

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره نه، آذر ماه ۹۹

بررسی غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم نزولات جوی مناطق پرتراфик شهر

همدان

بهاره بهارمستیان^۱

سهیل سبحان اردکانی^{*۲}

s_sobhan@iauh.ac.ir

سعید جامه بزرگی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: بدون شک یکی از مهم‌ترین مسایل محیط‌زیستی تهدیدکننده سلامت افراد در کلان شهرهای ایران، مشکل آلودگی هوا است. نزولات جوی مؤثرترین راه زدایش آلاینده‌ها از اتمسفر است و فلزات سنگین موجود در آن می‌تواند به‌خوبی نمایان‌گر وضعیت آلودگی محیطی در نواحی مختلف شهری باشد. لذا، این پژوهش با هدف بررسی غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نزولات جوی مناطق پرتراфик شهر همدان در فصل زمستان سال ۱۳۹۲ انجام یافت.

روش بررسی: ۲۴ نمونه نزولات جوی از ۸ ایستگاه پرتردد مستقر در سطح شهر همدان برداشت و به بطری‌های پلی‌اتیلنی منتقل شد. به هر بطری چند قطره اسید نیتریک به‌منظور رساندن pH نمونه‌ها به ۲ افزوده شد. بعد از طی مراحل آماده‌سازی آزمایشگاهی، غلظت عناصر در نمونه‌ها به‌روش طیف‌سنجی نوری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) خوانده شد. پردازش آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام یافت.

یافته‌ها: میانگین غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌ها (میکروگرم در لیتر) به‌ترتیب برابر با $۶۹/۵۰ \pm ۱۴۲/۶۲$ ، $۱۰/۲۵ \pm ۸/۹۴$ و $۱۷/۶۱ \pm ۰/۲۹$ و در مورد عنصر کادمیوم بیش‌تر از رهنمود سازمان بهداشت جهانی برای تخلیه به منابع آب سطحی بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر سرب و به‌ویژه کادمیوم در نزولات جوی و به‌تبع آن در رواناب حاصل به‌واسطه حجم بالای تراфик شهری و آلاینده‌های منتشرشده ناشی از آن بالا بوده است. از این‌رو، برای جلوگیری از تهدید منابع پذیرنده آب سطحی و زیرزمینی و حفظ سلامت مصرف‌کنندگان، اندیشیدن تمهیداتی برای جمع‌آوری و تصفیه رواناب ناشی از نزولات جوی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نزولات جوی، رواناب، فلز سنگین، تراфик، همدان.

۱ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

۲ - استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران. (مسئول مکاتبات)

۳ - دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

Study on Heavy Metals Content (Fe, Pb and Cd) in Atmospheric Precipitation Collected from the High Traffic Intensity Regions of City of Hamedan

Baharmastian¹
Sobhanardakani^{2*}
s_sobhan@iauh.ac.ir
Jameh Bozorgi³

Accepted: 2016.09.14

Received:2015.12.05

Abstract

Background and Objective: Air pollution is one of the most important environmental problems which can lead to the human health effects especially in the metropolitans. Atmospheric precipitation including rain and snow are the most effective way for removing pollutant from the atmosphere and its heavy metals can describe the variability of the environmental pollution in different urban areas. Therefore, this study was conducted to assess the metal (Fe, Pb and Cd) concentrations in the atmospheric precipitation collected from high traffic intensity areas of city of Hamedan in 2014.

Method: A total of 24 snow samples were collected from 8 selected stations located in different regions of city of Hamedan with high traffic intensity. The samples were stored in polyethylene bottles and were acidified at a pH lower than 2 by adding concentrated HNO₃ in order to avoid metal adsorption onto the inner bottle walls. Element (Fe, Pb and Cd) concentrations were determined using ICP-OES. All statistical analyses were done by SPSS software.

Findings: The results showed that the mean concentrations (µg/L) of Fe, Pb and Cd in snow samples were 69.5 ± 143 , 10.2 ± 8.94 and 17.6 ± 0.290 , respectively. Also, the mean concentrations of Cd were significantly higher than maximum permissible limits established by WHO.

