

Assessment of Anthropogenic Impact on Zinc Contamination in Tehran's Atmospheric Dust Using Geostatistical Kriging

Fatemeh Arsalani   ¹ | Mohammad Khoddam  ²

1- Ph.D Climate Disaster. Kharazmi University , Tehran, Iran.

2-Ph.D International Political Economy. University of Tehran, Iran.

Article Info:

Article type:

Research Article

history:

Received:

Received:

Accepted:

Published:

Keywords:

Atmospheric dust, Zinc (Zn), Enrichment factor (EF), Geostatistical Kriging model, Spatial distribution analysis

Abstract: This study provides a detailed examination of heavy metals within atmospheric dust, particularly focusing on zinc (Zn), due to its significant implications for human health and its role in cerebral enzymatic functions. The objective of this research is to quantify the concentration levels of zinc in Tehran's dust, conduct spatial analytical procedures, and compute the enrichment factor (EF) to evaluate the extent of contamination attributable to anthropogenic activities. Dust samples were systematically collected from 28 strategically selected stations across Tehran during the spring of 2017 utilizing a marble dust collector trap (MDCO). The determination of heavy metal concentration and spatial distribution was facilitated through X-ray fluorescence (XRF) analysis, employing the Kriging interpolation methodology for geospatial representation. The EF provided insights into the level of zinc contamination. Results indicated that the predominantly directional winds and the unique topography of Tehran contribute to higher zinc particulate concentrations in the eastern regions as opposed to the western parts of the city. The EF calculations further underscored the significant contribution of human-induced factors to the zinc contamination levels.

Cite this article: Arsalani, R., Khodami, M (2023). Assessment of Anthropogenic Impact on Zinc Contamination in Tehran's Atmospheric Dust Using Geostatistical Kriging. *Climate Change and Climate Disasters*, 2(3), 274-293.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan





بررسی آلودگی غبار ریزشی شهر تهران به فلز روی با استفاده از مدل کریجینگ

فاطمه ارسلانی ^۱ | محمد خدام ^۲

۱. دکتری تخصصی مخاطرات آب و هوا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲. دکتری تخصصی اقتصاد سیاسی بین الملل، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده: بررسی عناصر سنگین در غبار ریزشی، اطلاعات مهمی در مورد آلودگی هوا و خطرات احتمالی آن برای انسان دارد. در این میان بررسی عنصر روی (Zn) بخاطر تاثیر در اعمال متابولیکی بدن و ساختمان آنزیم‌های مغزی اهمیت بسیار دارد. هدف پژوهش حاضر تعیین غلظت روی موجود در غبار ریزشی شهر تهران، تحلیل فضایی آن و محاسبه شاخص غنی‌شدگی (EF) جهت بررسی شدت تأثیر عوامل انسان‌ساخت است. بدین منظور غبار ریزشی با استفاده از تله‌رسوب‌گیر تیله‌ای (MDCO) در ۲۸ ایستگاه شهر تهران در بهار ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. جهت شناسایی و تعیین غلظت عناصر سنگین از آنالیز XRF، تعیین پراکندگی مکانی عنصر سنگین روی موجود در غبار ریزشی از مدل درونیایی کریجینگ و تعیین سطح آلودگی آن از فاکتور غنی‌شدگی (EF) استفاده شد. تحلیل نتایج نشان داد الگوی باد غالب و شکل توپوگرافی تهران از دلایل آلودگی بیشتر غبار ریزشی به عنصر روی در مناطق شرقی تهران نسبت به مناطق غربی آن است. نتایج شاخص غنی‌شدگی نقش عوامل انسانی را در این مسئله نشان داد.

اطلاعات مقاله:
نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:
دریافت:
بازنگری:
پذیرش:
انتشار:

واژگان کلیدی:
غبار ریزشی، روی (Zn)،
شاخص غنی‌شدگی (EF)، مدل
کریجینگ، تحلیل فضایی

استناد: ارسلانی، فاطمه، خدام، محمد. (۱۴۰۲). بررسی آلودگی غبار ریزشی شهر تهران به فلز روی با استفاده از مدل کریجینگ. دژگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۲(۳)، ۲۷۴-۲۹۳.
© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان.



مقدمه

آلودگی هوا ناشی از حضور مواد نامطلوب در هوا است که اثرات مضر بر سلامت انسان و موجودات زنده خواهد داشت. فعالیت‌های انسانی به ویژه از قرن ۱۴، یک اختلال مشخص را در توازن زیست محیطی زمین پدید آورده است. در اتمسفر، این آلاینده‌های انسان‌ساخت اغلب به طور محلی سبب کیفیت ناسالم هوا و در برخی موارد غلظت کشنده آلودگی هوا می‌گردد (عباس‌پور، ۱۳۹۰). غبار ریزشی بخش مهمی از ترکیبات اتمسفری است که بخاطر نیروی جاذبه به زمین سقوط می‌کنند (بریوان، ۲۰۲۱). با مطالعه غبار ریزشی می‌توان به طور غیرمستقیم آلودگی کل ذرات معلق را بررسی کرد (هی، ۲۰۰۸). عمدتاً گردوغبار خیابان‌ها به فلزات سنگین آلوده است. استنشاق این ذرات توسط افراد سلامتی آن‌ها را به مخاطره می‌اندازد (آگیلرا، ۲۰۱۹). فلزات سنگین با اتصال به ذرات گردوغبار قادرند در مقیاس وسیع منتشر شوند (دانگ و لی، ۲۰۱۱). مطالعه‌ی فلزات سنگین موجود در گردوغبار بدلیل تاثیر آن بر سلامت انسان اهمیت بسیار دارد (یانگ و همکاران ۲۰۲۰، کوماری و همکاران

