

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره نه، آذرماه ۱۴۰۰ (۱۹۰-۱۷۵)

بررسی آلودگی سرب در ذرات معلق داخل و خارج ساختمان های مسکونی، اداری، تجاری در کلانشهر کرج

شکوفه ساجدی سابق^۱

نبی الله منصوری^{*}

nmansouri@srbiau.ac.ir

لعبت تقوی^۲

سیدعلیرضا حاجی سیدمیرزا حسینی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۹/۸/۶

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی فلزات سنگین ذرات معلق موجود در هوا یک مشکل جدی محیط شهری است و مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در بین فلزات سنگین سرب عنصری است که در ذرات معلق از منابع مختلف وارد می شود. در این تحقیق به تعیین میزان سرب در ذرات معلق ریزشی در داخل و خارج ساختمان های مسکونی و اداری و تجاری کلانشهر کرج پرداخته شده است.

روش بررسی: نمونه گیری از ذرات معلق در دی ماه ۱۳۹۹ از ۲۳ ایستگاه در داخل و خارج از ساختمان در سطح کلانشهر کرج انجام شد. به منظور سنجش میزان سرب در نمونه های جمع آوری شده از روش هضم شیمیایی تر با استفاده از ترکیب اسیدنیتریک/اسید پرکلریک استفاده شد. در نهایت میزان فلز سرب با استفاده از دستگاه ICP-MS اندازه گیری شد.

یافته‌ها: براساس یافته های این مطالعه بیشترین میزان سرب در داخل و خارج ساختمان های مسکونی و اداری و تجاری به ترتیب برابر با ۸۵۸/۷۳ و ۴۴۶/۲۸ میکرو گرم بر گرم اندازه گیری شد. همچنین بین میزان سرب در داخل و خارج ساختمان و بین ایستگاه های مختلف اختلاف معنی دار مشاهده شد، در بعضی از ایستگاه‌ها میزان سرب داخل و در بعضی از ایستگاه‌ها در خارج ساختمان میزان این عنصر بیشتر اندازه گیری گردید.

بحث و نتیجه گیری: آنالیز سرب در نمونه‌های گرد و غبار داخل و خارج ساختمان در کلانشهر کرج، پراکنش مکانی میزان این آلاینده را در ایستگاه‌های مختلف براساس منابع آلاینده نشان می دهد. بررسی نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد در مناطق با بار

۱- دانشجوی دکتری رشته محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

ترافیکی بالاتر میزان سرب در نمونه های گرد و غبار جمع آوری شده در داخل و خارج ساختمان بیشتر از سایر ایستگاه های اندازه گیری شده است.

واژه های کلیدی: ذرات معلق، سرب، کلانشهر کرج، ترافیک، ICP-MS، آلودگی هوا.

Investigation of lead pollution in suspended particles inside and outside residential, office and commercial buildings in Karaj metropolis

Shokoofeh Sajedi Sabegh¹

Nabiollah Mansouri^{2*}

nmansouri@sbiau.ac.ir

Lobat Taghavi³

Seyed Alireza Haji Seyed Mirza Hosseini⁴

Admission Date: September 8, 2021

Date Received: October 27, 2020

Abstract

Background and Objectives: Heavy metal pollution of airborne particles is a serious problem in the urban environment and has been considered by many researchers. Among heavy metals, lead is an element that enters suspended particles from various sources. In this research, the amount of lead in suspended particles indoor and outdoor the building of Karaj metropolis has been investigated.

Material and Methodology: Sampling of suspended particles was performed in December 2019 from 23 stations indoor and outdoor the building in Karaj metropolis. In order to measure the amount of lead in the collected samples, wet chemical digestion method was used by nitric acid/perchloric acid combination. Finally, the concentration of lead metal was measured using ICP-MS.

Findings: Based on the findings of this study, the highest levels of lead indoor and outdoor the buildings were measured as 858.73 and 446.28 $\mu\text{g/g}$, respectively. Also, a significant difference was observed between the amount of lead indoor and outdoor the building and in addition between different stations, in some stations the amount of lead indoor and in some stations outdoor the building the amount of this element was measured more.

Discussion and Conclusion: Lead analysis in indoor and outdoor dust samples in Karaj metropolis shows the spatial distribution of this pollutant in different stations based on pollutant sources. Examination of the results of one-way analysis of variance test showed that in areas with higher traffic load, the amount of lead in dust samples collected inside and outside the building was higher than other stations.

Keywords: Suspended particles, lead, Karaj metropolis, traffic, ICP-MS, air pollution.

1- PhD student of Environmental Science and Research Branch of Islamic Azad University, Tehran.

2- Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

در سال های اخیر و بعد از انقلاب صنعتی افزایش سریع شهرنشینی و تقاضای مداوم برای توسعه زیربنایی در مناطق شهری باعث ایجاد اختلال و در نتیجه کاهش چشمگیری در کیفیت محیط زیست شهری گردیده است. امروزه، تاثیر انسان بر محیط زیست و به ویژه آلودگی اتمسفر یکی از نگرانی های مهم محیط زیستی در سراسر جهان می باشد (۱). در حال حاضر کشورهای در حال توسعه نیز تحت افزایش فشار شهری شدن قرار گرفته اند و آلودگی هوا سلامتی ساکنان شهری را به خطر انداخته است. سازمان بهداشت جهانی گزارش داده است که شمار تلفات جهانی به دلیل آلودگی هوا ۴/۲ میلیون در سال ۲۰۱۶ بود که ۹۱ درصد این موارد در کشورهای کم درآمد و متوسط درآمد رخ داده است (۱).

کرج مرکز استان البرز و با مرکزیت شهرستان کرج، یکی از کلان شهرهای ایران است. جمعیت شهر کرج برپایه سرشماری سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۹۷۳۴۷۰ تن، و با وسعت ۱۶۲ کیلومتر مربع می باشد که در حدود ۴۰ کیلومتری تهران قرار دارد. کرج چهارمین شهر پرجمعیت ایران و بیست و دومین کلان شهر پرجمعیت خاورمیانه است. کرج پس از تهران بزرگترین شهر مهاجرپذیر ایران است. همچنین جمعیت این شهر نسبت به سایر شهرهای بزرگ ایران جوان تر است، و بالاترین میزان رشد مولید یا زاد و ولد را به خود اختصاص داده است. این شهر در میان کلان شهرهای ایران با رشد جمعیت سالانه ۱۴/۳ درصد بالاترین رشد جمعیت را دارد. و در سال های اخیر به دلیل افزایش بیش از حد جمعیت، و در پی آن افزایش ترافیک و صنعتی شدن و شرایط توپوگرافی خاص این شهرستان، این کلانشهر جز آلوده ترین شهرهای ایران از نظر آلودگی هوا بوده است (۱۸).

افزایش جمعیت در کلانشهر کرج و در پی آن افزایش استفاده از وسایل نقلیه موتوری و مصرف سوخت های فسیلی بیشتر، باعث افزایش آلودگی محیط زیست شهری کرج به آلاینده های مختلف بخصوص فلزات سنگین شده است (۲۱). در این مطالعه به بررسی میزان آلودگی سرب در ذرات معلق خارج و داخل ساختمان در سطح شهر کرج که به عنوان یکی از آلاینده های مهم هوا می باشد پرداخته شده است.

