ORIGINAL ARTICLE

Estimation of Spatial Distribution of PM10, Lead, and Radon Concentrations in Sepahanshahr, Iran Using Geographic Information System (GIS)

Hossin Farrokhzadeh[1],
Negar Jafari[2],
Mojtaba Sadeghi[3],
Maryam Talesh Alipour[4],
Mohammad Mehdi Amin[5],
Ali Abdolahnejad[6]

[1] MSc in Environmental Health Engineering, Environmental Research Center, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
[2] PhD Student in Environmental Health Engineering, Environmental Research Center, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan. Iran
[3] MSc in Physics, Laboratory Atomic Energy Organization, Isfahan, Iran
[4] BSc Student in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
[5] Professor, Department of Environmental Health Engineering, Environmental Research Center, Faculty of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan Iran
[6] PhD Student in Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

(Received April 10, 2017 ; Accepted October 24, 2017)

Abstract

Background and purpose: Air pollution is one of the most important environmental issues and its impact on human health has been proven in the 20th century. Many air pollutants such as CO, NO_2, SO_2, O_3, particulate matter (PM10), heavy metals, radon, etc. could have negative health effects. The aim of this study was to determine the concentration of PM10, lead, and radon in the air of Spahanshahr, Isfahan, Iran.

Materials and methods: This study was conducted in the summer of 2015. Sampling was performed using fiberglass filters by High volume sampler. Analysis of PM_{10}, lead, and radon was carried out by weight discrepancy, ICP device, and CR- 39 detector, respectively. Geographic information system v10 and Inverse Distance Weighted (IDW) were used for interpolation and the spatial distribution of mean concentrations of pollutants in the stations. Data analysis was done in SPSS V16.

Results: The mean concentrations of PM_{10}, lead, and radon were 57.07±33.07 μg/m^3, 0.41±0.23 μg/m^3, and 466.78±86.92 (Bq/m^3), respectively. The concentration of PM_{10}, lead, and radon in most sampling stations were higher than the WHO and EPA recommendations. The highest concentration of PM_{10}, lead, and radon was observed in the Southeast, West, and West of the study area.

Conclusion: This investigation showed that the high concentration of particulate matter in the Southeast of study area was mainly due to the vicinity of the confluence of two main highways in Isfahan and construction activities of the commercial center. But high concentrations of lead and radon in West Region and in stations near the lead mine could be due to the mining activities and the direction of the prevailing winds in summer (West-East).

Keywords: concentration, PM_{10}, lead, radon, Bama Mine, GIS

J Mazandaran Univ Med Sci 2018; 28(159): 84-96 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و هشتم شماره ۱۵۹ فروردین سال ۱۳۹۷ (۹۶-۸۴)

تخمین توزیع مکانی غلظت PM_{10}، سرب و رادون در سپاهان شهر اصفهان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

حسین فرخ زاده[۱]
نگار جعفری[۲]
مجتبی صادقی[۳]
مریم تالش علیپور[۴]
محمدمهدی امین[۵]
علی عبداله نژاد[۶]

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی هوا یکی از موضوعات مهم زیست محیطی است که اثرات آن بر سلامت انسان‌ها در قرن بیستم به اثبات رسیده است. بسیاری از آلاینده‌های هوا مانند CO، NO_2، SO_2، O_3، ذرات معلق، فلزات سنگین، رادون و غیره می‌تواند اثر نامطلوبی بر سلامتی انسان‌ها داشته باشد. لذا این مطالعه با هدف پایش غلظت PM_{10} ، سرب و رادون در هوای اطراف سپاهان شهر اصفهان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در سه ماهه تابستان ۱۳۹۴ انجام گرفت. نمونه برداری با استفاده از فیلترهای فایبرگلاس توسط دستگاه نمونه‌بردار High volume و آنالیز PM_{10}، سرب و رادون به ترتیب از طریق اختلاف وزن، دستگاه ICP و آشکارساز CR- 39 صورت گرفت. برای درون یابی و توزیع مکانی غلظت برای مقایسه میانگین غلظت آلاینده‌ها در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه آلاینده‌ها از روش IDW سیستم اطلاعات جغرافیای GIS نسخه ۱۰ استفاده گردید. جهت آنالیز داده ها نیز از SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت PM_{10}، سرب و رادون به ترتیب ($\mu g/m^3$) ۳۳/۰۷ ±۵۷/۰۷، ($\mu g/m^3$) ۰/۲۳ ±۰/۴۱ و (Bq/m^3) ۸۶/۹۲ ±۴۶۶/۷۸ بود، به طوری که غلظت PM_{10}، سرب و رادون در اکثر ایستگاه‌های نمونه برداری بالاتر از استاندارد WHO و EPA بود. غلظت PM_{10} در جنوب شرقی، سرب و رادون نیز در غرب منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین مقدار را داشتند.

استنتاج: نتایج این مطالعه نشان داد بالا بودن غلظت ذرات معلق در جنوب شرقی منطقه بیش‌تر به دلیل مجاورت در محل تلاقی دو اتوبان اصلی و خروجی شهر اصفهان و ساخت و ساز در مرکز تجاری سیتی سنتر بوده ولی بالا بودن غلظت سرب و گاز رادون در غرب منطقه و در ایستگاه‌های نزدیک به معدن سرب می‌تواند به دلیل فعالیت‌های معدنی و جهت باد غالب اصفهان در تابستان (غربی- شرقی) باشد.

واژه های کلیدی: غلظت، PM_{10}، سرب، رادون، معدن سرب باما، GIS

مقدمه

آلودگی هوا همگام با پیشرفت صنایع در کشورهای در حال توسعه یکی از موضوعات مهم زیست محیطی است که اثرات آن بر سلامت انسان‌ها در قرن بیستم به اثبات رسیده است و جزء ده عامل مهم افزایش مرگ و میر

مولف مسئول: علی عبداله نژاد- یزد: داشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، دانشکده بهداشت E-mail: a_abdolahnejad@ssu.ac.ir
۱. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳. کارشناس ارشد فیزیک، آزمایشگاه فیزیک سازمان انرژی اتمی، اصفهان، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۵. استاد، مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۶. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۶/۱/۲۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۶/۵/۲ تاریخ تصویب : ۱۳۹۶/۸/۲