۲۰۲۱). عوامل مختلف طبیعی و انسانی و ترکیبی از عامل‌های طبیعی و انسانی در افزایش غلظت عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی نقش دارند. در این میان نقش عوامل انسانی قابل توجه است (ارسلانی و علیجانی، ۱۴۰۰). فلزات سنگین به دلیل سمیت و ماندگاری در محیط زیست جزء خطرناک‌ترین گروه از آلاینده‌های انسان‌ساخت طبقه‌بندی می‌شود (الموری و بلهاج، ۲۰۰۷، ساوینا، ۲۰۱۲). و به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی بر انسان و سایر موجودات زنده در غلظت‌های کم نیز حائز اهمیت شناخته شده‌اند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲). علی و همکاران، ۲۰۱۹). 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 بسیاری از بیماری‌ها شده است. یکی از این فلزات روی است. عنصر روی دومین عنصر کمیاب موجود در بدن بوده و در اعمال متابولیکی و ساختمان آنزیم‌های مغزی شرکت می‌کند. ناکافی بودن و مصرف بیش از اندازه این فلز می‌تواند سلامتی انسان را به خطر بیندازد. و در

طولانی مدت باعث ضایعات جدی در دستگاه گوارش می‌گردد، توانایی بدن در جذب و استفاده از سایر مواد معدنی ضروری از قبیل مس و آهن را مختل می‌سازد و عوارضی از قبیل کم خونی ایجاد می‌کند (مارت، ۲۰۱۳). برخی از محققان از جمله مودایش و محبوب (۲۰۱۳) در ریاض پایتخت عربستان سعودی، لی و همکاران (۲۰۰۱) در هنگ کنگ و بقائی و احمدی (۲۰۱۹) در اصفهان، به مطالعه‌ی عناصر سنگین موجود در گردو غبار ریزشی پرداختند. در پژوهش‌های زیست محیطی از شاخص‌های محاسباتی مانند شاخص زمین‌انباشتگی I geo، فاکتور غنی‌شدگی EF¹، شاخص آلودگی و شاخص جامع آلودگی برای شناخت منشأ و شدت آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها، رسوبات و گردوغبار استفاده می‌شود (گونزالس و همکاران، ۲۰۰۶، لی و همکاران، ۲۰۰۹). به ویژه زمانی که فاکتورهای طبیعی و انسانی به طور همزمان غلظت فلزات سنگین را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توان برای تعیین میزان اثر فاکتور خارجی از فاکتور غنی

شدگی استفاده کرد (تا و همکاران، ۲۰۱۴). پژوهشگرانی از جمله گونگ و همکاران (۲۰۰۸) در چین، کا و لی (۲۰۱۹) در نمونه غبارهای خیابانی در شهر شیجیاچا^۲ چین، الثانی و همکاران (۲۰۱۸) شهر دوحه در قطر، 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 پژوهشگران از جمله جیری (۲۰۱۳) در شهر امان^۳، پایتخت اردن، وی و همکاران (۲۰۰۹) شهر ارومگی^۴ در چین، دهقانی و همکاران (۲۰۱۷) در تهران به تحلیل فضایی عناصر سنگین موجود در غبار ریزشی پرداختند. تهران از جمله شهرهای بزرگ دنیاست که هم اکنون به شدت با مسئله‌ی آلودگی هوا، ریزگردها و

3- Amman

4- Urumqi

1- Enrichment Factor

2- Shijiazhuang

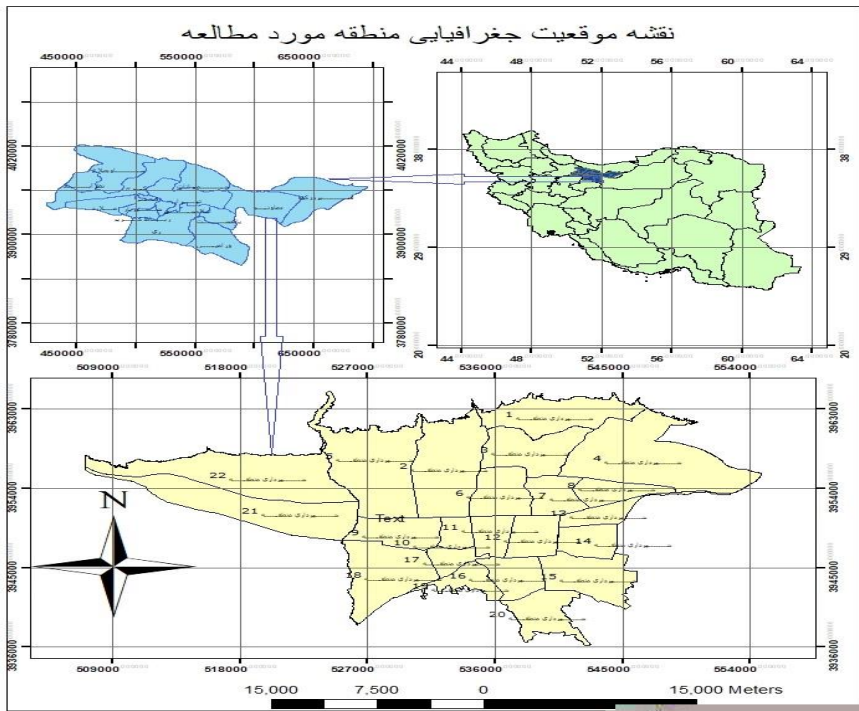
است. تهران در دامنه‌های جنوبی کوه-های البرز در محدوده‌ای از شرایط آب و هوایی واقع شده است که در بازه‌ای از زمان تحت تأثیر سیستم‌های عرض‌های میانی و در بازه‌ای دیگر متأثر از سیستم‌های عرض‌های پایین جغرافیایی قرار می‌گیرد. ناهمواری‌های کم‌انرژی در اطراف تهران، نقش بی‌دلیلی در اقلیم آن دارد. گسترش شهر در این محیط بسته سبب تشدید مخاطرات آب و هوایی شده است. اگر وارونگی در هر محیطی می‌تواند علت تشدید آلودگی-های 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 رشته‌کوه‌های بی‌بی‌شهربانو محصور شده است. 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).

