآوری شن و ماسه از جانب غرب تهران (شکل ۱۱) نشان‌دهنده آن می‌باشد که ذرات گردوغبار از این مناطق مستعد وارد تهران می‌شوند.

تهیه گلباد تهران در فصل زمستان ۱۳۹۶ و بهار ۱۳۹۷ نشان داد که در زمستان و بهار بیشترین فراوانی بادهای با سرعت بالاتر از ۸ متر بر ثانیه از جانب غرب تهران بوده است (شکل ۱۰). بررسی - های میدانی معدن شن و ماسه، فرآوری شن و ماسه و کارخانه سیمان را در غرب تهران شناسایی کرد. باد باعث انتقال غبار ریزشی که حاوی فلزات سنگین هست از این مناطق به داخل تهران می‌شود. برای دقیق‌تر شدن روی چشمه گردوغبار از روش مسیریابی ذرات به صورت پیش‌رو در HYSPLIT استفاده شد. در این مدل حرکت فرارفتی ذرات با استفاده از بردار باد سه بعدی در مکان اولیه و حدس اولیه به دست می‌آید. نقاط استخراج شده در شکل ۱۰ معدن شن و ماسه



شکل ۱۰: گلباد فصلی تهران (زمستان ۱۳۹۶، بهار ۱۳۹۷)



شکل ۱۱: ردیابی مسیر غبار از (۱) معدن شن و ماسه، (۲) کارخانه سیمان، (۳) فرآوری شن و ماسه

جدول ۱۱: مقادیر شاخص غنی‌شدگی (EF) محاسبه شده برای عناصر مختلف در نمونه‌های گردوغبار ریزشی شهر تهران در دوره آماری مورد مطالعه

عنصر	Pb	Ni	Cu	Cr	Cd
مقادیر محاسبه شده در زمستان ۱۳۹۶	۱۷,۲۹	۰,۹۷	۵,۰۳	۱,۳۱	۲۳,۳۷
مقادیر محاسبه شده در بهار ۱۳۹۷	۱۱,۳۵	۰,۹۲	۲,۹۲	۲,۰۳	۱۱,۷۵
درجه غنی‌شدگی زمستان ۱۳۹۶	غنی‌شدگی زیاد	غنی‌شدگی کم	غنی‌شدگی زیاد	غنی‌شدگی کم	غنی‌شدگی خیلی زیاد
درجه غنی‌شدگی بهار ۱۳۹۷	غنی‌شدگی زیاد	غنی‌شدگی کم	غنی‌شدگی متوسط	غنی‌شدگی متوسط	غنی‌شدگی زیاد

فلزات با ضریب غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ به طور عمده ممکن است ناشی از فعالیت‌های انسانی باشند (Yongming et al, 2006) نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کادمیوم، سرب دارای منشأ انسانی هستند. و خطر بالایی برای سلامتی انسان دارند (شکل ۱۱).

جدول ۱۲: مقادیر شاخص زمین‌انباشت ( $I_{geo}$ ) محاسبه شده برای عناصر مختلف در نمونه‌های گردوغبار ریزشی شهر تهران در دوره آماری مورد مطالعه

عنصر	Pb	Ni	Cu	Cr	Cd
مقادیر محاسبه شده در زمستان ۱۳۹۶	3.18	-0.95	1.41	-0.53	3.62
مقادیر محاسبه شده در بهار ۱۳۹۷	2.58	-0.04	0.62	0.10	2.63
درجه آلودگی زمستان ۱۳۹۶	خیلی آلوده	غیرآلوده	کمی آلوده	غیرآلوده	خیلی آلوده
درجه آلودگی بهار ۱۳۹۷	کمی آلوده تا خیلی آلوده	غیرآلوده	غیرآلوده تا کمی آلوده	غیرآلوده تا کمی آلوده	کمی آلوده تا خیلی آلوده