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

در جهان شناخته شده است(۳-۱). به‌طوری که طبق آمار سازمان بهداشت جهانی، در سرتاسر جهان سالیانه ۸۰۰۰۰۰ نفر بر اثر بیماری‌های قلبی، تنفسی و سرطان ریه مرتبط با آلودگی هوا می‌میرند که تعداد نزدیک به ۱۵۰۰۰۰ مورد از آن‌ها در جنوب آسیا اتفاق می‌افتد(۴). بسیاری از آلاینده‌های هوا مانند CO، NO_2، SO_2، O_3، ذرات معلق و غیره در هوا وجود دارند که می‌توانند سلامتی انسان‌ها را تهدید کرده و باعث مشکلات تنفسی، سردرد، سرگیجه و حملات قلبی شوند(۶،۵). در میان این آلاینده‌ها، ذرات معلق (PM) اهمیت ویژه‌ای دارند. که می‌توانند هم منشا طبیعی و هم منشا مصنوعی داشته باشند(۷). گزارشات WHO نشان می‌دهد ذرات کم‌تر از ۱۰ میکرون می تواند عامل بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی مانند آسم، برونشیت، حمله‌های قلبی، کاهش عملکرد ریه و مرگ و میر باشد، به‌طوری‌که در برخی شهرهای اروپا به ازای افزایش هر ۱۰ میکروگرم در متر مکعب غلظت ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرون، میزان مرگ و میر ۶ درصد افزایش می‌یابد(۱۰-۸). چون این آلاینده‌ها سطح ویژه بسیار بالایی داشته و می توانند مواد آلی گوناگونی مانند هیدروکربن‌های آروماتیک (PAHs)، نیتروهیدروکربن‌های آروماتیک (nitro-PAHs)، فلزات سنگین، آزبست، پاتوژن‌ها و موادرادیواکتیو را به خود جذب و به عمق ریه نفوذ کرده و وارد جریان خون شده و باعث اثرات نامطلوب از جمله جهش ژنتیکی شوند(۱۴-۱۱). فلزات سنگین کاربردهای متعدد صنعتی، خانگی، کشاورزی، پزشکی و تکنولوژی دارند که این موضوع منجر به توزیع گسترده آن ها در محیط زیست و افزایش نگرانی در مورد اثرات بالقوه آن‌ها در محیط زیست و سلامت انسان‌ها می‌گردد. بعضی از فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم، جیوه و سرب به دلیل سمیت دارای اهمیت بهداشت عمومی بیش‌تری هستند(۱۵). فلزات سنگین موجود در گرد و غبار شهری ممکن است از منابع ثابت و متحرک در مناطق شهری شامل معادن، صنایع، ترافیک، بازسازی ساختمان‌ها و جاده‌سازی، فعالیت‌های شهری، رسوبات اتمسفری و فرآیندهای ژئوشیمیایی طبیعی نشات بگیرند(۱۶). یکی از عوامل افزایش غلظت فلزات سنگین در هوا می‌تواند فعالیت‌های معدن کاری باشد که مهم‌ترین انتشارات این فعالیت ها شامل PM، NO_2، SO_2 و فلزات سنگین هستند. این آلاینده‌ها، کیفیت هوا را کاهش داده و بر سلامت انسان‌ها اثر می‌گذارند(۱۷). انسان از طرق مختلف در معرض فلزات سنگین می‌باشد، یکی از مهم‌ترین راه‌های ورود فلزات سنگین به بدن انسان، گرد و غباری است که حاوی ترکیبات فلزی با منشاء انسانی و طبیعی می‌باشد(۱۸).

سرب در گروه 2B ترکیبات سرطان‌زای موسسه بین المللی تحقیقات سرطان طبقه‌بندی شده است و آثار سمی آن بستگی به ویژگی‌های متابولیکی افراد و رژیم غذایی دارد. این آثار را در بدن، در چهار موضع دستگاه گوارش، دستگاه عصبی مرکزی، اعصاب محیطی و سیستم خون ساز دیده می‌شود(۱۹).

رادون گازی بی‌بو و بیرنگ است که به واسطه فروپاشی اورانیوم موجود در زمین ایجاد می‌شود. گاز رادون با انتشار پرتو آلفا در هوا می‌تواند باعث ایجاد سرطان ریه شود(۲۰). طبق گزارش کمیته علمی اثر پرتوهای اتمی سازمان ملل در سال ۲۰۰۰ میلادی، مقدار متوسط پرتوگیری (دوز مؤثر) سالیانه انسان از تمام منابع پرتوزای طبیعی، حدود ۲/۴ میلی‌سیورت در سال برآورد شده است، که حدود ۵۲ درصد آن ناشی از استنشاق گاز رادون است(۲۱). استنشاق این گاز با طولانی‌تر شدن مدت تنفس، صدمات جدی به ریه وارد نموده و باعث ایجاد بیماری‌های آمفیزم و فیبروزیس و در نهایت بروز سرطان ریه می‌شود(۲۲). رادون بعد از سیگار به عنوان دومین عامل سرطان ریه در کل دنیا شناخته شده است(۲۳).

در مطالعه Massey و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در هند، بررسی غلظت فلز سرب در $PM_{2.5}$ نشان داد که وجود این فلز سرطان زا می تواند منجر به خطرات

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

بهداشتی جدی شود و لذا پایش اثرات سمی و کنترل آن لازم است(۲۴).

در مطالعه دیگری Zheng و همکاران در سال ۲۰۱۶ غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم را در $PM_{2.5}$ بررسی کرده و نتیجه گرفتند که مقادیر این فلزات بالاتر از استاندارد بوده است(۲۵).

در مطالعه García-Ordiales در سال ۲۰۱۶ و بررسی رسوبات موجود در مسیر یک معدن نشان داد که فعالیت‌های معدن کاری سبب افزایش آلودگی به فلزات سنگین از جمله سرب می‌شود(۲۶).

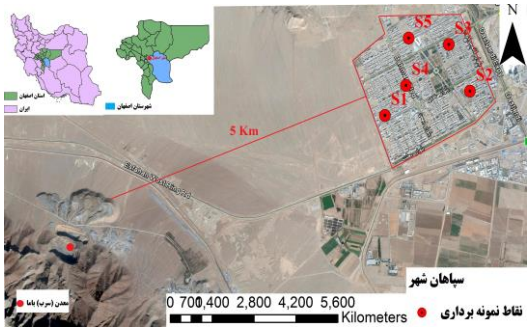
در مطالعه Chen و همکارانش در سال ۲۰۱۵ در چین آلودگی ذرات $PM_{2.5}$ با فلز سنگین سرب مورد بررسی قرار گرفت که نشان داد میزان سرب موجود در حد استانداردهای کیفیت هوای بیرونی چین بود(۲۷).

در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۵ غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب، تیتانیوم، وانادیوم روی ذرات PM_{10} بر روی نمونه‌های هوای محیطی بررسی شد و مشخص شد که شرایط هواشناسی در غلظت PM_{10} و فلزات سنگین اثرات زیادی دارد. به‌طوری‌که در سرعت‌های زیاد باد و بارندگی، غلظت‌های کم PM_{10} مشاهده می‌شود، در حالی که در سرعت‌های کم باد و شرایط پایدار اتمسفری، غلظت‌های بالای PM_{10} (البته کم‌تر از استاندارد ۱/۵ $\mu g/m^3$) دیده می‌شود(۲۸).

در مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۵ در نزدیکی صنعت ذوب آهن و استیل، ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ از نظر میزان فلزات سنگین بررسی شدند و غلظت‌های بالای منگنز، نیکل، آرسنیک، کادمیوم و سرب نشان داد که فعالیت‌های صنعتی منشا این فلزات می‌باشد(۲۹).

در سال ۲۰۱۴ مطالعه‌ای در جنوب لبنان جهت بررسی سطح رادون در محیط بیرون و درون منازل انجام گرفت که غلظت رادون در محیط بیرون بیش‌تر از محیط داخل گزارش گردید(۳۰).

سپاهان شهر اصفهان با مساحتی بیش از ۴۰۰ هکتار یکی از شهرک‌های پرجمعیت شهر اصفهان است که در جنوب شهر اصفهان و در کنار اتوبان شهید دستجردی قرار گرفته است. سپاهان شهر از سمت شمال با کوه صفه و از سمت غرب در فاصله ۵ کیلومتری معدن سرب و روی باما قرار دارد (تصویر شماره ۱). هدف این مطالعه با توجه به فعالیت استخراج سرب و روی در معدن باما و جهت باد غالب و احتمال پراکندگی ذرات معلق و فلز سرب، تعیین غلظت ذرات معلق (PM_{10})، سرب و رادون در سپاهان شهر بود.



تصویر شماره ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری ومنطقه مورد مطالعه

مواد و روش ها

محدوده زمانی و نوع مطالعه

این مطالعه از نوع توصیفی- مقطعی بوده که در این مطالعه تعداد ۵ ایستگاه نمونه‌برداری که عمدتاً با توجه به امنیت دستگاه نمونه بردار و با توجه به جهت باد غالب از غرب به شرق، مدارس سطح سپاهان شهر برای نمونه‌برداری PM_{10}، سرب و رادون انتخاب شدند. ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب به فاصله ۵/۴، ۶/۸، ۶/۵، ۵/۸ و ۶/۲ کیلومتری از معدن قرار دارند. با توجه به رهنمود سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و امکانات در دسترس و محدویت نمونه‌برداری، جمعاً تعداد ۲۵ نمونه در سه ماهه تابستان ۱۳۹۴ به فاصله ۲۵ روز یکبار از ۵ ایستگاه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

نمونه برداری وآنالیز نمونه ها

در این مطالعه برای نمونه‌برداری غلظت PM_{10} از پمپ نمونه بردار محیطی High volume مدل (PQ200 ساخت کشور آمریکا) با دبی ۱۶/۷ لیتر در دقیقه به مدت ۲۴ ساعت در ارتفاع ۱۰ متر بالاتر از سطح زمین استفاده شد. فیلترهای فایبرگلاس ۴۷ میلی‌متری مورد استفاده برای نمونه برداری قبل از نمونه‌برداری به مدت ۲۴ ساعت در فور با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد و سپس در دیسیکاتور قرار گرفت. پس از سرد شدن وزن اولیه فیلتر ثبت شده و برای نمونه‌برداری در داخل پمپ High volume قرار گرفت. فیلترها بعد از گذشت ۲۴ ساعت از نمونه برداری مجدداً در داخل فور با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس وزن آن اندازه‌گیری شده و از اختلاف وزن اولیه و ثانویه فیلترها، غلظت PM_{10} برحسب $\mu g/m^3$ محاسبه گردید(۳۲،۳۱). جهت تعیین غلظت سرب با روش هضم اسیدی، نصف فیلتر به قطعات ریز خرد و در داخل بشر تفلونی ریخته شد و سپس ۳ میلی‌لیتر اسید نیتریک، ۱ میلی‌لیتر اسید پرکلرات و ۰/۱ میلی لیتر اسید هیدرو فلوئوریک به آن اضافه و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل فور قرار گرفت. پس از سرد شدن، محلول بر روی هیتر در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد خشک و ۱میلی‌لیتر اسید کلریدریک به آن اضافه و سپس به وسیله آب مقطر دو بار تقطیر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس محلول از فیلترهای واتمن عبور داده شد و در داخل ظروف پلاستیکی تا زمان قرائت فلز سرب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری گردید(۳۴،۳۳). به منظور کالیبراسیون دستگاه با استفاده از محلول استاندارد ICP، از محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب، غلظت‌های بین ۰/۱ تا ۵۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر ساخته شد و سپس غلظت سرب در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ICP –OES مدل Varian ساخت کشور امریکا تعیین مقدار شد. غلظت رادون با استفاده از دتکتورهای رد پای هسته ی حالت جامد از نوع SSNTDs آشکار ساز CR-۳۹ در سازمان انرژی اتمی اصفهان سنجیده شد. برای تهیه نمودارها از برنامه Excel و از نسخه ۱۶ نرم‌افزار آماری SPSS برای نرمال بودن داده‌ها آزمون کولموگروف اسمیرنوف و برای مقایسه میانگین غلظت آلاینده‌ها با رهنمود سازمان بهداشت جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست از آزمون t تک نمونه‌ای (one sample t-test) و برای مقایسه میانگین غلظت آلاینده‌ها در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه از آزمون آماری غیرپارامتریک کروسکالوالیس (kruskal-wallis test) استفاده شد. از آزمون آماری همبستگی اسپیرمن برای تعیین همبستگی بین آلاینده‌ها مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف استفاده گردید و برای درون یابی و توزیع مکانی غلظت برای مقایسه میانگین غلظت آلاینده‌ها در بین ایستگاه های مورد مطالعه آلاینده ها از روش IDW سیستم اطلاعات جغرافیای GIS نسخه ۱۰ استفاده گردید.

یافته ها

جدول شماره ۱ حداقل، حداکثر و میانگین غلظت PM_{10} را در ایستگاه های نمونه برداری نشان می دهد که با توجه به این جدول، بیش‌ترین غلظت PM_{10} به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های شماره ۲ و ۵ و کم‌ترین مقدار مربوط به ایستگاه شماره ۴ بوده است. جدول شماره ۲ حداقل، حداکثر و میانگین غلظت سرب را در ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد. با توجه به آن، بیش‌ترین غلظت سرب به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۴ و کم‌ترین غلظت مربوط به ایستگاه ۲ بود. جدول شماره ۳ نیز حداقل، حداکثر و میانگین غلظت گاز رادون را در ایستگاه های نمونه برداری نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت گاز رادون به ترتیب در ایستگاه‌های ۱ و ۲ ثبت شده است.