در سال های اخیر و بعد از انقلاب صنعتی افزایش سریع شهرنشینی و تقاضای مداوم برای توسعه زیربنایی در مناطق شهری باعث ایجاد اختلال و در نتیجه کاهش چشمگیری در کیفیت محیط زیست شهری گردیده است. امروزه، تاثیر انسان بر محیط زیست و به ویژه آلودگی اتمسفر یکی از نگرانی های مهم محیط زیستی در سراسر جهان می باشد (۱). در حال حاضر کشورهای در حال توسعه نیز تحت افزایش فشار شهری شدن قرار گرفته اند و آلودگی هوا سلامتی ساکنان شهری را به خطر انداخته است. سازمان بهداشت جهانی گزارش داده است که شمار تلفات جهانی به دلیل آلودگی هوا ۴/۲ میلیون در سال ۲۰۱۶ بود که ۹۱ درصد این موارد در کشورهای کم درآمد و متوسط درآمد رخ داده است (۱).

آلودگی فلزات سنگین ذرات معلق موجود در هوا یک مشکل جدی محیط شهری است و مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (۳). در بین فلزات سنگین مختلف، سرب عنصری است که در همه جا یافت می شود. (۵). مطالعات مختلف نشان داده است که مواجهه محیطی سرب اثرات مضر جدی بر عملکردهای عصبی و کاهش تولید هم در هموگلوبین خون، به ویژه در کودکان دارد. آسیب های عصبی ناشی از سرب برای چندین دهه شناخته شده است و شواهد وجود دارد که نشان می دهد ممکن است آستانه "ایمن" برای این عنصر وجود نداشته باشد (۶) سرب موجود در خاک و گرد و غبار خانه مدت هاست که به عنوان منبع اصلی جذب بیش از حد سرب در کودکان خردسال شناخته شده است (۱۰). مثال رنگ های حاوی سرب از طریق ورقه ورقه شدن یا جداسدن رنگ مستقیماً به داخل خانه وارد می شوند (۱۱). محققان زیادی اشاره کرده اند که منابع بیرونی، مانند خاک، رنگ و گرد و غبار خیابان، از طریق مسیرهای ورود هوا به داخل خانه، وارد محیط داخلی ساختمان می شوند، که این گرد و غبار می تواند آلوده به فلزات سنگین بخصوص سرب باشد. (۱۶). از مهمترین عناصر موجود در خروجی آگزوز خودروها می توان به سرب اشاره کرد. این عنصر به طور طبیعی در محیط زیست وجود دارد. اما در اکثر موارد سرب موجود در طبیعت حاصل

روش بررسی

در این تحقیق نمونه گیری در دی ماه ۱۳۹۹ از ۲۳ ایستگاه در داخل و خارج از ساختمان در سطح شهر کرج انجام شد. ایستگاه‌ها براساس دوری و نزدیکی به شریان‌های اصلی شهر با بار ترافیکی مختلف، پارک های شهر، محیط‌های آموزشی و تجاری انتخاب شد. با توجه به گرد و غبار استنشاقی تنها در صورتی قابل برداشت است که آن را از زوایای داخلی ساختمان که قابل ماندگار نیست برداشت شود این نمونه های گرد و خاک از گوشه های اتاق در حاشیه دیوار که قابل تمیز کردن نباشد یا از کادر کناف سقفی و یا روی کابینت ها که مدت طولانی تمیز

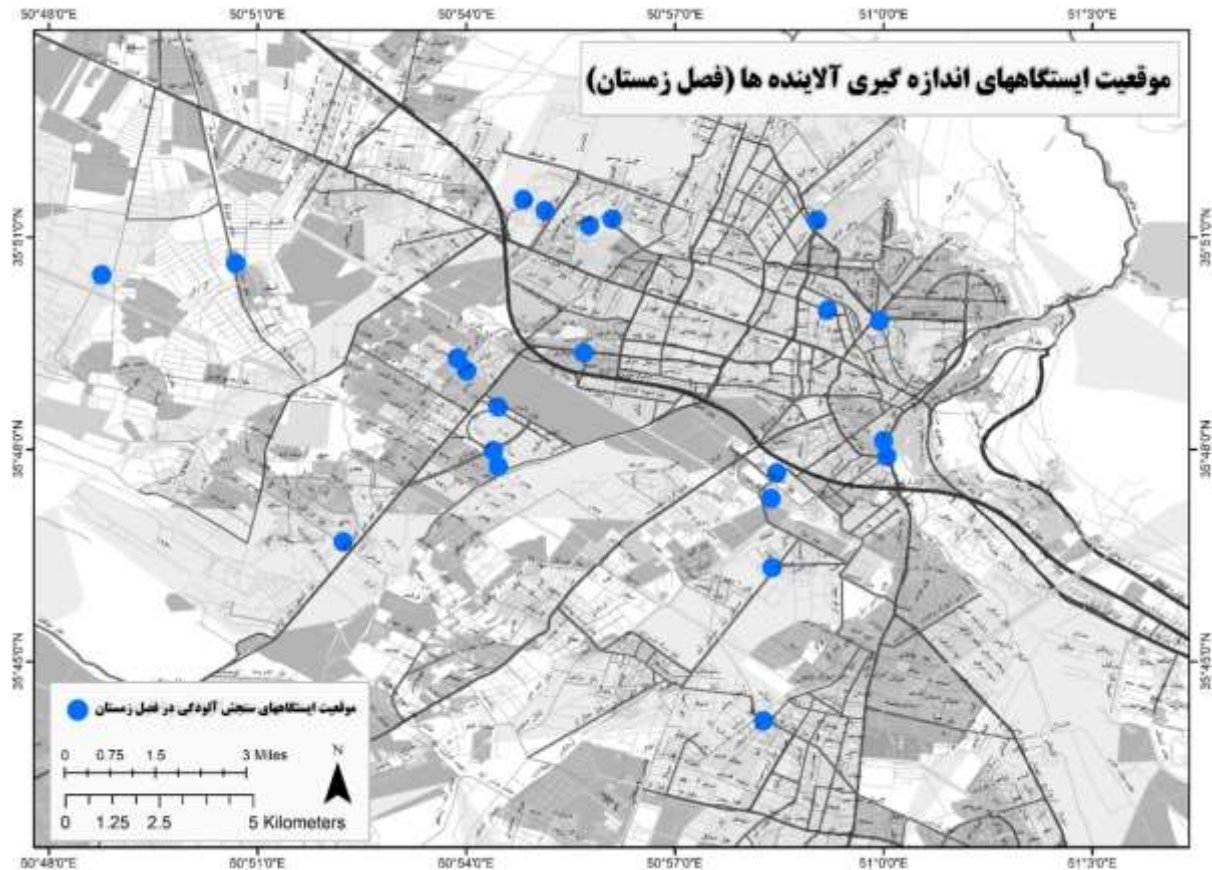
نشده باشد با هماهنگی قبلی برداشت شد. در نمونه های خارج از ساختمان هم از گوشه لبه تاقچه پنجره ها که سایبان داشته و بارندگی آن را تحت تاثیر قرار نداده برداشت شد. این نمونه برداری با استفاده از قلم موی کوچک نقاشی و یک مقوای نازک جمع آوری و بلافاصله در ظروف نمونه برداری به آزمایشگاه منتقل گردید. (۱۴،۲۲). در جدول ۱ محل ایستگاه های نمونه برداری به همراه نوع سیستم گرمایشی هر ایستگاه آورده شده است. در شکل ۱ نقشه نقاط ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کلانشهر کرج نشان داده شده است.