طوفان‌های ناگهانی درگیر است (سلیقه ۱۳۹۴). بنابراین پژوهش حاضر در نظر دارد با نصب تله‌رسوبگیر تیل‌های و جمع‌آوری غبار ریزشی به تعیین غلظت روی در نمونه‌های غبار ریزشی و تعیین سطح آلودگی آن با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی، همچنین تعیین پراکندگی مکانی عنصر روی موجود در غبار ریزشی بپردازد.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

کلانشهر تهران با وسعتی بالغ بر ۷۳۳ کیلومتر مربع در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). 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



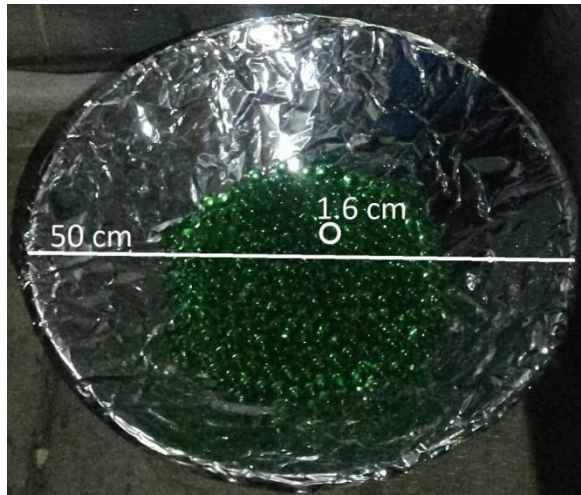
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر تهران

می‌باشد، که با یک ورق آلومینیوم به منظور جلوگیری از ایجاد الکتریسیته ساکن بین غبار و ظرف پوشیده شده و درون ظرف سه ردیف گوی شیشه‌ای (تیله) استاندارد شده به قطر ۱.۶ سانتیمتر ریخته شده است (شکل ۲). تیله‌های موجود در این رسوبگیر به عنوان فیلتر عمل کرده موجب به دام انداختن ذرات شده و از خروج ذرات به بیرون از تله بر اثر وزش باد یا ریزش‌های رگباری جلوگیری می‌کنند که دلیل این

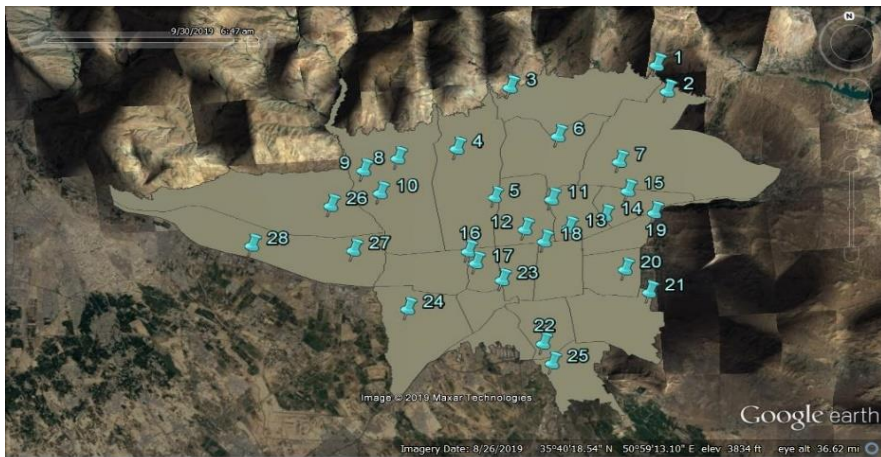
در این پژوهش برای جمع‌آوری غبار ریزشی از روش آزمایشگاهی، جمع‌آوری غبار با استفاده از تله رسوبگیر 5 (MDCO) استفاده شد. طراح این رسوبگیر در ابتدا گانر (۱۹۷۵) بوده است. دستگاه مذکور شامل یک ظرف دایره شکل (انواع مختلف از ظروف بکار می‌رود اما دایره‌ای بهتر از انواع مستطیلی است چون تأثیرات جهت باد بروی ظروف مستطیل شکل، نمود بیشتری دارد) به قطر ۵۰ سانتیمتر

⁵- Marble Dust Collector

امر را می‌توان در ایجاد زبری توسط سطوح گوی‌های شیشه‌ای دانست (جیا و هانگ، ۲۰۰۸). در این پژوهش برای توزیع مناسب تله‌های رسوب‌گیر در سطح شهر، در هر منطقه یک تله رسوب‌گیر نصب شد، و در مناطق وسیع‌تر دو یا سه تله نصب گردید (شکل ۳).



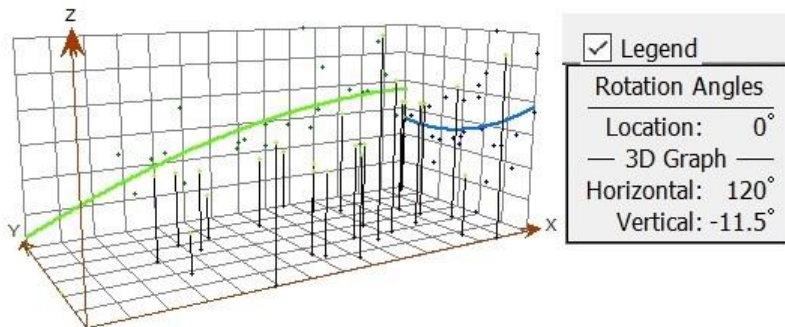
شکل ۲: تله رسوب گیر MDCO



1. بلوار نیرو هوایی، 2. سازمان جنگل‌ها، 3. خویگاه شهید بهشتی، 4. بلوار دادمان، 5. گیشا، 6. بلوار آرش، 7. بلوار بیژن، 8. جنت آباد، 9. پل کن، 10. بلوار تعاون، 11. خویگاه دانشگاه خوارزمی، 12. دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، 13. خانه جغرافیا، 14. خیابان انصارالحسین، 15. میدان نود، 16. هاشمی، 17. کمیل غربی، 18. سی تیر، 19. حسینیه موسی‌الرضا، 20. شاهد، 21. زمین‌شاهی، 22. شهرک وصال، 23. کمپانی، 24. یافت‌آباد، 25. خیابان امام‌زاده ابوالحسن، 27. تهرانسر، 28. مرکز بهداشت الزهرا