جدول شماره ۴ میانگین پارامترهای هواشناسی (دما، رطوبت، فشار و سرعت باد) را در ایستگاه‌های نمونه برداری نشان می‌دهد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

جدول شماره ۱: حداقل، حداکثر و میانگین غلظت PM_{10} ($\mu g/m^3$) در ایستگاه های نمونه برداری

شماره ایستگاه نمونه برداری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شماره ۱	۲۹/۴۶	۶۴/۵۵	۴۹/۴۱	۱۴/۱۶
شماره ۲	۳۴/۷۲	۲۸۹/۳۵	۱۲۵	۸۷/۲۷
شماره ۳	۱۷/۵۶	۴۱/۲	۲۹/۶۵	۸/۱۴
شماره ۴	۱۱/۷۵	۴۰/۷۴	۲۳/۳۳	۱۰/۹۸
شماره ۵	۲۳/۴۱	۷۶/۵۱	۵۷/۹۸	۱۸/۳۸
میانگین کل	۲۳/۳۸	۱۰۲/۴۷	۵۷/۰۷	۲۷/۷۸

جدول شماره ۲: حداقل، حداکثر و میانگین غلظت سرب ($\mu g/m^3$) در ایستگاه های نمونه برداری

شماره ایستگاه نمونه برداری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شماره ۱	۰/۳۵	۰/۸۹	۰/۶۸	۰/۱۸
شماره ۲	۰/۰۴۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۱۲
شماره ۳	۰/۳۵	۰/۷	۰/۵۹	۰/۱۲
شماره ۴	۰/۲	۰/۸	۰/۶۱	۰/۲۱
شماره ۵	۰/۱۳	۰/۲	۰/۱۶	۰/۰۲۵
میانگین کل	۰/۲۱	۰/۵۳	۰/۴۱	۰/۱۱

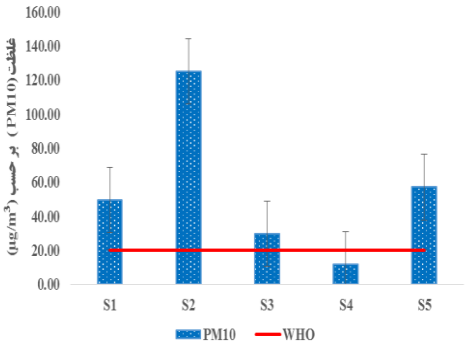
جدول شماره ۳: حداقل، حداکثر و میانگین غلظت گاز رادون (Bq/m^3) در ایستگاه های نمونه برداری

شماره ایستگاه نمونه برداری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شماره ۱	۳۳۱/۲۳	۹۳۸/۲۶	۵۴۵/۸۹	۲۱۳/۸۲
شماره ۲	۱۴۳/۱۳	۴۴۸/۵۳	۲۷۸/۹	۹۷/۵۷
شماره ۳	۳۹۴/۶۵	۵۷۴/۶۸	۴۵۱/۹	۷۲/۶
شماره ۴	۱۳۶/۶۹	۹۲۵/۴۳	۵۳۸/۴۳	۱۳۲/۶۵
شماره ۵	۹۲/۵۳	۹۲۹/۷۸	۵۱۸/۸	۲۶۸/۴۳
میانگین کل	۲۱۹/۶۴	۷۶۳/۳۳	۴۶۶/۷۸	۱۵۷/۰۱

جدول شماره ۴: میانگین پارامترهای هواشناسی (دما، رطوبت، فشار و سرعت باد) در ایستگاه های نمونه برداری

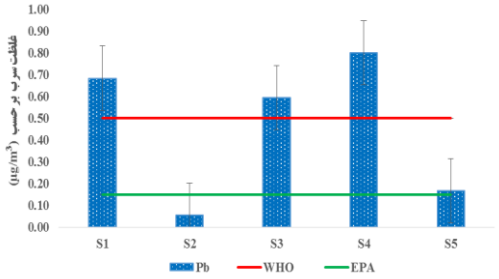
ایستگاه نمونه برداری	دما (C°)	رطوبت (%)	فشار (mmHg)	سرعت باد (m/h)
شماره ۱	۳۰/۲	۱۲/۶	۶۲۹	۲/۵
شماره ۲	۳۰/۱	۱۲/۴	۶۳۱	۲/۴
شماره ۳	۲۹/۲	۱۲/۸	۶۳۰	۲/۶
شماره ۴	۲۷/۷	۱۳/۶	۶۳۱	۲/۹
شماره ۵	۲۸/۹	۱۳/۷۵	۶۳۲	۲/۵
میانگین کل	۲۹/۲	۱۳/۰۳	۶۳۰/۶	۲/۵۸

نمودار شماره ۱ مقایسه بین غلظت PM_{10} با رهنمود WHO در ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد که با توجه به شکل مورد نظر، میانگین غلظت PM_{10} در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری بالاتر از رهنمود WHO بود، اما نتایج آماری آزمون t تک نمونه‌ای نشان داد که فقط در بین ایستگاه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ از نظر غلظت PM10 با استاندارد WHO اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p < ۰/۰۵$).



نمودار شماره ۱: مقایسه غلظت PM_{10} با رهنمودWHO در ایستگاه‌های نمونه برداری

نمودار شماره ۲ مقایسه غلظت سرب با رهنمود WHO و استاندارد EPA در ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد که با توجه به تصویر فوق، میانگین غلظت سرب در اکثر ایستگاه‌ها نمونه‌برداری بالاتر از رهنمود WHO و EPA بوده است.

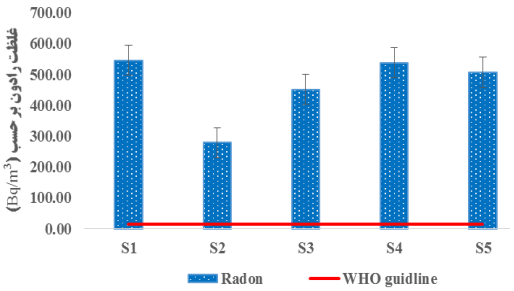


نمودار شماره ۲: مقایسه میانگین غلظت سرب با رهنمود WHO و استاندارد EPA در ایستگاه های نمونه برداری

نتایج آماری آزمون t تک نمونه‌ای نشان داد که بین غلظت سرب با استاندارد WHO به جز ایستگاه شماره ۱ در سایر ایستگاه‌های اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($p>۰/۰۵$)، اما مقایسه بین غلظت سرب با استاندارد EPA نشان داد به جز ایستگاه شماره ۵ در سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌دار است ($p <۰/۰۵$).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

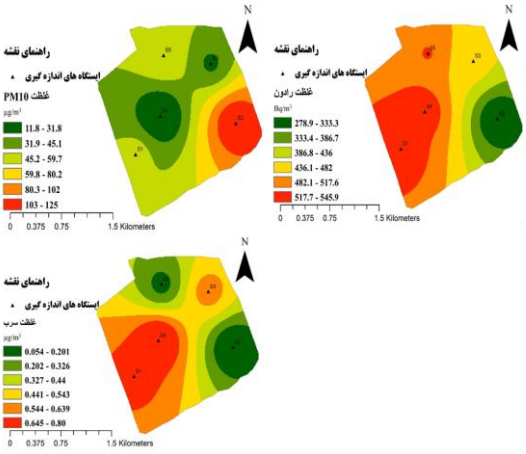
نمودار شماره ۳ مقایسه غلظت رادون با رهنمود WHO را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که با توجه به رهنمود WHO که غلظت رادون در محیط‌های بیرون اماکن بین ۵ تا ۱۵ بکرل در متر مکعب تعیین شده است، غلظت‌های فوق بسیار بالاتر از رهنمود این سازمان است.