جدول ۱- ایستگاه های نمونه برداری در کلانشهر کرج

Table 1. Sampling stations in Karaj metropolis

کد	Location	سیستم گرمایش	آدرس محل نمونه برداری
S-1	35°47'39.8"N 50°58'27.8"E	شوقاژ	"دانشکده محیط-زیست کرج" کرج، میدان استاندارد
S-2	35°47'45.3"N 50°54'13.2"E	شوقاژ + شومینه	"مهرشهر"، بلوار شهرداری، خیابان ۲۰۶
S-3	35°51'14.4"N 50°59'02.6"E	چیلر	"دانشگاه پیام-نور" کرج، رجایی شهر، بلوار مودن، بلوار دانشگاه، دانشکده حسابداری
S-4	35°47'18.1"N 50°58'23.1"E	بخاری گازی	کرج، "میدان استاندارد، شیخ آباد"، مسجد صاحب الزمان
S-5	35°51'15.2"N 50°56'06.1"E	بخاری گازی	کرج، "شاهین-ویلا، شهرک شهرداری"، کوچه دوم غربی
S-6	35°51'31.8"N 50°54'49.4"E	شوقاژ	دانشگاه خوارزمی، کرج، حصارک، دانشگاه خوارزمی، میدان دانشگاه، "مسجد دانشگاه"
S-7	35°51'22.3"N 50°55'08.2"E	چیلر	دانشگاه خوارزمی، کرج، "حصارک، دانشگاه خوارزمی"، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی
S-8	35°49'21.9"N 50°55'41.6"E	بخاری برقی	معاینه فنی الغدیر، کرج، "۴۵ متری گلشهر"، بلوار گلزار غربی، سه راه الغدیر
S-9	35°49'58.1"N 50°59'11.7"E	انرژی	کرج، جهانشهر، "بلوار ماهان"، خانه هنرمندان
S-10	35°51'09.8"N 50°55'46.4"E	شوقاژ	کرج، "حصارک بالا"، میدان شهرداری، مطب دندان-پزشکی
S-11	35°44'09.5"N 50°58'16.5"E	بخاری گازی	"فردیس"، کانال غربی، سه راه دهکده، جنب داروخانه

			دکتر بحرینی
S-12	35°46'19.6"N 50°58'23.9"E	بخاری برقی	"معاینه فنی شهید سعادت" کرج، رزکان-نو، ابتدای جاده مشکین دشت، خیابان نفت
S-13	35°47'15.4"N 50°59'26.1"E	بخاری گازی	سازمان مدیریت پسماند کرج، میدان استقلال، خیابان شهید صدوقی، جنب پمپ گاز اتوبوسرانی، "محل تعمیر و نگهداری خودروهای سنگین"
S-14	35°49'48.7"N 50°59'56.5"E	شופاژ + انرژی	معاونت خدمات شهری شهرداری کرج، کرج، چهار راه طالقانی، "زیر پل آزادگان"
S-15	35°47'53.9"N 51°00'02.8"E	اجاق	کرج، "میدان امام حسین"، قنادی خراسانی
S-16	35°48'07.0"N 50°59'60.0"E	فن کوئل	پردیس دانشگاه تهران "پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران"، گروه جنگل
S-17	35°48'35.8"N 50°54'27.5"E	شופاژ	مدرسه دخترانه الزهرا "مهرشهر، حسین آباد"، خیابان ولیعصر، بلوار ارم، بلوار دانش
S-18	35°49'17.7"N 50°53'52.2"E	چیلر + بخاری گازی	بیمارستان ثارالله، مهرشهر، حسین آباد، "بلوار ارم"، خیابان ولیعصر، کوی فرهنگ، میدان فرهنگ
S-19	35°47'58.6"N 50°54'23.8"E	چیلر	شهرداری منطقه ۴، مهرشهر، حسین آباد، بلوار ارم، بلوار شهرداری، "شهرداری مهرشهر"
S-20	35°49'06.7"N 50°54'00.5"E	بخاری گازی	مهرشهر، حسین آباد، بلوار ارم، کوی فرهنگ، "چهار راه فرهنگ"، خیابان ولیعصر، کوچه تاجیک ۲
S-21	35°46'41.5"N 50°52'13.9"E	اجاق + بخاری گازی	"کیان-مهر"، تقاطع بلوار ارم و امیرکبیر، سوپر مارکت زنبق
S-22	35°50'38.7"N 50°50'41.3"E	بخاری گازی	کرج، "چهار باغ"، میدان چهار باغ، بلوار شهدا، مغازه ابزار آلات
S-23	35°50'27.9"N 50°48'45.6"E	بخاری گازی	امام زاده برهان الدین، کرج، "قوهه"، خیابان امام خامنه-ای، امام زاده برهان الدین



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کلانشهر کرج در فصل زمستان

Figure 1. Map of studied stations in Karaj metropolis in winter

یافته ها

آنالیز شیمیایی

به منظور هضم شیمیایی نمونه ها، ابتدا نمونه ها با الک سایز ۶۳ میکرون الک شده و سپس در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در آون به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند (۲۸). پس از خشک شدن نمونه ها حدود ۱ گرم از گرد و غبار الک شده را با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شد و به داخل لوله‌های پلی اتیلنی مخصوص هضم انتقال یافت. جهت هضم شیمیایی، از ترکیب اسیدنیتریک ۶۵ درصد (۸ میلی لیتر) و اسید پرکلریک ۷۰ درصد (۴ میلی لیتر) در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت یک ساعت و دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت استفاده شد (۲۴). پس از اتمام مراحل هضم، محلول با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ و کیف پلی اتیلنی در بالن ژوژه ۲۵ میلی لیتری صاف گردیده و نهایتاً با استفاده از آب دیونیز حجم محلول به ۲۵ میلی لیتر رسانده

شد، و میزان فلز سرب با استفاده از دستگاه ICP-MS مدل HP-4500 (ساخت آمریکا) اندازه گیری گردید. تمام ظروف مورد استفاده، قبل از استفاده به مدت ۲۴ ساعت در اسید نیتریک ۵٪ قرار داده شد سپس با آب مقطر شستشو و خشک گردیدند.

ارزیابی شدت آلودگی سرب نمونه‌های گرد و غبار

در این مطالعه میزان آلودگی نمونه های گرد و غبار با استفاده از شاخص زمین انباشتگی مولر (Igeo) و شاخص غنی شدگی (EF) ارزیابی شد.