شکل ۳: موقعیت مکان‌های جمع‌آوری گردوغبار در Google Earth

نمایش توزیع داده‌ها است، استفاده شد. این نمودار شاخص‌های پراکندگی و تمرکز را به طور همزمان نشان می‌دهد. جهت تحلیل آماری داده‌ها، از تحلیل‌های آماری در SPSS و جهت تحلیل فضایی، از درون‌یابی در Arc Map 10.5 استفاده گردید. از میان روش‌های درون‌یابی، کریجینگ^۹ به دلیل اینکه هر دو ساختار منطقه‌ای و محلی را در نظر می‌گیرد، مناسبتر تشخیص داده شد (ارسلانی، ۱۳۹۸). بررسی آماری داده‌ها در دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که غلظت عنصر روی دارای رفتار منطقه‌ای (روند) است (شکل ۴)، بنابراین از کریجینگ رونددار^{۱۰} استفاده شد.



شکل ۴: روند غلظت عنصر روی در غبار ریزشی در راستای طول (X) و عرض (Y) جغرافیایی

نمونه‌گیری در بهار ۱۳۹۷ انجام شد. در مجموع ۲۸ نمونه غبار ریزشی از مناطق مختلف شهر جمع‌آوری گردید. غبارهای به دام افتاده در تله‌های رسوب‌گیر با دقت تمام جمع‌آوری شد. پس از آماده‌سازی اولیه برای شناسایی و تعیین غلظت عنصر روی و آلومینیوم موجود در گردوغبار ریزشی جمع‌آوری شده از آنالیز XRF^۶ استفاده شد.

۲.۲. روش‌ها

برای سنجش نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف^۷ و آزمون شاپیرو-ویلک^۸ استفاده گردید. برای نشان دادن توزیع داده‌ها از نمودار جعبه‌ای، که یک روش استاندارد برای

⁸-Shapiro-Wilk

⁹-Kriging

¹⁰-Universal

⁶-Xray Fluorescence spectroscopy

²-Kolmogorov-Smirnov

برای ارزیابی و شناخت سریع وضعیت باد، با کمک نرم افزار WRplot view گلباد ترسیم شد. بدین منظور داده های ساعتی، روزانه و ماهانه سرعت و جهت باد در بهار ۱۳۹۷ از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. جهت شناسایی منابع تولید کننده آلاینده ها از فاکتور غنی شدگی^{۱۱} استفاده شد. منابع ممکن است انسان-زاد، طبیعی یا ترکیبی از هر دو مورد ذکر شده باشد. این شاخص از طریق رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$EF =$$

(۱)

که در آن $(CX/Cref)_{sample}$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا در نمونه مورد مطالعه و $(CX/Cref)_{background}$ نسبت غلظت فلز مورد نظر به فلز مبنا به عنوان فلز زمینه است. گروه های مختلف تغییرات ضریب غنی شدگی در جدول ۱ ارائه شده است (ساترلند، ۲۰۰۰).

جدول ۱: طبقه بندی سطح آلودگی بر اساس فاکتور غنی شدگی (ساترلند، ۲۰۰۰)

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

مقادیر موجود در پوسته زمین به عنوان مقادیر زمینه استفاده شد. فلز مبنا فلزی پایستار (زمین زاد) مانند آلومینیوم (Al)، آهن (Fe) و منگنز (Mn) است (تام و یائو، ۱۹۹۸). برای تعیین فاکتور غنی شدگی بیشتر از عناصری چون آلومینیوم، آهن و لیتیوم (Li) به عنوان

در فرمول ذکر شده در بالا به مقادیری به نام مقدار زمینه و به فلز مبنا نیاز است. در بعضی از مطالعات از غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین به عنوان مقادیر زمینه استفاده شده است (توکال اوقلو و همکاران، ۲۰۰۳، کارتل و همکاران، ۲۰۰۶). در این مطالعه نیز از

¹¹ -Enrichment Factor

۳. یافته‌ها و نتایج

نتایج آمار توصیفی غلظت روی موجود در گرد و غبار ریزشی شهر تهران در جدول شماره ۲ ذکر شده است. میانگین غلظت روی در بهار ۱۱۳۷/۸ میلی گرم بر کیلوگرم است. که در صد درصد ایستگاه‌ها بالاتر از غلظت روی در پوسته‌ی زمین است. همچنین در صد درصد ایستگاه‌ها بالاتر از حد استاندارد غلظت خاک در ایران است.

فلزات مینا استفاده می‌شود (سعیدی و همکاران، ۲۰۱۲). زیرا این فلزات میزان بیشتری را در پوسته زمین دارند (الباکین و همکاران، ۲۰۱۲). سهم منابع انسانی برای تولید آن‌ها ناچیز است (یاروشفسکی، ۲۰۰۶). و به طور عمده از منابع طبیعی ناشی می‌شوند (سعیدی و همکاران، ۲۰۱۲). در این پژوهش از آلومینیوم به عنوان فلز مینا برای نرمال سازی محاسبات استفاده شد.