نیکل در زمستان و بهار تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. در فصل زمستان آلودگی ناشی از عناصر سنگین کادمیوم، مس و سرب به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل بهار است. از دلایل آن می‌توان به پایدارتر بودن هوا در زمستان و وارونگی هوا در این فصل اشاره کرد. در حالی که در بهار هوا ناپایدارتر است. همچنین می‌توان به استفاده بیشتر از وسایل گرمایشی در فصل زمستان اشاره کرد که باعث افزایش عناصر سنگین نسبت به بهار می‌شود. یکی از دلایل بالاتر بودن این عناصر را که در ارتباط با ترافیک هستند به افزایش ترافیک در دو ماه آخر زمستان (بهمن و اسفند) به دلیل خرید و... نسبت داد. تحقیقات محمودی و خادمی (۱۳۹۳) نشان داد بالاترین نرخ فرونشست فلزات

نتایج محاسبات انجام شده نشان داد که گردوغبار ریزشی از نظر فلزات سنگین نیکل و کروم غیرآلوده، مس کمی آلوده و از نظر کادمیوم و سرب خیلی آلوده است. نتایج محاسبات مقادیر شاخص غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت در زمستان ۱۳۹۶ و بهار ۱۳۹۷ غلظت فلزات سنگین موجود در گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده را به ترتیب  $Cd > Pb > Cu > Cr > Ni$  نشان داد (جدول ۱۲).

### نتیجه‌گیری

بین میانگین غلظت کادمیوم، مس، سرب در زمستان و بهار تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۹٪ اطمینان وجود دارد. بین میانگین غلظت کروم و

تهران دانست. در بهار که هوا ناپایدارتر است حجم گردوغبار بیشتری وارد این مناطق می‌شود. و فلزات سنگینی که به ذرات گردوغبار می‌چسبند بیشتر وارد این مناطق می‌شوند. حسین سعیدی و همکاران (۱۳۹۵) نیز به نقش صنعت به ویژه تولید سیمان در افزایش میزان کروم در منطقه ۲۰ شهرداری تهران (شهر ری) اشاره کردند. تحقیقات دهقانی و همکاران (۲۰۱۷) حاکی از آن بود که صنایع واقع در جنوب غربی شهر تهران باعث آلودگی گرد و غبارهای خیابان به فلزات سنگین می‌شوند. بیشترین غلظت سرب و مس در مناطق شرقی تهران قرار دارد. ایستگاه مرکز بهداشت الزهرا در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در زمستان کم‌ترین غلظت کروم، نیکل و در بهار کم‌ترین غلظت کروم، مس، سرب را دارد. این ایستگاه در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه غربی-ترین موقعیت را دارد. و در مسیر بادهای غربی که به تهران وارد می‌شوند قرار دارد (شکل ۱۰). بنابراین باد ذرات ریز گردوغبار که حاوی فلزات سنگین است را از این ایستگاه به نقاط دورتر پراکنده می‌کند. مطالعات نمازی و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد میانگین غلظت عناصر سنگین در منطقه لنجان اصفهان در اکثر فصول با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارد. که این تفاوت‌ها به عوامل مختلفی از جمله سرعت باد، تغییر جهت آن، میزان و نوع فعالیت معادن و صنایع و میزان رطوبت خاک و هوا ارتباط داشته است. در بهار غلظت فلزات سنگین در ایستگاه سی‌تیر نسبت به زمستان افزایش قابل توجهی یافته است. به طوری که در این فصل بالاترین غلظت سرب و مس را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. ابتدای خیابان سی‌تیر رستوران‌های خیابانی، غذاهای کبابی و زغالی ارائه می‌کند. در بهار این رستوران‌ها بازار بسیار فعال‌تری نسبت به زمستان دارند. علاوه بر