فاکتور غنی شدگی (Enrichment Factor)

در ابتدا فاکتور غنی شدگی به منظور بررسی و ارزیابی عناصر در جو، بارش یا آب دریا استفاده می شد، اما به تدریج برای مطالعه خاک، رسوبات و سایر موارد محیط زیستی گسترش و توسعه یافت. از این فاکتور جهت غنی شدگی تعیین منابع

میزان آن عنصر ندارند. مقادیر فاکتور غنی شدگی در پنج سطح طبقه بندی شده است که در جدول ۲ آورده شده است.

شاخص زمین انباشت (Igeo) Geo-Accumulation

Index

شاخص زمین انباشتگی مولر یکی از شاخص های متداول تعیین شدت آلودگی است که در اواخر دهه ۱۹۶۰ تدوین شد و از آن زمان تاکنون بسیار برای مطالعه و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک ها و غبار جاده های شهری استفاده می شود.

شاخص (Igeo) مطابق معادله ۲ میزان شدت آلودگی به عناصر سمی را با در نظر گرفتن نسبت غلظت هر عنصر در نمونه مورد بررسی به غلظت زمینه ای آن عنصر در پوسته زمین محاسبه برآورد می نماید:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right) \quad (2)$$

که در این معادله: C_n برابر با غلظت اندازه گیری شده عنصر در نمونه و B_n برابر با غلظت زمینه ای همان عنصر در پوسته زمین است. ضریب ۱/۵ نیز برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظتهای زمینه ای ناشی از فعالیت های زمین شناسی اعمال می شود. با توجه به فرمول (۲) هفت سطح برای بیان میزان شدت آلودگی در نظر گرفته می شود که از سطح غیر آلوده تا آلودگی بسیار شدید طبقه بندی می گردد که در جدول ۲ ارائه شده است.

احتمالی طبیعی یا انسانی عناصر موجود در گرد و غبار استفاده می شود. و نشان دهنده میزان و درجه آلودگی عناصر سمی در گرد و غبار می باشد. فاکتور غنی شدگی یک عنصر با استفاده از معادله زیر به دست می آید:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_{Fe}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{B_n}{B_{Fe}} \right)_{\text{background}}} \quad (1)$$

که در فرمول بالا: EF برابر با ضریب غنی شدگی، C_n برابر با میزان فلز مورد بررسی در نمونه گرد و غبار، B_n برابر با میزان پیشینه جهانی ژئوشیمیایی فلز n ، C_{Fe} برابر با میزان عنصر مرجع در نمونه گرد و غبار و B_{Fe} برابر با میزان پیشینه جهانی ژئوشیمیایی عنصر مرجع. عنصر آهن به عنوان عنصر رفرنس در این مطالعه در نظر گرفته شد چرا که منابع انسانی انتشار آن ناچیز و قابل صرف نظر می باشد و یکی از عناصر فراوان پوسته زمین می باشد. با برآورد فاکتور غنی شدگی می توان ارزیابی کرد که عناصر موجود در نمونه مورد نظر منشأ طبیعی دارند یا در نتیجه فعالیت های انسانی به وجود آمده اند. که در این شاخص اگر میزان فاکتور غنی شدگی EF عنصر مورد نظر کمتر از یک باشد آن عنصر منشأ طبیعی، اگر بین یک تا ده باشد عنصر هم منشأ طبیعی و هم منشأ انسانی و اگر این نسبت بیشتر از ۱۰ باشد منشأ عنصر مورد نظر عمدتاً عوامل انسانی است. میزان فاکتور غنی شدگی بین ۱ تا ۵ نشان دهنده این است که منابع انسانی سهم معنی داری در

جدول ۲- فاکتور غنی شدگی و شاخص زمین انباشت آلودگی سرب نمونه های گرد و غبار

Table 2. Enrichment factor and Geo-Accumulation Index of lead contamination of dust samples

شاخص زمین انباشت		شاخص غنی شدگی	
میزان زمین انباشت	فاکتور زمین انباشت	میزان غنی شدگی و رنگ شاخص	فاکتور غنی شدگی
غیر آلوده	$X \leq 0$	کم	$EF < 2$
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	$0 < X < 1$	متوسط	$2 \leq EF < 5$
آلودگی متوسط	$1 < X < 2$	قابل توجه	$5 \leq EF < 20$
آلودگی متوسط تا شدید	$2 < X < 3$	خیلی زیاد	$20 \leq EF < 40$
آلودگی شدید	$3 < X < 4$	به شدت زیاد	$EF \geq 40$
آلودگی شدید تا بسیار شدید	$4 < X < 5$		
آلودگی بسیار شدید	$5 < X$		

بحث و نتیجه گیری

ساختمان در جدول ۲ نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها بین میزان این آلاینده در داخل و خارج ساختمان اختلاف معنی دار مشاهده شد، در بعضی از ایستگاه‌ها میزان سرب داخل و در بعضی از ایستگاه‌ها در خارج ساختمان میزان این عنصر بیشتر اندازه گیری گردید.

در جدول ۳ میانگین و انحراف معیار و مقایسه میزان مقادیر سرب در داخل و خارج ساختمان در فصل سرد شهر کرج آورده شده است. براساس یافته‌های بدست آمده از این مطالعه بیشترین میزان سرب در داخل و خارج ساختمان به ترتیب برابر با ۸۵۸/۷۳ و ۴۴۶/۲۸ میکرو گرم بر گرم اندازه گیری شد. نتایج آزمون تی به منظور مقایسه میزان سرب در داخل و خارج

جدول ۳- میانگین \pm انحراف معیار و مقایسه مقادیر سرب در داخل و خارج ساختمانTable 3. Mean \pm standard deviation and comparison of lead levels indoor and outdoor of the building