جدول ۲: آمار توصیفی غلظت روی موجود در گرد و غبار ریزشی تهران

حد استاندارد خاک در ایران ^۱	غلظت پوسته زمین ^۲	انحراف استاندارد	حداکثر حد اقل	میانگین عنصر
۲۰۰	۷۵	۴۲۹/۱	۲۱۵۶/۴	Zn ۱۱۳۷/۸

منابع: ۱. استانداردهای آلودگی منابع خاک و راهنمای آن (معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب

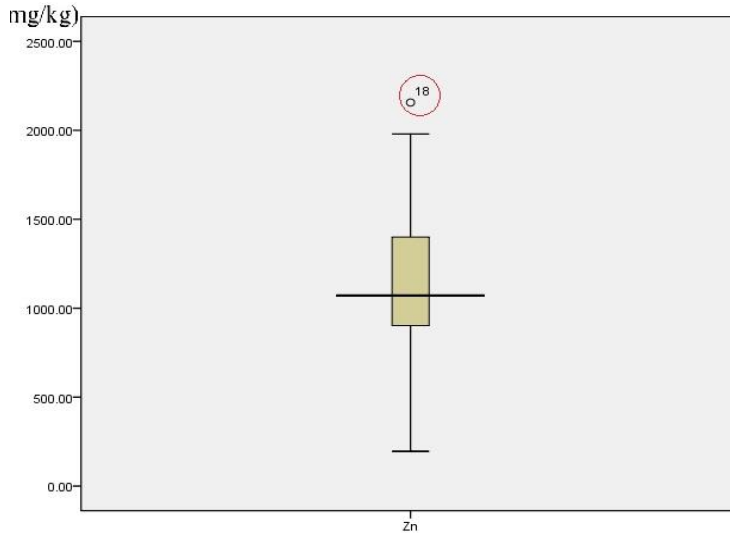
و خاک). ۲. کرباسی و همکاران، (۲۰۰۵)

غربی‌ترین موقعیت را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. روند منطقه‌ای روی از غرب به شرق و از شمال به جنوب یک جمله‌ای و افزایشی است. غلظت روی در نیمه‌ی شرقی تهران بیشتر از نیمه‌ی غربی است (شکل ۶). تهیه گلباد تهران در دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که فراوانی بادهای با سرعت بالاتر از ۸ متر بر ثانیه از غرب تهران بوده است (شکل ۷). بنابراین ذرات ریز گرد و غبار حاوی فلزات

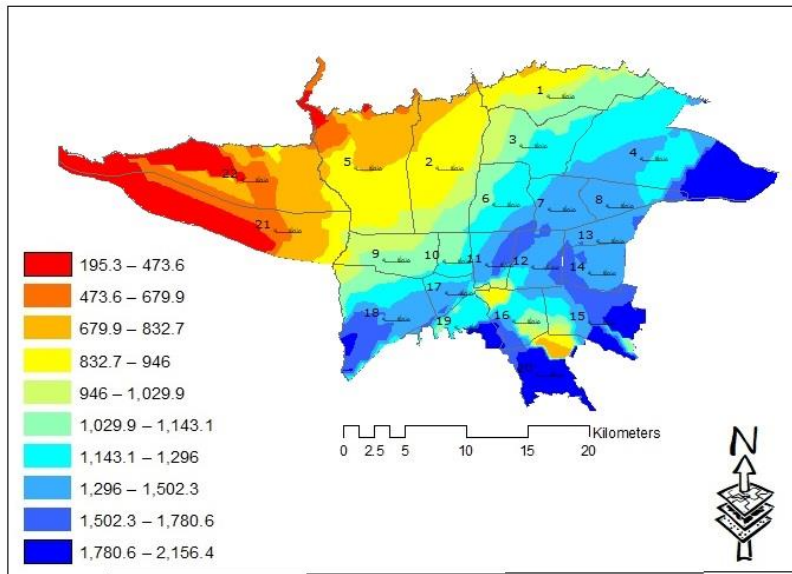
چگونگی توزیع داده‌ها در غلظت روی موجود در غبار ریزشی در شکل ۵ ارائه شده است. نقطه‌ی ۱۸ بعنوان ایستگاه نسبتاً پرت معرفی شد. این ایستگاه که به اندازه‌ی حداقل ۳+ انحراف معیار با میانگین فاصله داشت، ایستگاه سی‌تیر واقع در منطقه ۱۲ است. این ایستگاه بالاترین غلظت روی را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه داشت. پایین‌ترین غلظت را ایستگاه مرکز بهداشت الزهرا واقع در منطقه ۲۱ داشت. این ایستگاه

در شرق، غلظت روی در شرق بیشتر از غرب تهران است.

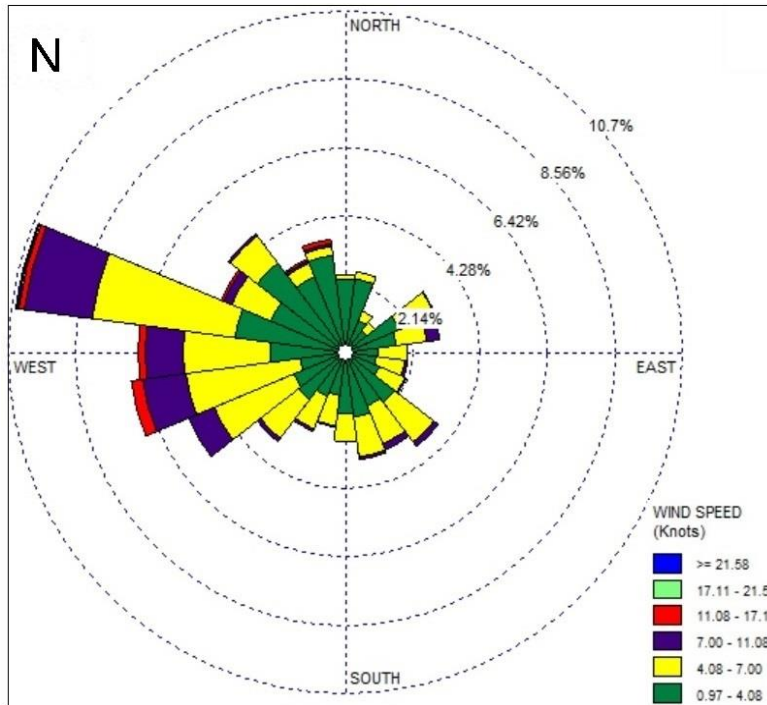
سنگین از این مناطق به نقاط شرقی تر پراکنده می شود. و به خاطر الگوی توپوگرافی تهران و کم شدن سرعت باد