نمودار شماره ۳: میانگین غلظت گاز رادون با در ایستگاه های نمونه برداری

مقایسه غلظت گاز رادون با استاندارد WHO در محیط بیرونی در بین ایستگاه‌های مختلف با استفاده از آزمون آماری t تک نمونه‌ای نشان داد که در همه ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p <$ ۰/۰۵). هم‌چنین نتایج آزمون کروسکالوالیس نشان داد در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر میانگین غلظت سرب و PM_{10} اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد، اما از نظر میانگین غلظت گاز رادون بین ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

تصویر شماره ۲، پهنه‌بندی غلظت PM_{10}، سرب و رادون با نرم افزار GIS را نشان می‌دهد که با توجه شکل مورد نظر، الگوی پراکندگی غلظت سرب و رادون در ایستگاه انتهایی و نزدیک به معدن سرب باما در منطقه مورد مطالعه شباهت زیادی به هم داشت، به‌طوری‌که ایستگاه‌های ۱ و ۴ در هر دو آلاینده بیش‌ترین غلظت را نشان داد. آزمون آماری همبستگی اسپیرمن بین آلاینده‌های مورد مطالعه نشان داد که بین سرب و رادون با ($p <$ ۰/۰۵) و ضریب همبستگی ۰/۴۱۴ ارتباط معنی‌دار وجود دارد. هم‌چنین بین سرب و PM_{10} با ($p <$ ۰/۰۱) و ضریب همبستگی ۰/۵۱۳- ارتباط معنی‌داری وجود داشت که نشان می‌دهد در ایستگاه‌هایی که غلظت PM_{10} بالاست، سرب از غلظت کم‌تری برخوردار است. همبستگی اسپیرمن هم‌چنین نشان داد که بین سایر پارامترها ارتباط معنی‌داری وجود نداشت.



تصویر شماره ۲: پهنه بندی میانگین غلظت PM_{10}، سرب و گاز رادون در ایستگاه های نمونه برداری

بحث

همان‌گونه که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است، بیش‌ترین غلظت PM_{10} در ایستگاه ۲ ثبت گردید. هم‌چنین پهنه‌بندی غلظت PM_{10} نیز در تصویر شماره ۲ بیانگر آن است غلظت این آلاینده در جنوب شرقی این منطقه بالا بوده که دلیل آن را علاوه بر ساخت و ساز در مرکز تجاری سیتی سنتر به قرارگیری این ایستگاه در محل تلاقی اتوبان‌های شهید دستجردی و ذوب آهن دانست. اتوبان شهید دستجردی از اصلی‌ترین مسیرهای ورودی و خروجی شهر اصفهان به سمت شیراز، شهرستان‌ها و شهرهای اطراف بوده و هم چنین به دلیل قرار گیری مرکز تجاری سیتی سنتر، ایستگاه راه آهن اصفهان و ترمینال صفه در این مسیر، بالا بودن غلظت این آلاینده در این محدوده دور از انتظار نیست. میانگین غلظت PM_{10} با توجه به نمودار شماره ۱ در تمامی ایستگاه های اندازه‌گیری به جز ایستگاه شماره ۴ بالاتر از رهنمود

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

WHO ($\mu g/m^3$ ۴۰) می‌باشد. به طوری که غلظت این آلاینده در ایستگاه ۲ با مقدار ۱۲۵ میکروگرم بر مترمکعب، ۳/۱۲ برابر استاندارد WHO بوده است. در مطالعه‌ای، غلظت PM_{10} و $PM_{2.5}$ در روستاهای واقع در مناطق نیمه خشک آگرای هند مورد مطالعه قرار گرفت که نشان داد غلظت این آلاینده‌ها در این مناطق بسیار بالاتر از استاندارد WHO است(۲۴). هم چنین نتایج مطالعه سبحان اردکانی و همکاران نشان داد که غلظت ذرات معلق در اطراف کارخانه سیمان بسیار بالاتر از استاندارد های ملی و بین المللی بود(۳). نتایج مطالعات فوق با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

نتایج آماری نیز نشان داد که بین مقادیر غلظت PM_{10} با استاندارد WHO در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۵ اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p <$ ۰/۰۵). مطالعه‌ای که در هند در سال ۲۰۰۷ انجام شد نشان داد فعالیت‌های انسانی در معدن زغال سنگ باعث افزایش غلظت PM_{10} در مناطق اطراف این معدن شده است(۳۵). اما در مطالعه حاضر ایستگاه‌های نزدیک به معدن غلظت PM_{10} کم‌تری را نسبت به ایستگاه‌های نزدیک به اتوبان، راه آهن و مجتمع تجاری سیتی‌سنتر دارندکه می‌توان دلیل آن را عامل حمل نقل جاده‌ای و ساخت و ساز بیش‌تر در نزدیک ایستگاه هایی که غلظت بالای PM_{10} دارند، دانست.

جدول شماره ۲ نشان داد که بالاترین میانگین غلظت سرب به ترتیب در ایستگاه های ۱، ۳ و ۴ بوده است. هم چنین نمودار شماره ۲ بیانگر آن است که غلظت سرب در ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۴ بالاتر از استاندارد EPA ($\mu g/m^3$ ۰/۱۵) و WHO ($\mu g/m^3$ ۰/۵) بود، به طوری که غلظت سرب در ایستگاه ۱ و ۴ به ترتیب ۴/۵ و ۴ برابر استاندارد EPA و ۱/۳۶ و ۱/۲ برابر استاندارد WHO می‌باشد. از نظر نتایج آماری نیز به جز ایستگاه ۵، بین غلظت سرب در سایر ایستگاه‌ها نمونه‌برداری و استاندارد EPA ارتباط معنی‌داری وجود داشت ($p <$ ۰/۰۵).

غلظت سرب در غرب سپاهان شهر که منتهی به معدن سرب می‌باشند بالاترین پراکندگی غلظت را نشان می‌دهد (تصویر شماره ۲) که بیانگر آن است که با کاهش فاصله طولی ایستگاه‌های نمونه برداری تا معدن، غلظت سرب بالاتر می‌رود. می‌توان دلیل آن را به فاصله کم معدن تا این منطقه و جهت باد غالب شهر اصفهان در فصل تابستان که بیش‌تر به صورت غرب به شرق است، دانست. هم‌چنین نتایج آزمون آماری نیز نشان داد که در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر میانگین غلظت سرب اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد ($p <$ ۰/۰۵).