بیرون ساختمان	داخل ساختمان	کد ایستگاه
۷۸/۶۶ ^a \pm ۹/۳۹	۳۸/۲۳ ^b \pm ۱/۶۵	S-1
۳۰/۳۷ ^b \pm ۰/۰۴	۷۱/۵۲ ^a \pm ۰/۰۴	S-2
۴۷/۶۰ ^b \pm ۰/۴۳	۱۲۷/۹۴ ^a \pm ۵/۰۷	S-3
۱۹/۸۵ ^a \pm ۱/۱۴	۲۱/۶۸ ^a \pm ۰/۱۴	S-4
۵۱/۵۸ ^a \pm ۸/۴۰	۳۰/۰۳ ^b \pm ۰/۴۷	S-5
۳۴/۶۸ ^b \pm ۲/۷۲	۱۱۰/۲۵ ^a \pm ۴/۱۳	S-6
۲۸/۱۶ ^b \pm ۱/۸۱	۳۹/۶۸ ^a \pm ۱/۵۱	S-7
۴۴۶/۲۸ ^b \pm ۱۵/۸۱	۶۰۲/۸۰ ^a \pm ۱۰۴/۱۰	S-8
۳۹/۹۷ ^b \pm ۱/۲۴	۸۵۸/۷۳ ^a \pm ۴۵/۶۰	S-9
۵۷/۸۹ ^b \pm ۵/۲۷	۲۰۰/۲۲ ^a \pm ۱۵/۹۰	S-10
۹۵/۵۵ ^b \pm ۸/۸۱	۱۱۸/۳۲ ^a \pm ۶/۷۴	S-11
۱۱۰/۳۶ ^a \pm ۱/۴۱	۹۱/۶۹ ^b \pm ۲۹/۴۷	S-12
۱۴۸/۱۹ ^a \pm ۴/۵۸	۱۱۲/۹۵ ^b \pm ۱۲/۸۵	S-13
۲۷۵/۶۹ ^a \pm ۴۶/۳۳	۱۳۵/۸۸ ^b \pm ۴۰/۱۰	S-14
۳۹۵/۲۵ ^a \pm ۱۶۷/۲۴	۹۶/۱۰ ^b \pm ۱/۴۴	S-15
۳۷/۶۴ ^b \pm ۰/۰۵	۷۳/۱۸ ^a \pm ۲۴/۵۲	S-16
۱۴۶/۵۴ ^b \pm ۲۵/۳۵	۲۶۸/۱۳ ^a \pm ۱۰/۷۲	S-17
۹۹/۴۰ ^a \pm ۹/۹۸	۴۲/۶۳ ^b \pm ۵/۶۲	S-18
۵۸/۹۵ ^a \pm ۰/۸۱	۲۶/۱۳ ^b \pm ۲/۰۲	S-19
۱۰۳/۳۹ ^b \pm ۴/۹۰	۱۶۲/۶۸ ^a \pm ۹/۳۴	S-20
۱۵۳/۳۰ ^b \pm ۲۶/۲۶	۲۹۰/۱۰ ^a \pm ۶۶/۵۱	S-21
۹۷/۰۰ ^b \pm ۲/۲۵	۲۳۵/۵۰ ^a \pm ۲۷/۰۲	S-22
۱۷۳/۳۳ ^a \pm ۲/۰۱	۱۳۸/۷۵ ^b \pm ۴/۴۶	S-23

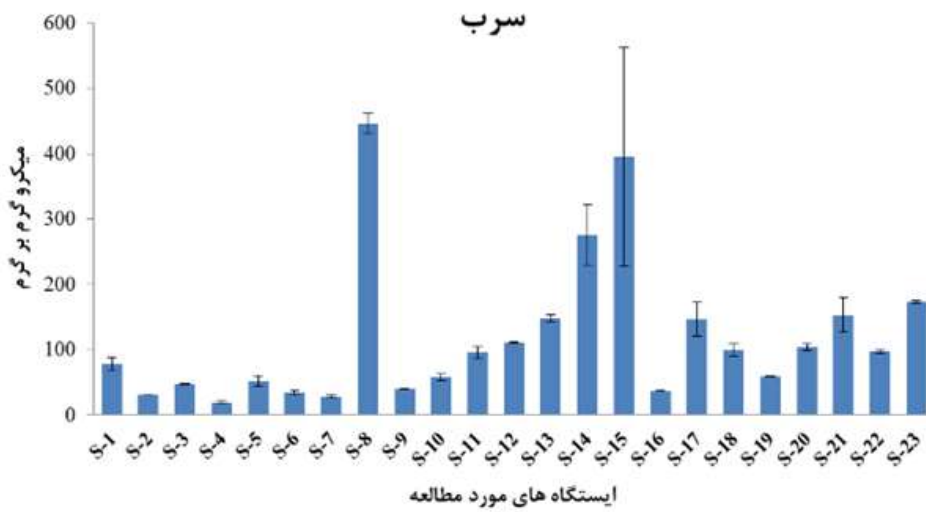
حروف مشابه و حروف متضاد در هر ردیف به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار و وجود اختلاف معنی دار

نتایج میزان سرب در گرد و غبار ریزشی در ایستگاههای مختلف در جدول ۳ نشان می دهد در تمام ایستگاههای مورد مطالعه در داخل و خارج ساختمان مقادیر قابل توجهی از این عنصر زنوبیوتیک اندازه گیری شده است که دلیل آن می تواند به تمایل این فلز سنگین و سمی به تجمع در ذرات ریزتر خاک (رس و سیلت) مربوط باشد. به این صورت که این عنصر به صورت هواپرد تغلیظ یافته و با حجم ترافیک ارتباط مستقیم دارد و ناشی از فرایند سوختن در موتور خودروهاست (۲۶). همچنین آلودگی هوا در محیط داخلی با فلزات سنگین ممکن است از بسیاری از منابع نشأت گرفته شود، یکی از مهمترین منابع فلزات سنگین انتشار از وسایل نقلیه است. منابع دیگر ممکن است از نفوذ آلایندهها فضای بیرون ساختمان به داخل ساختمان، به عنوان مثال، گرد و غبار، خاک، محصولات حاصی احتراق سوخت، سیگار کشیدن و مصالح ساختمانی حاصل شود (۲۹). حسینی نژاد و همکاران بیان کردند که بالا بودن سرب در گرد و غبار شهری از منابعی نظیر بنزین سرب دار، روغن های مکمل و و ساییدگی لاستیک حاصل می شود (۳۵). با این وجود در گذشته یکی از منابع اصلی انتشار سرب در اتمسفر مصرف بنزین دارای سرب به عنوان سوخت غالب وسایل نقلیه بود اما در حال حاضر بنزین سربدار در کرج و دیگر کلاننهرهای کشور استفاده نمی شود. با این حال کاربرد ترکیبات حاوی سرب مانند روغن های روان کننده در موتور خودروها، فرسایش لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه های سربی چرخها که در هنگام بالانس چرخهای خودرو استفاده می گردند، را می توان از منابع اصلی آلودگی گرد و غبار خیابانی به سرب مطرح نمود. در همین ارتباط لازم به توضیح است که فرسایش وزنه های سربی بالانس چرخ های وسایل نقلیه موتوری به عنوان یکی از منابع مهم انتشار سرب در خیابان های قاره اروپا مطرح شده است و از سال ۲۰۰۵ میلادی مصرف آن برای وسایل نقلیه جدید ممنوع شده است (۳۶).

نتایج آزمون آنالیز واریانس یک طرفه برای مقایسه میزان سرب در ایستگاههای مختلف مورد مطالعه در شکل های ۲ و ۳ نشان داد که بین ایستگاه مختلف از لحاظ میزان سرب اختلاف معنادار وجود دارد. در شکل های ۴ و ۵، نقشه پراکنش مکانی میزان سرب در ایستگاههای مختلف در داخل و خارج ساختمان آورده شده است. نتایج نشان می دهد میزان سرب اندازه گیری شده در داخل و خارج ساختمان در ایستگاههای مختلف، در ایستگاههای نزدیک مناطق با بارترافیکی بالاتر میزان سرب بیشتری در ذرات گرد و غبار جمع آوری شده اندازه گیری شده است. می توان براساس نتایج از ایستگاه های مختلف بیان کرد میزان این فلز در مرکز شهر نسبت سایر نقاط شهر در داخل و خارج ساختمان می تواند به دو دلیل زمین زاد و انسان زاد (حمل و نقل، فعالیت های صنعتی، دود سیگار و ...) باشد همچنین در محدوده مرکزی شهر به دلیل وجود شرایط طبیعی و وجود درختها و ساختمان های بلندتر باعث به تله افتادن ذرات معلق آلوده به فلزات سنگین در برخورد با این موانع باشد (۲۵،۳۲). محمودی در بررسی گرد و غبار اتمسفری اصفهان، مهم ترین منابع تولید فلزات بخصوص سرب را آلودگی حاصل از وسایل نقلیه و مرتبط با ترافیک گزارش کرد (۳۳). جعفری (۳۴) در بررسی گرد و غبار اتمسفری کرمان بیان نمود که