سنگین در غبار اصفهان در دوره آبان-آذر، به دنبال افزایش استفاده از وسایل گرمایشی و وقوع پدیده وارونگی دمایی است. بهروش و همکاران (۱۳۹۵) افزایش فرایندهای احتراقی را در فصل سرد از عوامل افزایش غلظت فلزات سنگین در این فصل دانستند. روند منطقه‌ای عناصر سنگین (Cd, Cu, Ni, Pb) در زمستان و بهار (اشکال ۸ و ۹) نشان داد، غرب تهران کمترین غلظت عناصر سنگین را دارد. تهیه گلباد تهران در سال آماری مورد مطالعه نشان داد که در زمستان و بهار بیشترین فراوانی بادهای با سرعت بالاتر از ۸ متر بر ثانیه از غرب تهران بوده است (شکل ۱۰). بنابراین ذرات ریز گردوغبار که حاوی فلزات سنگین است از این مناطق به نقاط شرقی‌تر پراکنده می‌شود. و به خاطر الگوی توپوگرافی تهران و کم شدن سرعت باد در شرق، غلظت این عناصر در شرق بیشتر از غرب می‌باشد. باد در آلودگی و پاک بودن یک منطقه از عناصر سنگین تأثیر بسیار دارد. بیشترین غلظت Cr در نواحی مرکزی به سمت جنوب تهران قرار دارد. کروم منبع انتشار متفاوتی با سایر عناصر سنگین مورد مطالعه دارد. کروم در گردوغبارهای ترافیکی نقش مهمی ندارد (بهروش و همکاران، ۱۳۹۵). براساس فهرست موجود مواد سمی در <sup>۹</sup>ATSDR، انتشار کروم در درجه اول ناشی از فرایندهای احتراقی، صنایع فلزی و تولید سیمان است. در بهار ایستگاه‌های کمیل غربی، هاشمی، حسینیه موسی‌الرضا واقع در تهران‌نو، سی‌تیر و شاهد ۲ فاصله‌ای به اندازه‌ی حداقل +۳ انحراف معیار با میانگین کروم داشته است. ایستگاه‌های نام برده واقع در نیمه‌ی جنوبی تهران هستند که با توجه به ردیابی رو به جلوی ذرات و تهیه گلباد در WRPLOT (اشکال ۱۰ و ۱۱) یکی از دلایل آن را می‌توان ناشی از معادن شن و ماسه واقع در غرب



غنی‌شدگی (EF) و شاخص زمین‌انباشت (Igeo) غلظت فلزات سنگین موجود در گردوغبار ریزشی در زمستان ۱۳۹۶ و بهار ۱۳۹۷ به ترتیب  $Cd > Pb > Cu > Cr > Ni$  است. همچنین نتایج نشان داد در زمستان ۱۳۹۶ کادمیوم در ۸۱/۴٪ و سرب در ۸۵/۱٪، در بهار ۱۳۹۷ کادمیوم در ۶۴٪ و سرب در ۷۰/۳٪ ایستگاه‌های مورد مطالعه منشأ انسانی دارد. همچنین تحقیقات سلمان‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد کادمیوم و سرب احتمالاً ناشی از فعالیت‌های انسانی است و شاید پرخطرترین فلز در میان فلزات مورد مطالعه در غبار شهری تهران باشد. سعیدی و همکاران (۲۰۱۲) معتقدند ترافیک و فعالیت‌های انسانی و منابع گرمازا منابع اصلی برای فلزات سنگین در غبار خیابانی شهر تهران می‌باشند. تحقیقات دهقانی و همکاران (۲۰۱۷) حاکی از آن بود که آلودگی ناشی از فلزات سنگین در شهر تهران مربوط به منابع انسان‌زاد نظیر سایدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، سایش جاده و احتراق سوخت-های فسیلی است. در هر دو فصل عناصر کروم، مس و نیکل در هیچ ایستگاهی دارای منشأ انسانی نبودند.