Conclusion: The results indicate that rainfall collected from the high traffic intensity regions of city of Hamedan is polluted with Cd due to the high traffic volumes and their emitted pollutions, therefore, for maintaining of surface and groundwater resources and also public health consider the suitable strategies is recommended.

Keywords: Atmospheric Precipitation, Runoff, Heavy Metals, Traffic, Hamedan

1- M.Sc., Environmental Science, Department of Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

2- Professor, Department of Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran *(Corresponding Author)

3- Associate Professor, Department of Chemistry, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسایل محیط‌زیستی در ایران و به‌خصوص کلان‌شهرها، مشکل آلودگی هوا است (۱). در سال‌های اخیر آلودگی ناشی از رشد روز افزون جمعیت، تردد وسایل نقلیه و گسترش صنایع باعث شده که مشکلات زیادی در محیط‌زیست بشر ایجاد شود و سلامتی افراد جامعه را به خطر اندازد که عواقب آن در درجه اول به‌صورت انواع امراض و بیماری‌های تنفسی و تشدید بیماری‌های قلبی و ریوی متوجه ساکنان شهرها می‌شود (۲). در چند دهه گذشته ورود آلاینده‌ها با منشاء انسانی مانند فلزات سنگین به بوم‌سازگان‌ها، به‌مقدار زیادی افزایش یافته است که این به‌عنوان یک خطر جدی برای حیات زیست‌کره به‌شمار می‌آید (۳).

فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان-ساخت به محیط‌زیست وارد می‌شوند. میزان ورود این فلزات به محیط ناشی از منابع مصنوعی، بسیار بیش‌تر از میزانی است که به‌وسیله فرآیندهای طبیعی ایجاد می‌شود. بنابراین، امروزه نیاز به مطالعه خصوصیات و نحوه انتشار آلاینده‌های هوا به‌ویژه ذرات حاوی فلز سنگین به‌همراه مشخص کردن منشاء تولید این ذرات یکی از اولویت‌های اساسی برای کنترل آلودگی هوای شهرها محسوب می‌شود (۴).

قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض فلزات سنگین به‌دلیل قابلیت تجمع‌زیستی، غیرقابل تجزیه زیستی بودن، نیم عمر بالا و همچنین پایداری زیاد در محیط مخاطره‌آمیز است (۵). از این‌رو، مواجهه با غلظت‌های غیر مجاز این ترکیبات از جمله آهن، مس، سرب و کادمیوم می‌تواند سبب ابتلای انسان و سایر زیست‌مندان به انواع بیماری‌ها و عوارض غیرقابل جبران شود (۶). از جمله مهم‌ترین وظایف آهن در بدن می‌توان به انتقال اکسیژن در گلبول‌های قرمز، تولید هموگلوبین خون، مقاومت در برابر تنش و ناخوشی، عملکرد صحیح آنزیم‌ها و تقویت سیستم ایمنی اشاره کرد. اما مصرف طولانی‌مدت این عنصر و یا قرارگرفتن در معرض غلظت‌های بالای آن می‌تواند منجر به بروز ناراحتی‌های تغذیه‌ای، کاهش رشد و کمبود فسفر شود. همچنین، وجود آهن اضافی در خون انسان باعث ایجاد

رسوباتی می‌شود که رگ‌های خونی را مسدود می‌کند (۷). سرب به‌طور طبیعی در محیط‌زیست وجود دارد، ولی در بیش‌تر موارد به‌سبب فعالیت‌های بشر به‌ویژه احتراق سوخت-های فسیلی به محیط تخلیه می‌شود. سرب یکی از چهار فلزی است که بیش‌ترین عوارض را بر سلامت انسان دارد و در گروه ۲B ترکیبات سرطان‌زای موسسه IARC طبقه‌بندی شده است و آثار سمی آن بستگی به ویژگی‌های متابولیکی افراد و رژیم غذایی دارد (۸). اختلال بیوسنتز هموگلوبین و کم‌خونی، افزایش فشار خون، آسیب به کلیه، سقط جنین و نارسایی نوزاد، اختلال در سیستم عصبی، آسیب به مغز، نابرووری مردان، کاهش قدرت یادگیری و اختلالات رفتاری در کودکان از عوارض منفی افزایش غلظت سرب در بدن است (۹). از مهم‌ترین منابع انتشار کادمیوم در محیط می‌توان به ساختار زمین‌شناسی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، فعالیت آتش‌فشان‌ها، شیرابه زباله‌های صنعتی و تولید و مصرف کودهای فسفاته اشاره کرد. این عنصر پس از ورود به بدن انسان، در بافت کلیه تجمع می‌یابد. از عوارض نامطلوب حضور آن در بدن می‌توان - به اسهال، شکم درد و استفراغ شدید، شکستگی استخوان، آسیب به کلیه، کبد و طحال، عقیم شدن، آسیب به سیستم عصبی مرکزی، آسیب به سیستم ایمنی، ناهنجاری‌های روانی، آسیب احتمالی به DNA و سرطان اشاره کرد (۱۰).