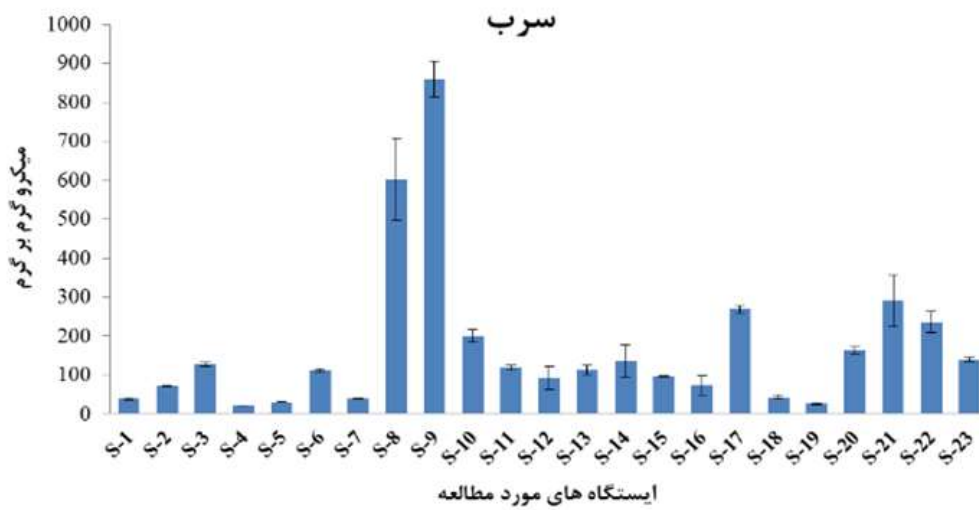
نتایج میزان سرب در گرد و غبار ریزشی در ایستگاههای مختلف در جدول ۳ نشان می دهد در تمام ایستگاههای مورد مطالعه در داخل و خارج ساختمان مقادیر قابل توجهی از این عنصر زنوبیوتیک اندازه گیری شده است که دلیل آن می تواند به تمایل این فلز سنگین و سمی به تجمع در ذرات ریزتر خاک (رس و سیلت) مربوط باشد. به این صورت که این عنصر به صورت هواپرد تغلیظ یافته و با حجم ترافیک ارتباط مستقیم دارد و ناشی از فرایند سوختن در موتور خودروهاست (۲۶). همچنین آلودگی هوا در محیط داخلی با فلزات سنگین ممکن است از بسیاری از منابع نشأت گرفته شود، یکی از مهمترین منابع فلزات سنگین انتشار از وسایل نقلیه است. منابع دیگر ممکن است از نفوذ آلایندهها فضای بیرون ساختمان به داخل ساختمان، به عنوان مثال، گرد و غبار، خاک، محصولات حاصی احتراق سوخت، سیگار کشیدن و مصالح ساختمانی حاصل شود (۲۹). حسینی نژاد و همکاران بیان کردند که بالا بودن سرب در گرد و غبار شهری از منابعی نظیر بنزین سرب دار، روغن های مکمل و و ساییدگی لاستیک حاصل می شود (۳۵). با این وجود در گذشته یکی از منابع اصلی انتشار سرب در اتمسفر مصرف بنزین دارای سرب به عنوان سوخت غالب وسایل نقلیه بود اما در حال حاضر بنزین سربدار در کرج و دیگر کلاننهرهای کشور استفاده نمی شود. با این حال کاربرد ترکیبات حاوی سرب مانند روغن های روان کننده در موتور خودروها، فرسایش لنت ترمزها و سرب ناشی از وزنه های سربی چرخها که در هنگام بالانس چرخهای خودرو استفاده می گردند، را می توان از منابع اصلی آلودگی گرد و غبار خیابانی به سرب مطرح نمود. در همین ارتباط لازم به توضیح است که فرسایش وزنه های سربی بالانس چرخ های وسایل نقلیه موتوری به عنوان یکی از منابع مهم انتشار سرب در خیابان های قاره اروپا مطرح شده است و از سال ۲۰۰۵ میلادی مصرف آن برای وسایل نقلیه جدید ممنوع شده است (۳۶). بعلاوه، براساس نتایج بدست آمده از آزمون تی مقایسه بین میزان سرب در داخل و خارج ساختمان در ایستگاههای مختلف، همانطور که بیان شد در بعضی از ایستگاهها میزان سرب داخل ساختمان و در بعضی از ایستگاهها در خارج

فلزات سرب، روی و مس عمدتاً از منابع صنعتی و ترافیکی مشتق شده اند.



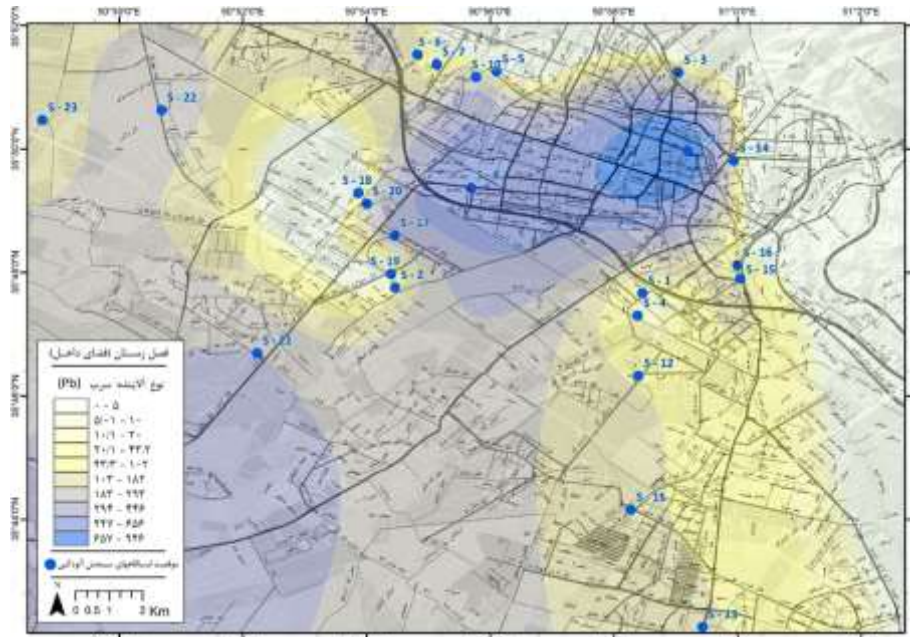
شکل ۲- مقایسه بین میزان سرب در ایستگاه های مختلف در داخل ساختمان

Figure 2. Comparison between lead levels at different stations of indoor the building