نتایج مطالعه ای که غلظت فلزات سنگین در اطراف معدن جیوه آلمادن اسپانیا را مورد بررسی قرار داد حاکی از آن بود که غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کبالت، جیوه و سرب به دلیل فعالیت این معدن در این مناطق بالا بوده است(۲۶) که نتایج آن با مطالعه حاضر مطابقت دارد. مطالعه Csavina و همکاران نشان داد که فعالیت معدنی و بهره‌برداری از معادن نقش مهمی را در تولید و پخش ذرات معلق و فلزات سنگین به محیط زیست را دارند و می‌توانند با تجمع در خاک، آب و سبزیجات برای سلامتی انسان‌ها خطرناک باشند و آسیب جدی به سیستم عصبی‌زده و باعث کاهش ضریب هوشی شوند(۳۶). هم‌چنین در مطالعه‌ای که در جنوب هند، جهت بررسی غلظت آلاینده های هوا و فلزات سنگین در مناطق اطراف معدن ذغال سنگ انجام گرفت، غلظت PM_{10}، آهن، مس، روی و سرب در این مناطق بسیار بالاتر از سایر مناطق گزارش شد و باد غالب جنوب شرقی به شمال غربی در افزایش غلظت این آلاینده‌ها بیش‌ترین تاثیر را داشته است(۱۷) که نتایج مطالعه فوق با مطالعه حاضر مطابقت دارد. در مطالعه دیگری، غلظت $PM_{2.5}$ و فلزات سنگین در اطراف مراکز غیرمجاز بازیافت زباله‌های الکترونیک (EWaste) در چین بررسی شد که نشان داد غلظت $PM_{2.5}$، سرب و کروم بالاتر از مناطق شاهد بود، به طوری که با توجه به ارزیابی اثر خطرات بهداشتی، خطر بالقوه ابتلا به سرطان برای بزرگسالان و کودکان در این منطقه از محدوده قابل قبول توصیه شده توسط سازمان حفاظت محیط

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

زیست ایالات متحده بسیار بالاتر بوده است(۲۵).

مطالعه مشابه دیگری در مکزیک جهت بررسی فلزات سنگین و ذرات معلق انجام گرفت که نشان داد بالا بودن غلظت فلزات کادمیوم، سرب و مس در هوا به دلیل وجود شهرک صنعتی در نزدیکی محل نمونه‌برداری می‌باشد(۲۸).

در مطالعه ای غلظت فلزات سنگین را در مناطق مسکونی و تجاری که در مجاورت معدن ذغال سنگ استان جارخند هند قرار داشتند مورد بررسی قرار دادند که نتایج این مطالعه نشان داد غلظت آهن، کلسیم و آلومنیوم بسیار بالاتر از سایر فلزات مانند کروم، سرب، نیکل و روی بوده و غلظت این آلاینده‌ها در مناطق مسکونی بیش‌تر از مناطق تجاری بوده است(۳۷).

نتایج آماری همبستگی اسپیرمن نشان داد بین غلظت سرب و PM_{10} در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری با $p <$ ۰/۰۱ و ضریب همبستگی ۰/۵۱۳- ارتباط معنی‌دار اما معکوسی وجود داشت که نشان می‌دهد در ایستگاه‌هایی که غلظت PM_{10} بالاست، سرب از غلظت کم‌تری برخوردار است. نتایج مطالعه Szabó و همکاران نشان داد بین غلظت PM_{10} و سرب ارتباط مستقیم و معنی‌داری وجود دارد(۳۸). دلیل عدم همخوانی مطالعه فوق با مطالعه حاضر را می‌توان به عاملی به جز فعالیت معدن کاری مانند ساخت و ساز و انتشارات ناشی از خودروها در مجاورت این ایستگاه‌ها دانست. هم‌چنین دلیل پایین بودن غلظت سرب در ایستگاه‌های نزدیک اتوبان را به حذف سرب از بنزین خودروها نسبت داد(۳۹).

جدول شماره ۳ نشان می‌دهد بالاترین غلظت گاز رادون مربوط به ایستگاه‌های ۱ و ۴ بود. هم‌چنین مقایسه میانگین غلظت گاز رادون در ایستگاه‌های اندازه‌گیری در نمودار شماره ۳ نشان می‌دهد غلظت این گاز در ایستگاه شماره ۱ با مقدار ۵۴۵/۸۹ بکرل در مترمکعب بوده است. با توجه به مقدار رهنمود پیشنهادی WHO برای گاز رادون (۵-۱۵ Bq/m^3) در محیط بیرونی، غلظت این گاز در تمامی ایستگاه بسیار بیش‌تر از رهنمود WHO بوده و از نظر نتایج آماری نیز بین غلظت گاز رادون با رهنمود WHO اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p <$ ۰/۰۵). با توجه به گزارش WHO، ۱۴-۳ درصد از شیوع سرطان ریه در هر کشور مربوط به گاز رادون می‌باشد. به طوری که به ازای افزایش هر ۱۰۰ بکرل در مترمکعب غلظت گاز رادون در تماس طولانی مدت، شیوع سرطان ریه ۱۶ درصد افزایش می‌یابد و این خطر برای افراد سیگاری ۲۵ برابر بیش‌تر از افراد غیر سیگاری است(۴۰).

نتایج آماری بین غلظت گاز رادون و سرب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری همبستگی معنی‌داری را نشان داد ($p <$ ۰/۰۵).

با توجه به گزارشات WHO، غلظت گاز رادون در داخل مناطق مسکونی بیش‌تر از بیرون این مناطق است. در حالی‌که در این مطالعه غلظت این گاز در ایستگاه‌های اندازه‌گیری به ویژه در ایستگاه‌های ۱ و ۴ بسیار بیش‌تر از سطح پیشنهادی WHO است. دلیل اصلی افزایش این گاز در این ایستگاه‌ها را می‌توان به نزدیکی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری به مجتمع معدنی سرب و روی بام (در فاصله ۵ کیلومتری این منطقه) دانست، زیرا براساس گزارش WHO، رادون یک گاز رادیواکتیو طبیعی است و از تجزیه طبیعی اورانیوم ایجاد می‌شود، به‌طوری‌که در بسیاری از سنگ‌ها و خاک‌ها یافت می‌شود(۴۰). مطالعات نشان دادند که بین سرطان ریه و معادن اورانیوم و سرب ارتباط مستقیمی وجود دارد و میزان گاز رادون در معادن زغال سنگ و سرب به مراتب بیش‌تر از معادن اورانیوم است(۴۱). لذا با توجه به غلظت بالای گاز رادون در محیط بیرونی، گاز رادون می‌تواند از طریق سیستم‌های تهویه، شکاف دیوارها، درب و پنجره‌ها وارد داخل منازل شده و مخاطرات بهداشتی برای شهروندان ایجاد کند. هم‌چنین الگوی پراکندگی غلظت گاز رادون نیز در تصویر شماره ۲ نشان می‌دهد که غلظت گاز رادون

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

در غرب سپاهان شهر و در ایستگاه‌هایی که در فاصله کم‌تری نسبت به معدن سرب قرار دارند، بیش‌تر از سایر مناطق بوده و با توجه به نتایج مطالعات مشابه بین معادن سرب و اورانیوم و افزایش غلظت رادون ارتباط مستقیمی وجود دارد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

مطالعه ای در سال ۲۰۱۴ در لبنان جهت بررسی غلظت گاز رادون در داخل و خارج مناطق مسکونی انجام شد که نشان داد غلظت گاز رادون در خارج از مناطق مسکونی بیش‌تر از داخل مناطق مسکونی است که دلیل این امر را به نزدیک بودن آشکارساز به زمین نسبت دادند(۳۰).