آلودگی ناشی از دود زغال که در این غذاخوری‌ها قابل توجه است، در این فصل حجم ترافیک در این خیابان چندین برابر می‌شود. ذرات ریز لاستیک و لنت ترمز خودروها باعث می‌شود غلظت فلزات سنگین در این ایستگاه نسبت به زمستان چندین برابر شود. و توقف خودروهای روشن در انتظار تردد باعث افزایش غلظت مس و سرب می‌شود. نتایج تحقیقات دونگ و همکاران در کره (Duong and Lee, 2011) نشان داد غلظت عناصر سنگین کادمیوم، مس، سرب، روی و نیکل به میزان ترافیک بسیار وابسته بود. همچنین تعداد دفعات استفاده از ترمز و سرعت خودروها از دیگر عوامل مؤثر در غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه است. و مطالعات لی و همکاران و لو و همکاران (Li et al, 2001; Lu et al, 2009) نیز نشان داد حجم بالای ترافیک، وجود چراغ قرمز و استفاده مکرر از ترمز غلظت مس را بالا می‌برد. همچنین بهروش و همکاران (۱۳۹۵) ذکر کردند 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. براساس نتایج محاسبات انجام شده مقادیر شاخص

### پانویس

1-Marble Dust Collector  
2-Xray Fluorescence spectroscopy  
3-Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories  
4-Shijiazhuang  
5-Amman  
6-Urumqi

7-National Centers for Environmental Protection  
8-National Oceanic and Atmospheric Administration  
9-ATSDR: Agency for Toxic Substances & Disease Registry

### منابع

۱۳۹۰، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران.  
بخشی زاده، ف.، رضاییان، ه. و اکبری، م.، ۱۳۹۴.  
مدلسازی مکانی زمانی سه بعدی پراکنش آلاینده

-اکبری، ع.، عظیم‌زاده، ح.ر.، اختصاصی، م.ر. و سلمان‌زاده، م.، ۱۳۹۱. بررسی کمی غبار ریزشی (مطالعه موردی: شهر بهبهان - شهرپور و مهر

مطالعات علوم محیط زیست، شماره ۱، ص ۲۳-۳۶.

جورکش، ش.، صالحی، م.ح. و اسفندیارپور بروجنی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی غلظت برخی از فلزات سنگین در غبارهای اتمسفری منطقه لنجان اصفهان، همایش ملی جریان و آلودگی هوا، تهران، آبان ۱۳۹۱.

علیجانی، ب.، ۱۳۹۴. تحلیل فضایی. تحلیل فضایی و مخاطرات محیطی، شماره ۳، ص ۱-۱۴.

فرهمندکیا، ز.، مهراسبی، م.ر.، سخاوتجو، م.ص.، حسنعلی زاده مظفر، ا.ش. و رمضانزاده، ز.، ۱۳۸۸. بررسی فلزات سنگین در ذرات راسب شونده از هوای شهر زنجان، سلامت و محیط انجمن علمی بهداشت محیط ایران، شماره ۴، ص ۲۴۰-۲۴۹.

محمودی، ز. و خادمی، ح.، ۱۳۹۳. غلظت برخی فلزات سنگین در گردوغبار اتمسفری اصفهان و برخی شهرهای مجاور، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶۷، ص ۲۴۳-۲۵۵.

مفیدی، ع. و جعفری، س.، ۱۳۹۰. بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانہ در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غربی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۵، ص ۱۷-۴۵.

نمازی، ن.، صالحی، م.ح. و محمدی، ج.، ۱۳۹۴. تغییرات مکانی و زمانی برخی عناصر سنگین در غبارات اتمسفر منطقه لنجان اصفهان، آب و خاک، شماره ۱، ص ۱۱۴-۱۲۵.

اکسیدهای ازت هوا ناشی از ترافیک در تقاطع خیابان ولی عصر فاطمی شهر تهران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۱، ص ۴۳-۶۲.

بهروش، ف.، محمودی قرایی، م.، قاسم‌زاده، ف. و عوض مقدم، س.، ۱۳۹۵. بررسی آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ترافیکی شهر مشهد و تعیین منشأ آن با استفاده از روش استخراج ترکیبی، زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، شماره ۹۵، ص ۱۴۱-۱۵۰.

سلیمان زاده، م.، سعیدی، م. و نبی بیدهندی، غ.ر.، ۱۳۹۱. آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته‌نشین شده خیابانی شهر تهران و ارزیابی ریسک اکولوژیکی آنها، محیط‌شناسی، شماره ۶۱، ص ۹-۱۸.