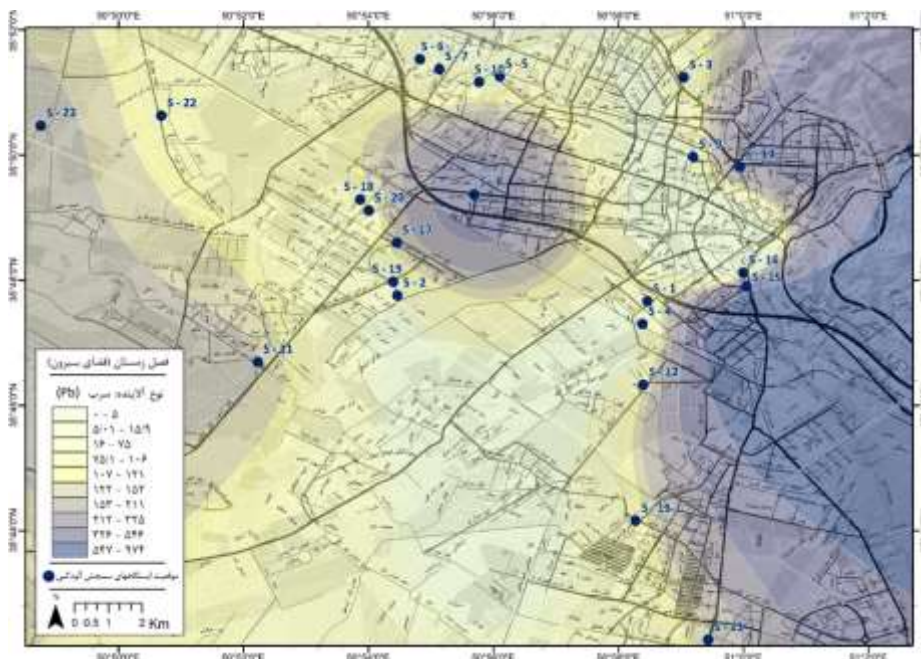
شکل ۳- مقایسه بین میزان سرب در ایستگاه های مختلف در خارج ساختمان

Figure 3. Comparison between lead levels at different stations of outdoor the building



شکل ۴- نقشه پراکنش مکانی مقایسه بین میزان سرب در ایستگاه های مختلف در داخل ساختمان

Figure 4. Spatial distribution map of comparison between lead levels at different stations of indoor the building



شکل ۴- نقشه پراکنش مکانی مقایسه بین میزان سرب در ایستگاه های مختلف در خارج ساختمان

Figure 4. Spatial distribution map of comparison between lead levels at different stations of outdoor the building

فاکتور غنی شدگی و فاکتور زمین انباشت برای عنصر سرب در تمام نمونه‌های جمع آوری شده محاسبه شد که مقادیر آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده در جدول ۴، مقادیر فاکتور غنی شدگی (EF) برای نمونه های داخل و خارج ساختمان نشان می دهد به ترتیب بین سرب بین ۲/۱۶ تا ۱۲۳/۸۸ و بین ۲/۶۵ تا ۵۹/۸۲ بدست آمد، که این نتایج نشان می دهد میزان فاکتور غنی شدگی در تمام ایستگاه‌ها بین متوسط تا به شدت زیاد اندازه گیری شد. نتایج شاخص زمین انباشت برای نمونه های داخل و خارج ساختمان نشان می دهد در داخل ساختمان بین غیرآلوده و آلودگی

فاکتور غنی شدگی و فاکتور زمین انباشت برای عنصر سرب در تمام نمونه‌های جمع آوری شده محاسبه شد که مقادیر آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده در جدول ۴، مقادیر فاکتور غنی شدگی (EF) برای نمونه های داخل و خارج ساختمان نشان می دهد به ترتیب بین سرب بین

بار ترافیکی بالا میزان این شاخص ها به سمت آلودگی شدید می رود. براساس شاخص غنی‌شدگی منشأ این عنصر در بیشتر ایستگاه‌ها دارای منشأ انسانی می باشد.

متوسط تا آلودگی بسیار شدید محاسبه شد و در خارج ساختمان بین غیرآلوده (ایستگاه ۴) و آلودگی شدید تا بسیار شدید به دست آمد. براساس نتایج این شاخص‌ها در مناطق با

جدول ۴- مقادیر فاکتور غنی‌شدگی (EF) و شاخص زمین‌انباشت (Igo) برای نمونه های داخل و خارج ساختمان

Table 4. Amounts of Enrichment factor and Geo-Accumulation Index of lead contamination of indoor/outdoor dust samples

فاکتور غنی‌شدگی (EF)		شاخص زمین‌انباشت (Igo)		ایستگاه
بیرون	داخل	بیرون	داخل	ایستگاه
11.23	6.33	1.91	0.86	S-1
4.34	11.85	0.53	1.77	S-2
6.36	12.77	1.18	2.61	S-3
2.65	2.16	-0.08	0.05	S-4
6.29	7.59	1.30	0.52	S-5
4.23	27.87	0.72	2.39	S-6
3.78	7.13	0.42	0.92	S-7
59.82	108.31	4.41	4.84	S-8
5.25	123.88	0.93	5.35	S-9
7.60	28.88	1.46	3.25	S-10
13.53	17.94	2.19	2.49	S-11
15.63	13.90	2.39	2.13	S-12
23.49	16.82	2.82	2.43	S-13
43.69	20.24	3.71	2.69	S-14
31.51	6.83	4.23	2.19	S-15
3.00	5.20	0.84	1.80	S-16
24.81	40.64	2.80	3.67	S-17
16.83	6.46	2.24	1.02	S-18
8.58	5.13	1.49	0.32	S-19
15.04	31.95	2.30	2.95	S-20
21.71	40.42	2.87	3.79	S-21
13.74	32.81	2.21	3.49	S-22
29.54	28.50	3.05	2.72	S-23

انباشت در مناطق با بار ترافیکی بالا میزان این شاخص‌ها به سمت آلودگی شدید می‌رود. براساس شاخص غنی‌شدگی منشأ این عنصر در بیشتر ایستگاه‌ها دارای منشأ انسانی می‌باشد. به علاوه نتایج نشان می‌دهد در مناطق با بار ترافیکی بالاتر میزان سرب در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده در داخل و خارج ساختمان بیشتر از سایر ایستگاه‌های اندازه‌گیری شد، که این امر می‌تواند در مدیریت حمل و نقل شهری به منظور

تجزیه و تحلیل شیمیایی نمونه‌های گرد و غبار داخل و خارج ساختمان در کلانشهر کرج در این مطالعه، پراکنش مکانی میزان فلز سنگین سرب در ایستگاه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان سرب در داخل و خارج ساختمان به ترتیب برابر با ۸۵۸/۷۳ و ۴۴۶/۲۸ میکروگرم بر گرم اندازه‌گیری شده است. همچنین براساس نتایج شاخص‌های غنی‌شدگی و زمین