مطالعه ای که در ایالت های آیووا و مینه سوتا امریکا انجام گرفت، غلظت گاز رادون در محیط بیرون را بالاتر از استاندارد ملی امریکا گزارش کردند(۴۲). نتایج مطالعات فوق با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

هم‌چنین مطالعه دیگری در برزیل انجام شدکه حداکثر غلظت گاز رادون در محیط‌های بیرون را ۵۰ بکرل در مترمکعب گزارش کردند(۴۳). با مقایسه رادون در محیط بیرون در سایر مطالعات با مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که غلظت این گاز در این مطالعه بسیار بالاتر از مقادیر سایر مطالعات است که می توان آن را به معدن سرب و تابش طبیعی رادون، نوع خاک منطقه و نمای سنگی و آجری ساختمان ها نسبت داد. به طوری که گاز رادون-۲۲۲ یکی از محصولات فروپاشی اورانیوم است و به طور طبیعی در لایه‌های زمین تولید می‌شود. این غلظت از گاز رادون می تواند از منابع مختلفی مانند سیستم تهویه، سنگ بستر زیر ساختمان، مصالح و نمای ساختمان، ترک های نامرئی در دیوارها و کف زمین و منابع آبی به داخل ساختمان وارد شده و در طولانی مدت اثرات مخربی بر سلامتی ساکنین داشته باشد(۲۰). نتایج این مطالعه نشان داد غلظت PM_{10}، سرب و رادون در اکثر ایستگاه های نمونه برداری بالاتر از استاندارد WHO و EPA بود. غلظت PM_{10} در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه به دلیل نزدیکی به اتوبان شهید دستجردی و ساخت و ساز مرکز تجاری سیتی سنتز بیش‌ترین مقدار بوده است. هم‌چنین الگوی پراکندگی غلظت رادون و سرب در منطقه مورد مطالعه مشابهت زیادی به هم داشته و در غرب سپاهان شهر در ایستگاه های منتهی به معدن سرب دارای بالاترین غلظت رادون و سرب بودند. با توجه به غلظت بالای PM_{10}، سرب و رادون در این منطقه و خطرات بهداشتی ناشی از آن ها بر سلامتی ساکنین این منطقه پیشنهاد می شود مطالعات بیش‌تری جهت پایش مداوم این آلاینده‌ها و ارتباط آن‌ها با سلامتی ساکنین سپاهان شهر انجام گردد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی به شماره ۲۹۲۱۱۰ بوده و تمامی هزینه های این پژوهش از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان تأمین گردید. لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از همکاری های معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اداره آموزش و پرورش شهر اصفهان و سازمان انرژی اتمی تشکر و قدردانی نمایند.

References

1. Fattore E, Paiano V, Borgini A, Tittarelli A, Bertoldi M, Crosignani P, et al. Human health risk in relation to air quality in two municipalities in an industrialized area of Northern Italy. Environ Res 2011; 111(8): 1321-1327.
2. Jafari N, Abdolahnejad A, Ebrahimi A, Bina B, Mortezaie S. Geographic information system based noise study in crowded areas of Isfahan city in 2010-2011. Int J Environ Health Eng 2015; 4(1): 24.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

3. Sobhanardakani S, Saedi M. Assessment of Particulate Matter, Free Silica and Toxic Gases Emissions from Khouzestan Cement Company. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(125): 21-31 (Persian).
4. Zallaghi E, Goudarzi G, Geravandi S, Mohammadi MJ. Epidemiological indexes attributed to particulates with less than 10 micrometers in the air of Ahvaz City during 2010 to 2013. Health Scope 2014; 3(4): e22276.
5. Kumar A, Goyal P. Forecasting of daily air quality index in Delhi. Sci Total Environ 2011; 409(24): 5517-5523.
6. Mokhtari M, Miri M, Mohammadi A, Khorsandi H, Hajizadeh Y, Abdolahnejad A. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM10, PM2. 5 and SO2 in Yazd, Iran. J Mazandaran Univ Med Sci 2015; 25(131): 14-23 (Persian).
7. de Kok TM, Driece HA, Hogervorst JG, Briedé JJ. Toxicological assessment of ambient and traffic-related particulate matter: a review of recent studies. Mutat Res 2006; 613(2): 103-122.
8. Miri M, Aval HE, Ehrampoush MH, Mohammadi A, Toolabi A, Nikonahad A, et al. Human health impact assessment of exposure to particulate matter: an AirQ software modeling. Environ Sci Pollut Res Int 2017; 24(19): 16513-16519.
9. Mokhtari M, Jafari N, Hajizadeh Y, Mohammadi A, Miri M, Abdollahnejad A. Estimation of health effects of PM2.5 exposure using Air Q model in Isfahan during 2013. J Health Dev 2017; 6(1): 74-84 (Persian).
10. Nikoonahad A, Naserifar R, Alipour V, Poursafar A, Miri M, Ghafari HR, et al. Assessment of hospitalization and mortality from exposure to PM10 using AirQ modeling in Ilam, Iran. Environ Sci Pollut Res Int. 2017; 24(27):21791-21796.
11. Hajizadeh Y, Mokhtari M, Faraji M, Mohammadi A, Nemati S, Ghanbari R, et al. Trends of BTEX in the central urban area of Iran: A preliminary study of photochemical ozone pollution and health risk assessment. Atmos Pollut Res 2017; InPress.
12. Mokhtari M, Hajizadeh Y, Mohammadi A, Miri M, Abdollahnejad A, Niknazar H. Ambient Variations of Benzene and Toluene in Yazd, Iran, Using Geographic Information System. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(138): 131-139 (Persian).
13. Mokhtari M, Jafari N, Ebrahimi A, Mohammadi A, Abdolahnejad A, Hajizadeh Y, et al. Assessment of airborne asbestos fibers concentration in Yazd city in summer 2015. JEHSD 2016; 1(2): 87-93.
14. Oh SM, Kim HR, Park YJ, Lee SY, Chung KH. Organic extracts of urban air pollution particulate matter (PM2. 5)-induced genotoxicity and oxidative stress in human lung bronchial epithelial cells (BEAS-2B cells). Mutat Res 2011; 723(2): 142-151.
15. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment, In: Molecular, clinical and environmental toxicology. Luch A. Springer; Basel 2012.
16. Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Tavakol T, Lahijanzadeh AR, Jaafarzadeh N, et al. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. Sci Total Environ 2015; 505: 712-723.
17. Pandey B, Agrawal M, Singh S. Assessment of air pollution around coal mining area: emphasizing on spatial distributions, seasonal

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

variations and heavy metals, using cluster and principal component analysis. Atmos Pollut Res 2014; 5(1): 79-86.