سلیقه، م.، ۱۳۹۴. تغییر آب و هوا و مخاطرات آب و هوایی تهران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۳، ص ۱۵-۳۲.

سلیم، ر. و ارحامی، م.، ۱۳۹۲. مدلسازی غلظت ذرات PM10 ناشی از پدیده‌ی گرد و غبار و بررسی منشأ آنها در کلان شهرهای مرکزی ایران، دومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، [https://www.civilica.com/Paper-](https://www.civilica.com/Paper-CANPM02-CANPM02_071.html)

حسین سعیدی، ل.، حاجی هادی، م. و رستگاری، م.، ۱۳۹۵. تعیین غلظت فلزات سنگین در هوای شهری (مطالعه موردی: شهر ری)،

Journal of Atmospheric Environment, v. 45, p. 2310-2323.

-Al Bakain, R.Z., Jaradat, Q.M. and Momani, K.A., 2012. Indoor and outdoor heavy metals evaluation in kindergartens in Amman, Jordan: Jordan Journal of Physics, v. 51, p. 43-52.

-Akbari, M., Kermani, A. and Alijani, B., 2018. Simulation and Analysis of Polluted Days in Tehran: International Journal of Environmental Research, v. 12, p. 67-75.

-Apeagyei, E., Bank, M.S. and Spengler, J.D., 2011. Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts:

- Al-Khashman, O.A., 2007. The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba city, Jordan: *Journal of Environmental Geochemistry Health*, v. 29, p. 197-207.
- Al-Thani, H., Koc, M. and Isaifan, R.J., 2018. Investigations on Deposited Dust Fallout in Urban Doha: Characterization, Source Apportionment and Mitigation: *Journal of Environment and Ecology Research*, v. 6, p. 493-506.
- Anagnostou, C., Kaberi, H. and Karageorgis, A., 1997. Environmental impact on the surface sediments of the bay and the gulf of Thessaloniki (Greece) according to the geoaccumulation index classification: In International conference on water pollution, At lake Bled, Slovenia, p. 269-275.
- Alloway, B.J., 1995. Soil Pollution and Land Contamination, in *Pollution: causes, Effects and Controlled*, R.M., Harrison. Cambridge: The Royal Society of Chemistry 1995, 318 p.
- Almory, A. and Belhadj, S., 2007. Determination of heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure: *Journal of Environmental Monitoring Assessment*, v. 135, p. 265-280.
- Baghaie, A.H. and Ahmadi, A., 2019. Assessment of Pb, Cd, and Zn in Isfahan's air dust during 2015-2017 (A case study: North, West, and East Stations of Isfahan): *Journal of Advances in Environmental Health Research*, v. 7, p. 18-24.
- Cai, K. and Li, C., 2019. Street Dust Heavy Metal Pollution Source Apportionment and Sustainable Management in A Typical City—Shijiazhuang, China: *Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, p. 2-16.
- Cao, H., Guang, Y. and Luo, L., 2015. Identification of sand and dust storm source areas in Iran: *Journal of Arid Land*, v. 7, p. 567-578.
- Chen, B., Stein, A.F., Guerrero Maldonado, P., Sanchez de la Campa, A.M., Castanedo, Y.G., Castell, N. and Jesus, D.R., 2013. Size distribution and concentrations of heavy metals in atmospheric aerosols originating from industrial emissions as predicted by the HYSPLIT model: *Journal of Atmospheric Environment*, v. 71, p. 234-244.
- Christoforidis, A. and Stamatis, N., 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece: *Journal of Geoderma*, v. 151, p. 257-263.
- Charlesworth, S., Everett, M., McCarthy, R., Ordonez, A. and 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: *Journal of Environment International*, v. 29, p. 563-573.
- Csavina, J., Field, J., Taylor, M.P., Gao, S., Landazuri, A., Betterton, E.A. and Saez, A.E., 2012. A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations: *Journal of Science of the Total Environment*, v. 433, p. 58-73.
- Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B. and Beverley, A.H., 2017. Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran: *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 136, p. 92-103.