تاکنون چندین مطالعه در مورد بررسی کیفیت نزولات جوی با تاکید بر غلظت تجمع‌یافته فلزات سنگین، در ایران و سایر نقاط جهان انجام یافته است که از جمله می‌توان به مطالعه‌ای که با هدف بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در نزولات جوی شهر تهران انجام یافت (۱۱)، پژوهشی که با هدف بررسی تجمع برخی فلزات سنگین در نمونه‌های برف و باران اطراف مجتمع صنعتی Severonikel در روسیه انجام شد (۱۲)، پژوهشی که طی آن به بررسی تجمع جیوه نمونه‌های برف در شهرهای ساحلی دریای بالتیک اقدام شد (۱۳)، پژوهشی که با هدف بررسی جیوه و سایر فلزات سنگین در نزولات جوی آفریقای جنوبی انجام یافت (۱۴) و مطالعه‌ای که در آن به

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

همدان با مختصات جغرافیایی ۳۵-۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه در عرض شمالی و بین ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه در طول شرقی واقع شده است. میانگین ارتفاع این استان از سطح دریا ۱۷۰۰ متر است. ارتفاعات، عمدتاً جهت شمال غربی- جنوب شرقی دارند و به‌طور کلی در شمال، مرکز و جنوب استان قرار گرفته‌اند. بنابراین ارتفاع زمین در بیش‌تر مناطق آن زیاد بوده و همین عامل موجب شده که این استان به‌عنوان یکی از استان‌های سرد کشور محسوب شود (۱). میانگین دما و بارندگی سالانه شهر همدان به‌ترتیب ۱۱/۳ و ۳۱۷/۷ میلی‌متر است (۱ و ۴).