شکل ۵: غلظت روی در غبار ریزشی جمع آوری شده از مناطق مختلف شهر تهران



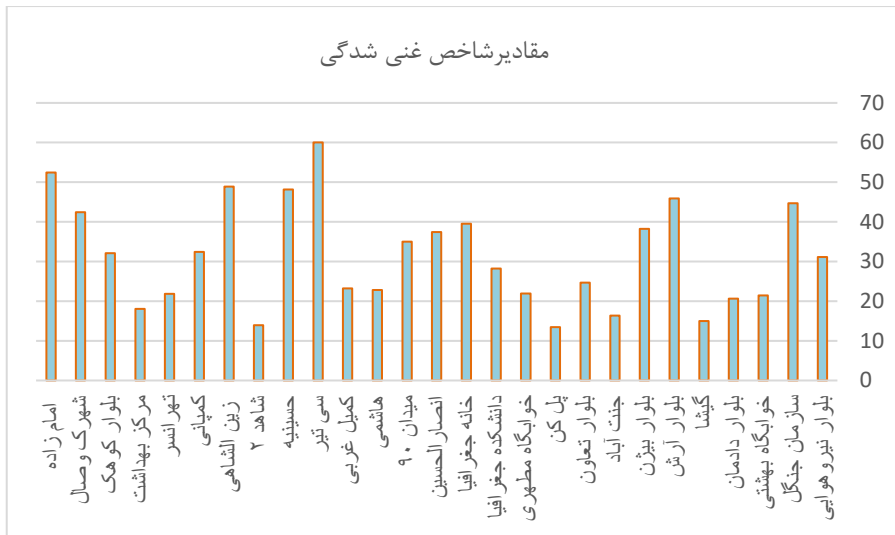
شکل ۶: تحلیل فضایی روی در بهار ۱۳۹۷



شکل ۷: گلباد تهران در بهار ۱۳۹۷

اساس محاسبات صورت گرفته ۱۸/۲۵ درصد ایستگاه‌ها در کلاس غنی-شدگی زیاد، ۵۵/۵۵ درصد ایستگاه‌های در کلاس غنی‌شدگی خیلی زیاد و ۲۵/۹۳ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در کلاس غنی‌شدگی بشدت زیاد قرار دارد.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص غنی‌شدگی برای فلز روی در نمونه غبارهای ریزشی در شکل شماره ۸ ارائه شده‌است. میانگین مقدار شاخص غنی‌شدگی برای فلز روی در نمونه‌های گرد و غبار ریزشی ۲۸/۳۹ محاسبه شد. که با توجه به جدول شماره ۱ در کلاس غنی‌شدگی خیلی زیاد قرار دارد. بر



شکل ۸: نتایج حاصل از محاسبه شاخص غنی شدگی در ایستگاه‌های مورد نظر

وابسته بود. همچنین تعداد دفعات استفاده از ترمز و سرعت خودروها از دیگر عوامل مؤثر در غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه است. تحقیقات دهقانی و همکاران (۲۰۱۷) نیز حاکی از آن بود که آلودگی ناشی از فلزات سنگین در شهر تهران مربوط به منابع انسان‌زاد نظیر ساییدگی تایر و ترمز وسایل نقلیه، سایش جاده و احتراق سوخت‌های فسیلی است. پایین‌ترین غلظت روی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به ایستگاه مرکز بهداشت الزهرا است. این ایستگاه غربی‌ترین موقعیت را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. همچنین بررسی روند منطقه‌ای غلظت روی در غبار ریزشی

بالاترین غلظت روی در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به ایستگاه سی‌تیر واقع در منطقه ۱۲ شهرداری شهر تهران است. ابتدای خیابان سی‌تیر رستوران‌های خیابانی، غذاهای کبابی و زغالی ارائه می‌کند. علاوه بر آلودگی ناشی از دود حاصل از پخت و پز این غذاخوری‌ها و توقف خودروهای روشن، در این فصل حجم ترافیک در این خیابان چندین برابر می‌شود. ذرات ریز لاستیک و لنت ترمز خودروها می‌تواند از عوامل افزایش غلظت روی در این ایستگاه باشد. نتایج تحقیقات دونگ و لی در کره (۲۰۱۱) نیز نشان داد غلظت عناصر سنگین کادمیوم، مس، سرب، روی و نیکل به میزان ترافیک بسیار

فعالیت‌های انسانی باشند (یونگ مینگ و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین بالابودن غلظت روی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه منشأ انسانی دارد. سایر پژوهشگران نیز معتقدند منابع انسانی توسط سایش ترمز و لاستیک، انتشار آگروز (بودای و کلمنت، ۲۰۱۸) و ذرات آلاینده منتشر شده توسط صنایع تولید می‌شود (آگیلرا و همکاران، ۲۰۱۹).