- Duong, T.T. and Lee, B.K., 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics: *Journal of Environmental Management*, v. 92, p. 554-562.
- El-Araby, E.H., Abd El-Wahab, M., Diab, H.M., El-Desouky, T. and Mohsen, M., 2011. Assessment of Atmospheric heavy metal deposition in North Egypt aerosols using neutron activation analysis and optical emission inductively coupled plasma: *Journal of Applied Radiation and Isotopes*, v. 69, p. 1506-1511.
- Ganor, E., 1975. Atmospheric dust in Israel: Sedimentological and meteorological analysis of dust deposition. Ph.D. Thesis, Dissertation the Hebrew University of Jerusalem.
- Goossen, D. and Offer, Z., 2000. Wind tunnel and field calibration of six eolian dust samplers: *Journal of Atmospheric Environment*, v. 34, p. 1043-1057.
- Gonzalez-Macias, C., Schifter, I., Lluch-Cota, D.B., Mendez-Rodriguez, L. and Hernandez-Vazquez, S., 2006. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico, *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, v. 118, p. 211-230.
- Gong, Q., Deng, J., Xiang, Y., Wang, Q. and Yang, L., 2008. Calculation Pollution Indices by Heavy Metals in Ecological Geochemistry Assessment and a Case Study in Parks of Beijing: *Journal of China University of Geosciences*, v. 19, p. 230-241.
- Ha, R., Baatar, A. and Yu, Y., 2017. Identification of atmospheric transport and dispersion of Asian dust storms: *Journal of Natural Hazards and Earth System Science*, v. 17, p. 1425-1435. doi.org/10.5194/nhess-17-1425-2017.
- Hu, X., Zhang, Y., Lou, J., Wang, T., Lian, H. and Ding, Z., 2011. Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China: *Journal of Environmental Pollution*, v. 159, p.1215-1222.
- Jiries, A., 2003. Vehicular Contamination of Dust in Amman, Jordan: *Journal of The Environmentalist*, v. 23, p. 205-210.
- Kabadayi, F. and Cesur, H., 2010. Determination of Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, and Mn in road dusts of Samsun City: *Journal of Environmental Monitoring Assessment*, v. 168, p. 241-253.
- Kartal, S., Aydin, Z. and Takalioglu, S., 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*, v. 132, p. 80-89.
- Karbassi, A.R., Nabi-Bidhendi, Gh.R. and Bayati, I., 2005. Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf, *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, v. 2, p. 225-260.
- Khuzestani, R.B. and Souri, B., 2013. Evaluation of heavy metal contamination hazards in nuisance dust particles, in Kurdistan Province, western Iran, *Journal of Environmental Sciences*, v. 25, p. 1346-1354.
- Kumar Sharma, R., Agrawal, M. and Marshall, F.M., 2008. Atmospheric deposition of heavy metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in Varanasi City, India: *Journal of Environmental Monitoring Assessment*, v. 142, p. 269-278.
- Li, X., Poon, C.S. and Liu, P.S., 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong: *Journal of Applied Geochemistry*, v. 16, p. 1361-1368.