- cognitive functions. *Neurotoxicology*. 2015;49:114–20.
8. Mazumdar I, Goswami K, Ali MS. Status of serum calcium, vitamin D and parathyroid hormone and hematological indices among lead exposed jewelry workers in Dhaka, Bangladesh. *Indian J Clin Biochem*. 2017;32(1):110–6.
 9. Gulson B, Taylor A. A simple lead dust fall method predicts children's blood lead level: New evidence from Australia. *Environ Res*. 2017;159:76–81.
 10. Aelion CM, Davis HT. Blood lead levels in children in urban and rural areas: Using multilevel modeling to investigate impacts of gender, race, poverty, and the environment. *Sci Total Environ*. 2019;694:133783.
 11. Von Lindern IH, Spalinger SM, Bero BN, Petrosyan V, Von Braun MC. The influence of soil remediation on lead in house dust. *Sci Total Environ*. 2003; 303 (1–2):59–78.
 12. Marcus AH, Elias RW. Estimating the contribution of lead-based paint to soil lead, dust lead, and childhood blood lead. In: *Lead in Paint, Soil and Dust: Health Risks, Exposure Studies, Control Measures, Measurement Methods, and Quality Assurance*. ASTM International; 1995.
 13. Cheng Z, Chen L-J, Li H-H, Lin J-Q, Yang Z-B, Yang Y-X, et al. Characteristics and health risk assessment of heavy metals exposure via household dust from urban area in Chengdu, China. *Sci Total Environ*. 2018; 619:621–9.
 14. Muhamad-Darus F, Nasir RA, Sumari SM, Ismail ZS, Omar NA. Nursery schools: characterization of heavy metal content in indoor dust. *Asian J*
- برنامه ریزی جهت کاهش ترافیک و در نتیجه کاهش میان سرب و دیگر آلاینده های موثر باشد.
- ### References
1. Chen J, Wang B, Huang S, Song M. The influence of increased population density in China on air pollution. *Sci Total Environ*. 2020;139456.
 2. Zhang Q, Jiang X, Tong D, Davis SJ, Zhao H, Geng G, et al. Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade. *Nature*. 2017;543(7647):705–9.
 3. Lanzerstorfer C, Logiewa A. The upper size limit of the dust samples in road dust heavy metal studies: Benefits of a combined sieving and air classification sample preparation procedure. *Environ Pollut*. 2019; 245: 1079–85.
 4. Jin Y, O'Connor D, Ok YS, Tsang DCW, Liu A, Hou D. Assessment of sources of heavy metals in soil and dust at children's playgrounds in Beijing using GIS and multivariate statistical analysis. *Environ Int*. 2019;124:320–8.
 5. Barbier O, Jacquillet G, Tauc M, Cougnon M, Poujeol P. Effect of heavy metals on, and handling by, the kidney. *Nephron Physiol*. 2005; 99(4): p 105–10.
 6. Menezes-Filho JA, de Souza KOF, Rodrigues JLG, dos Santos NR, de Jesus Bandeira M, Koin NL, et al. Manganese and lead in dust fall accumulation in elementary schools near a ferromanganese alloy plant. *Environ Res*. 2016;148:322–9.
 7. Skerfving S, Löfmark L, Lundh T, Mikoczy Z, Strömberg U. Late effects of low blood lead concentrations in children on school performance and

- Stud. 2018 Nov;44(3):393–410.
23. Kazemi A, Bakhtiari AR, Kheirabadi N, Barani H, Haidari B. Distribution patterns of metals contamination in sediments based on type regional development on the intertidal coastal zones of the Persian Gulf, Iran. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2012; 88(1):100–3.
 24. Wan D, Han Z, Yang J, Yang G, Liu X. Heavy metal pollution in settled dust associated with different urban functional areas in a heavily air-polluted city in North China. *Int J Environ Res Public Health.* 2016; 13(11):1119.
 25. Abbas F, Soroush M, Alireza S, Amirali T shabani. Assessment of heavy metal pollution in urban soil in Karaj (Iran). *Geosci J.* 2020;29(114):231–40.
 26. Ajmone-Marsan F, Biasioli M, Kralj T, Grčman H, Davidson CM, Hursthouse AS, et al. Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environ Pollut.* 2008;152(1):73–81.
 27. Neisi A, Goudarzi G, Akbar Babaei A, Vosoughi M, Hashemzadeh H, Naimabadi A, et al. Study of heavy metal levels in indoor dust and their health risk assessment in children of Ahvaz city, Iran. *Toxin Rev.* 2016; 35 (1–2):16–23.
 28. Darus FM, Nasir RA, Sumari SM, Ismail ZS, Omar NA. Heavy metals composition of indoor dust in nursery schools building. *Procedia-Social Behav Sci.* 2012;38:169–75.
 29. Rashed MN. Total and extractable heavy metals in indoor, outdoor and street dust from Aswan City, Egypt. *CLEAN–Soil, Air, Water.* 2008;36(10–11): 850–7.
 - Environ Stud. 2017;2(5):63–70.
 15. Tong STY, Lam KC. Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong. *Sci Total Environ.* 2000;256(2–3):115–23.
 16. Calabrese EJ, Stanek EJ. What proportion of household dust is derived from outdoor soil? *Soil Sediment Contam.* 1992;1(3):253–63.
 17. Wei X, Gao B, Wang P, Zhou H, Lu J. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2015;112:186–92.
 18. Abbas F, Soroush M, Alireza S, Amirali T shabani. Assessment of heavy metal pollution in urban soil in Karaj (Iran). *Geosci J.* 2020; 29 (114): 231–40.
 19. Mirsanjari MM, Zarandian A, Mohammadyari F, Visockiene JS. Investigation of the impacts of urban vegetation loss on the ecosystem service of air pollution mitigation in Karaj metropolis, Iran. *Environ Monit Assess.* 2020;192(8):1–23.
 20. Shirazi MR. Growth of polynucleated metropolis and fragmentation of territorial management in the Tehran–Karaj urban region. *Int J Urban Sustain Dev.* 2014;6(1):107–22.
 21. Moeinaddini M, Ali-Taleshi MS. A GIS Based Emission Inventory of Air Pollutants from Mobile Sources in Morning Rush Hours; Case Study: Karaj. *J Environ Heal Engineering.* 2019;6(4):430–42.
 22. Ghanavati N, Nazarpour A. Environmental investigation of heavy metals concentration in Ahvaz city street dust, by using Geographical Information Systems (GIS). *J Environ*

34. Fariba J. Sedimentation rate and the most important physical, chemical and mineral properties of swimming atomic dust in Kerman. thesis master degree Technol Univ Isfahan. 2013;
35. Mazloomi, S., Esmaeili-Sari, A., Bahramifar, N., and Moeinaddini, M. 2017. Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 10 (2): 281-292. (In Persian)
36. Jaafarzadeh, N. Urban street dust in the Middle East oldest oil refinery zone: oxidative potential, source apportionment and health risk assessment of potentially toxic elements. *Chemosphere*, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128825>.
30. Manno E, Varrica D, Dongarra G. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmos Environ*. 2006;40(30):5929–41.
31. Pekey B, Bozkurt ZB, Pekey H, Doğan G, Zararsız A, Efe N, et al. Indoor/outdoor concentrations and elemental composition of PM10/PM2.5 in urban/industrial areas of Kocaeli City, Turkey. *Indoor Air*. 2010;20(2):112–25.
32. Wong CSC, Li X, Thornton I. Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environ Pollut*. 2006;142(1):1–16.
33. Zohrh M. Investigation of geochemical and mineralogical properties of atmospheric dust in Isfahan. thesis master degree Technol Univ Isfahan. 2011.