نتیجه‌گیری

فلزات سنگین موجود در غبار ریزشی، جز خطرناک‌ترین آلاینده‌های جوی است که سلامتی انسان و محیط زیست را تهدید می‌کند. عنصر روی بخاطر تاثیر در اعمال متابولیکی بدن و ساختمان آنزیم‌های مغزی در سلامت انسان اهمیت بسیار دارد. نتایج مطالعه ی حاضر نشان داد میانگین غلظت روی در ۱۰۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه شهر تهران بالاتر از غلظت روی در پوسته‌ی زمین و در ۱۰۰ درصد آن بالاتر از حد استاندارد غلظت خاک در ایران است. پایین‌ترین غلظت روی را غربی-ترین ایستگاه (ایستگاه مرکز بهداشت الزهرا) داشت. این ایستگاه در مسیر بادهای غربی که به تهران وارد می‌شوند قرار دارد (شکل ۴). تحلیل نتایج نشان

نشان داد، غرب تهران کمترین غلظت روی را دارد (شکل ۶). تهیه گلباد تهران در دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که بیشترین فراوانی بادهای با سرعت بالاتر از ۸ متر بر ثانیه از غرب تهران بوده‌است (شکل ۷). بنابراین ذرات ریز گردوغبار که حاوی فلز روی است از این مناطق به نقاط شرقی‌تر پراکنده می‌شود. به خاطر الگوی توپوگرافی تهران و کم شدن سرعت باد در شرق، غلظت عنصر روی در شرق تهران بیشتر از غرب آن می‌باشد. باد در آلودگی و پاک بودن یک منطقه از عناصر سنگین تأثیر بسیار دارد. مطالعات نمازی و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد میانگین غلظت عناصر سنگین در منطقه لجنانات 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 داشته‌است. نتایج محاسبه فاکتور غنی‌شدگی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بالاتر از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده‌است. فلزات با ضریب غنی‌شدگی بیشتر از ۱۰ به طور عمده ممکن است ناشی از

ضروری است. همچنین مقادیر شاخص غنی‌شدگی نقش دخالت‌های انسانی را در افزایش این عنصر در غبار ریزشی شهر تهران تایید کرد. بر اساس این شاخص غلظت روی در غبار ریزشی در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها در کلاس آلودگی خیلی زیاد قرار داشت. با توجه به نقش اصلی انسان در افزایش غلظت این عنصر در گردوغبار شهر تهران، بالا بردن سطح آگاهی و ارتقاء سطح فرهنگی جامعه در رابطه با این موضوع اهمیت بسیار دارد.

داد الگوی غربی-شرقی باد و کم شدن سرعت آن در شرق، باعث پراکندگی ذرات ریز گردوغبار که حاوی فلزات سنگین است از غرب تهران به نقاط شرقی‌تر شده است. الگوی توپوگرافی تهران هم در این امر نقش قابل توجهی دارد. بالاترین غلظت روی مربوط به ایستگاه سی تیر بود. یکی از دلایل آن بالا بودن حجم ترافیک در این ایستگاه است که باعث ساییدگی بیشتر لنت ترمز و لاستیک خودروها می‌شود. با توجه به نقش قابل توجه حجم ترافیک در غلظت روی موجود در غبار ریزشی، اجرای طرح‌های ترافیکی هدفمند

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

- منابع**
- Aguilera, A., Armendariz, C., Quintana, P., Garcia-Oliva., Bautista, F. (2019). Influence of land use and road type on the elemental composition of urban dust in a Mexican metropolitan area, *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(3), 1535–1547
 - Ali, H., Khan, E., Ilah, I. (2019). Contamination Evaluation and Source Identification of Heavy Metals in the Sediments from the Lishui River Watershed, *Southern China Journal of Chemistry*, 4, 1-14.
 - Alijani, A. (2014). Spatial Analysis, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2 (3), pp. 1-14
 - Al-Thani, H., Koc, M., Isaifan, R.J. (2018). Investigations on Deposited Dust Fallout in Urban Doha: Characterization, Source Apportionment and Mitigation. *Environment and Ecology Research*, 6(5), 493-506.
 - Arsalani, F., Alijani, B. (2022). Identification of effective factors concentration of heavy metals in the dust existing in the air of Tehran metropolis, *منابع*
 - ارسلانی، فاطمه؛ علیجانی، بهلول (۱۴۰۰). عوامل موثر در ایجاد غلظت فلزات سنگین در گردوغبار هوای کلانشهر تهران و مخاطرات آن. *مجله مدیریت مخاطرات محیطی*، ۸ (۴)، صص. ۳۲۱-۳۳۵.
 - ارسلانی، فاطمه (۱۳۹۸). آنالیز غبار ریزشی شهر تهران و بررسی منشأ آن، رساله دکتری، دانشگاه خوارزمی، تهران.
 - سلیقه، محمد (۱۳۹۴). تغییر آب و هوا و مخاطرات آب و هوایی تهران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۲ (۳)، صص. ۱۵-۳۲.
 - عباس پور، مجید (۱۳۹۰). مدلسازی آلودگی هوا. چاپ اول، تهران، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ص ۱ و ۴.
 - علیجانی، بهلول (۱۳۹۴). تحلیل فضایی، *تحلیل فضایی و مخاطرات محیطی*، ۲ (۳)، صص ۱-۱۴.
 - Abbaspour, Madjid (2011). Air pollution modeling. First edition, Tehran, Scientific Publications of Sharif University of Technology, pp. 1 and 4.