- Loska, K. and Wiechula, D., 2003. Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir: *Journal of Chemosphere*, v. 51, p. 723-733.
- Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J. and Zhai, Y., 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China: *Journal of hazardous materials*, v. 161, p. 1058-1062.
- Meza-Figueroa, D., De la O-Villanueva, M. and De la Parra, M., 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosilli, Sonota, Mexico: *Journal of Atmospheric Environment*, v. 41, p. 276-288.
- Modaihsh, A.S., 1997. Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia: *Journal of Arid Environmental*, v. 36, p. 211-223.
- Niencheski, L.F.H., Baraj, B., Garcia Franca, R. and Mirlean, N., 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*, v. 5, p. 473-483.
- Ordóñez, A., Loredó, J., De Miguel, E. and Charlesworth, S., 2003. Distribution of Heavy Metals in the Street Dusts and Soils of an Industrial City in Northern Spain: *Journal of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 44, p. 160-170.
- Oliva, S.R. and Fernández Espinosa, A.J., 2007. Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources: *Microchemical Journal*, v. 86, p. 131-139.
- Rizzio, E., Giaveri, G., Arginelli, D., Gini, L., Profumo, A. and Gallorini, M., 1999. Trace elements total content and particle sizes distribution in the air particulate matter of a rural-residential area in north Italy investigated by instrumental neutron activation analysis: *Journal of The Science of the Total Environment*, v. 226, p. 47-56.
- Sadiq, M. and Mian, A.A., 1994. Nickel and Vanadium in air particulates at Dhahran (Saudi Arabia) during and after the Kuwait oil fires: *Journal of Atmospheric Environment*, v. 28, p. 2249-2253.
- Saeedi, M., Li, L. and Salmanzadeh, M., 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran: *Journal of Hazardous Materials*, v. 227, p. 9-17.
- Sami, M., Waseem, A. and Akbar, S., 2006. Quantitative estimation of dust fall and smoke particles in Quetta Valley: *Journal of Zhejiang University Science*, v. 7, p. 542-547.
- Stein, A.F., Wang, Y. and Draxler, R.R., 2011. Modeling PM10 Originating from Dust Intrusions in the Southern Iberian Peninsula Using HYSPLIT: *Journal of Weather and forecasting*, v. 26, p. 236-242.
- Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii: *Journal of Environmental Geology*, v. 39, p. 611-627.
- Ta, W., Xiao, H., Qu, J., Xiao, Z., Yang, G., Wang, T. and Zhang, X., 2004. Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986-2000: *Journal of Geomorphology*, v. 57, p. 41-51.
- Taghavi, S.N., Kamani, H., Dehghani, M.H., Nabizadeh, R., Afshari, N. and Mahvi, A.H., 2019. Assessment of Heavy Metals in Street Dusts of Tehran Using Enrichment Factor and Geo-Accumulation Index: *Journal of Health Scope*, v. 8, p.1-10.

- Tam, N.F.Y. and Yao, M.W.Y., 1998. Normalisation and heavy metal contamination in Mangrove Sediments: *Journal of Science of the Total Environment*, v. 216, p. 33-39.
- Tokalioglu, S., Kartal, S. and Birol, G., 2003. Application of a three-stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils: *Turkish Journal of Chemistry*, v. 27, p. 333-346.
- Wei, B., Jiang, F., Li, X. and Mu, S., 2009. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China: *Microchemical Journal*, v. 93, p. 147-52.
- Wang, X., Dong, Z., Zhang, C., Qian, G. and Luo, W., 2009. Characterization of the composition of dust fallout and identification of dust sources in arid and semiarid North China: *Journal of Geomorphology*, v. 112, p. 144-157.
- Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D. and Zhang, X., 2011. Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification: *Journal of Atmospheric Environment*, v. 45, p. 6368-6381.
- Wang, G., Oldfield, F., Xia, D., Chen, F., Liu, X. and Zhang, W., 2012. Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: A case study from the city of Lanzhou, China: *Journal of Atmospheric Environment*, v. 46, p. 289-298.
- Yaroshevsky, A.A., 2006. Abundances of chemical elements in the Earth's crust: *Journal of Geochemistry International*, v. 44, p. 48-55.
- Yongming, H., Peixuana, D., Junjib, C.E. and Posmentier, S., 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China: *Journal of Science of the Total Environment*, v. 355, p. 176-186.
- Zarasavandi, A., Crenzea, E.J.M., Moore, F. and Rastmanesh, F., 2011. Spatio – temporal occurrences and mineralogical – geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran): *Journal of Geochemical Exploration*, v. 111, p. 138-151.
- Zheng, N., Liu, J., Wang, Q. and Liang, Z., 2010. Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China: *Journal of Science of the Total Environment*, v. 408, p. 726-733.