18. Ragheb PS, Ardakani SS. Analysis of Co, Cr and Mn Concentrations in Atmospheric Dry Deposition in Hamadan City. Sci J Hamdan Univ Med Sci 2016; 23(2): 149-156 (Persian).
19. Sobhanardakani S, Talebiani S, Maanijou M. Evaluation of As, Zn, Pb and Cu concentrations in groundwater resources of Toyserkan Plain and preparing the zoning map using GIS. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 24(114): 120-130 (Persian).
20. Yousefi Z, Naddafi K, Tahamtan M, Ali R, Zazouli MA, Koushki Z. Indoor Radon Concentration in Gorgan 212 Dwellings Using CR-39 Detector. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 24(113): 2-10 (Persian).
21. Samadi MT, GolzarKhojasteh B, Rostampour N, Hamedan I. Indoor Natural Radiation Level in Hamadan Province, 2012. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 23(99): 54-60 (Persian).
22. Tirmarche M, Harrison J, Laurier D, Blanchardon E, Paquet F, Marsh J. Risk of lung cancer from radon exposure: contribution of recently published studies of uranium miners. Ann ICRP 2012; 41(3): 368-377.
23. Barros-Dios J, Ruano-Ravina A, Gastelu-Iturri J, Figueiras A. Factors underlying residential radon concentration: Results from Galicia, Spain. Environ Res 2007; 103(2): 185-190.
24. Massey DD, Kulshrestha A, Taneja A. Particulate matter concentrations and their related metal toxicity in rural residential environment of semi-arid region of India. Atmospheric Environ 2013; 67: 278-286.
25. Zheng X, Xu X, Yekeen TA, Zhang Y, Chen A, Kim SS, et al. Ambient air heavy metals in PM2. 5 and potential human health risk assessment in an informal electronic-waste recycling site of China. Aerosol Air Qual Res 2016; 16(2): 388-397.
26. García-Ordiales E, Esbrí JM, Covelli S, López-Berdonces MA, Higueras PL, Loredo J. Heavy metal contamination in sediments of an artificial reservoir impacted by long-term mining activity in the Almadén mercury district (Spain). Environ Sci Pollut Res 2016; 23(7): 6024-6038.
27. Chen P, Bi X, Zhang J, Wu J, Feng Y. Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient PM 2.5 in Tianjin, China. Particuology 2015; 20: 104-109.
28. Flores-Rangel R, Rodríguez-Espinosa P, de Oca-Valero JM, Mugica-Álvarez V, Ortiz-Romero-Vargas M, Navarrete-López M, et al. Temporal variation of PM10 and metal concentrations in Tampico, Mexico. Air Qual Atmos Health 2015; 8(4): 367-378.
29. Owoade KO, Hopke PK, Olise FS, Ogundele LT, Fawole OG, Olaniyi BH, et al. Chemical compositions and source identification of particulate matter (PM 2.5 and PM 2.5–10) from a scrap iron and steel smelting industry along the Ife–Ibadan highway, Nigeria. Atmos Pollut Res 2015; 6(1): 107-119.
30. Kobeissi MA, El Samad O, Zahraman K, Rachidi I. Assessment of Indoor and Outdoor Radon Levels in South Lebanon. Int J Disaster Risk Sci 2014; 5(3): 214-226.
31. Leili M, Naddafi K, Nabizadeh R, Yunesian M, Mesdaghinia A. The study of TSP and PM10 concentration and their heavy metal content in central area of Tehran, Iran. Air Qual Atmos Health 2008; 1(3): 159-166.
32. López J, Callén M, Murillo R, Garcia T, Navarro M, De la Cruz M, et al. Levels of selected metals in ambient air PM10 in an

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]

urban site of Zaragoza (Spain). Environ Res 2005; 99(1): 58-67.

33. Herner JD, Green PG, Kleeman MJ. Measuring the trace elemental composition of size-resolved airborne particles. Environ Sci Technol 2006; 40(6): 1925-1933.
34. Hosseini G, Teymouri P, Giahi O, Maleki A. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM10 in Kurdistan University of Medical Sciences Campus. J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 25(132): 136-146 (Persian).
35. Ghose MK, Majee S. Characteristics of hazardous airborne dust around an Indian surface coal mining area. Environ Monit Assess 2007; 130(1-3): 17-25.
36. Csavina J, Field J, Taylor MP, Gao S, Landázuri A, Betterton EA, et al. A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. Sci Total Environ. 2012; 433: 58-73.
37. Rout T, Masto RE, Padhy P, Ram L, George J, Joshi G. Heavy metals in dusts from commercial and residential areas of Jharia coal mining town. Environ Earth Sci 2015; 73(1): 347-359.
38. Szabó J, Nagy AS, Erdős J. Ambient concentrations of PM10, PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in an urban site of Győr, Hungary. Air Qual Atmos Health 2015; 8(2): 229-241.
39. Sarraf R, Mohammadi S, Valipour S, Rozbahani F. Study of lead concentration in the air of Tehran municipality district one in 2008. J Environ Sci Eng Technol 2009; 11(3): 93-106. (Persian).
40. WHO. WHO Handbook on Indoor Radon. 2009. Available online: whqlibdoc who int/ publications/2009/9789241547673_eng pdf. Accessed February 18, 2013.
41. Barkhordari Firouzabadi A, BoozarJomehri F, Ghahari M, Parach A, Zare Sakhoydi M, Lotfi M. Measuring Radon Concentration in the Lead and Zinc Mines in Yazd. TB. 2016; 14(6): 94-102 (Persian).
42. Kávási N, Németh C, Kovács T, Tokonami S, Jobbágy V, Várhegyi A, et al. Radon and thoron parallel measurements in Hungary. Radiat Prot Dosimetry 2006; 123(2): 250-253.
43. Steck DJ, Field RW, Lynch CF. Exposure to atmospheric radon. Environ Health Perspect 1999; 107(2): 123-127.
44. Magalhaes M, Amaral E, Sachett I, Rochedo E. Radon-222 in Brazil: an outline of indoor and outdoor measurements. J Environ Radioact 2003; 67(2): 131-143.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-09]