- Falling Dust in Duhok Governorate of Iraq by Using Atomic Absorption Spectrometry and X-ray Diffraction. *Journal of Physics: Conference Series*; 2nd Annual International Conference on Information and Sciences (AiCIS) 2020. doi:10.1088/1742-6596/1829/1/012001.
- Csavina, J., Field, J., Taylor, M. P., Gao, S., Landazuri, A., Betterton, E.A., Saez, A.E. (2012). A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Science of the Total Environment*. 433(1), 58–73.
 - Cai, K., Li, C. (2019). Street Dust Heavy Metal Pollution Source Apportionment and Sustainable Management in A Typical City—Shijiazhuang, China. *Environmental Research and Public Health*. 16 (14), 2-16.
 - Duong, T., Lee. B. K. (2011). Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Environmental Hazards management*, 8 (4), 321- 335.
 - Arsalani, F. (2019). Analysis of Tehran city falling dust and study of it's sources. PhD Thesis. Kharazmi University, Tehran, Iran.
 - Al Bakain R.Z., Jaradat Q.M., Momani K.A. (2012). Indoor and outdoor heavy metals evaluation in kindergartens in Amman, Jordan. *Jordan Journal of Physics*, 5(1), 43-52.
 - Baghaie, A.H., 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), *Advances in Environmental Health Research*, 7(1), 18-24.
 - Budai, P., A, Clement, A. (2018). Spatial distribution patterns of four traffic-emitted heavy metals in urban road dust and the resuspension of brake-emitted particles: findings of a field study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 179–185.
 - Berivan, H. M. (2021). Measurement of Fall Rate and Analysis of Atmospheric

- Dissertation the Hebrew University of Jerusalem.
- Hai, C.X., Yuan, C.S., Guang-tong Liu, G.T., Li, X.J. (2008). Research on the Components of Dust Fall in Hohhot in Comparison with Surface Soil Components in Different Lands of Inner Mongolia Plateau. *Water Air and Soil Pollution*. 190(1), 27-34.
 - Jia, Q., Hung, Y. (2008). Coarse dust around mining areas-A study of available dust collectors and their efficiency, Lulea University of Technology, department of Civil and Environmental Engineering, Division of soil Mechanics and Foundation Engineering.
 - Jiries, A. (2003). Vehicular Contamination of Dust in Amman, Jordan, *The Environmentalist*, 23, 205-210.
 - Karbassi, A.R., Nabi-Bidhendi, Gh.R. and Bayati, I. (2005). Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf, *Environmental Health Science and Engineering*, 2, 225-260.
 - Environmental Management. 92(3), 554-562.
 - Dehghani, S., Moore, F., Keshavarzi, B., Beverley, A.H. (2017). Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 136, 92-103.
 - Gong, Q., Deng, J., Xiang, Y., Wang, Q., Yang, L. (2008). Calculation Pollution Indices by Heavy Metals in Ecological Geochemistry Assessment and a Case Study in Parks of Beijing, China University of Geosciences. 19 (3), 230-241.
 - Gonzalez-Macias, C., Schifter, I., Lluch-Cota, D.B., Mendez-Rodriguez, L., Hernandez-Vazquez, S. (2006). Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in coastal sediments of Salina Cruz Bay, Mexico, *Environmental Monitoring and Assessment*, 118 (1-3), 211-230.
 - Ganor, E. (1975). Atmospheric dust in Israel: Sedimentological and meteorological analysis of dust deposition. Ph.D. Thesis,

- Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases. *Metal Ions in Life Sciences* 13. Springer, 389–414.
- Modaihsh, A.S., Mahjoub, M.O. (2013). Falling Dust Characteristics in Riyadh City, Saudi Arabia During Winter Months, *APCBEE Procedia*, 5, 50 – 58.
 - Salighe, M. (2015). Climate Change and Climate Hazards in Tehran, *Journal of spatial analysis environmental hazards*, 2 (3), 15-32.
 - Sutherland, R.A., (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, *Journal of Environmental Geology*, 39, 611–627.
 - Ta, W., Xiao, H., Qu, J., Xiao, Z., Yang, G., Wang, T., Zhang, X. (2004). Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986–2000, *Geomorphology*, 57(1-2), 41-51.
 - Taghavi, S.N., Kamani, H., Dehghani, M.H., Nabizadeh, R., Afshari, N., Mahvi, A.H. (2019). Assessment of Heavy Metals in Street Dusts of Tehran Using Enrichment
 - Kartal, S., Aydin, Z., Takalioglu, S. (2006). Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Hazardous Materials*. 132(1), 80-89.
 - Kumari, Sh., M. K, Jain., S. P, Elumalai. (2021). Assessment of Pollution and Health Risks of Heavy Metals in Particulate Matter and Road Dust Along the Road Network of Dhanbad, India. *Health and Pollution*, 11(29), 4-12.
 - Li, X., Poon, C. S., Liu, P. S. (2001). Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong, *Applied Geochemistry*. 16 (11-12), 1361–1368.
 - Lu, X., Wang L., Lei, K., Huang, J., Zhai, Y. (2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China, *hazardous materials*, 161(2), 1058-1062.
 - Maret, W (2013). Chapter 12. Zinc and Human Disease". In Astrid Sigel; Helmut Sigel; Roland K. O. Sigel.

- elements in the Earth's crust, *Geochemistry International*, 44(1), 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*, 355, 176-186.
 - Yang, Sh., J. Liu., X. Bi., Y. Ning., Sh. Qiao., Q. Yu., J. Zhang. (2020). Risks related to heavy metal pollution in urban construction dust fall of fast-developing Chinese cities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 197(40), 1-14.
 - Factor and Geo-Accumulation Index, *Health Scope*, 8(1), 1-10.
 - Tokalioglu, S., Kartal, S., 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*, 27(3), 333-346.
 - Tam, N.F.Y., Yao, M.W.Y. (1998). Normalisation and heavy metal contamination in Mangrove Sediments. *Science of the Total Environment*. 216 (1-2), 33-39.
 - Wang, G., Oldfield, F., Xia, D., Chen. F., Liu, X., Zhang, W. (2012). Magnetic properties and correlation with heavy metals in urban street dust: A case study from the city of Lanzhou, China, *Atmospheric Environment*, 46, 289-298
 - Wei, B., Jiang, F., Li, X., Mu, S. (2009). Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China, *Microchemical Journal*. 93(2), 147-52.
 - Yaroshevsky, A.A. (2006). Abundances of chemical