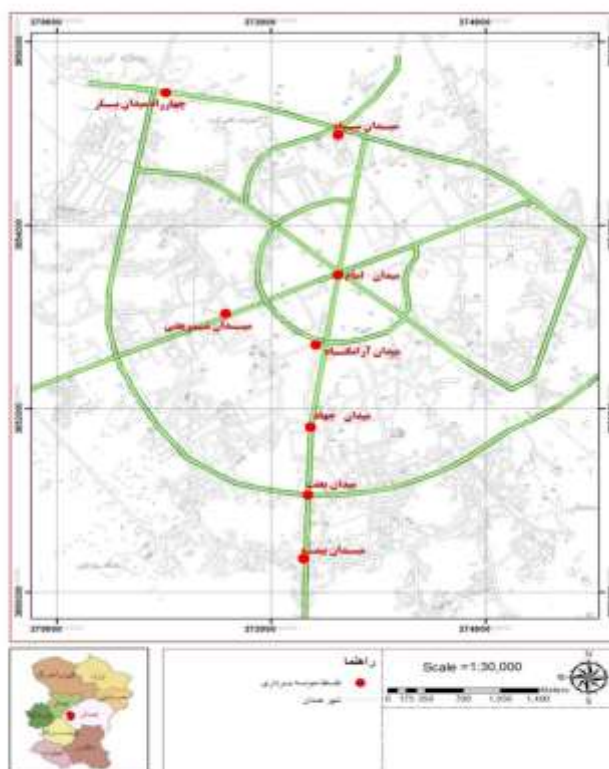
نمونه‌برداری

پس از انتخاب ۸ ایستگاه نمونه‌برداری از نزولات جوی در مناطق پرتراپیک شهر همدان شامل میدان بیمه، میدان بعثت، میدان جهاد، میدان آرامگاه بوعلی سینا، میدان امام، میدان شریعتی، چهارراه میدان بار و میدان سپاه نسبت به نمونه‌برداری و همچنین ثبت مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها به‌وسیله دستگاه GPS مدل ۶۴^{SX} ساخت شرکت گارمین در فصل زمستان سال ۱۳۹۲ اقدام شد. قبل از انجام نمونه‌برداری، ظروف پلی‌اتیلنی را سه مرتبه با آب مقطر شست‌وشو داده و از هر ایستگاه حدود ۵۰۰ گرم برف سطحی مطابق روش استاندارد توسط یک سیلندر از جنس پلی‌وینیل کلراید با یک متر طول و قطر داخلی ۸ سانتی‌متر برداشت شد (۱۲، ۱۵، ۲۱). نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل (۱) ارائه شده است.

پس از سنجش pH و دمای هر نمونه در محل نمونه‌برداری، به‌منظور ممانعت از رسوب‌گذاری عناصر محلول در نمونه‌ها، سه قطره اسید نیتریک غلیظ به هر نمونه اضافه شد (۲۶). بعد از اتمام نمونه‌برداری برچسبی حاوی اطلاعات شامل محدوده مطالعاتی، شماره ایستگاه، نام ایستگاه، تاریخ و ساعت برداشت نمونه، درجه حرارت و pH بر روی ظروف چسبانده شد.

بررسی تاثیر آلاینده‌های جوی شهر سانتیاگو شیلی بر غنی‌شدگی فلزات سنگین با منشاء انسان‌ساخت در برف پرداخته شد (۱۵) اشاره کرد. در پژوهشی دیگر توزیع گونه‌ای و تعادل جرمی عناصر روی و مس بین باران، رسوبات و رواناب جاده‌ای در چین بررسی شد (۱۶). Golubeva و همکاران (۲۰۱۰) نیز به مطالعه تجمع برخی فلزات سنگین در نمونه‌های نزولات جوی در سواحل دریای بارتنز پرداختند (۱۷). از طرفی، پژوهشی با هدف بررسی تجمع برخی فلزات سنگین در نزولات جوی منطقه شمال دریای اژه انجام یافت (۱۸). در مطالعه‌ای نیز نسبت به بررسی تغییرات مکانی و زمانی برخی کاتیون‌های فلزی در نمونه‌های باران در ژاپن اقدام شد (۱۹). همچنین، در پژوهشی غلظت برخی فلزات سنگین در نمونه‌های باران جمع‌آوری شده از غرب مریلند تعیین شد (۲۰). از سوی Takeda و همکاران (۲۰۰۰) نسبت به بررسی برخی فلزات و نیز ایزوتوپ سرب در نمونه‌های باران و برف جمع‌آوری شده از هیروشیما ژاپن طی ۳ سال متوالی اقدام کردند (۲۱). بعلاوه می‌توان به پژوهشی که با هدف بررسی تجمع برخی فلزات در نمونه‌های برف جمع‌آوری شده از مجاور کارخانه فرآوری نیکل در روسیه انجام یافت، اشاره کرد (۲۲). در مطالعه‌ای دیگر نیز به بررسی برخی فلزات سنگین در نمونه‌های برف جمع‌آوری‌شده از نقاط مختلف شهر Sapporo ژاپن پرداخته شد (۲۳).

از آن‌جا که باران و برف بخش عمده‌ای از بارش را تشکیل می‌دهند و برف از قابلیت تجمع مقادیر فراوانی از آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی پایدار برخوردار است (۲۴) و از طرفی، استفاده گسترده انسانی، صنعتی و زراعی از رواناب ناشی از بارش، بدیهی است که در صورت تجمع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین در نزولات جوی، مخاطرات جدی بهداشتی برای انسان ایجاد خواهد شد (۲۵). لذا، با توجه به کمبود اطلاعات درخصوص توزیع فلزات در محیط شهری، این پژوهش با هدف بررسی غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نزولات جوی مناطق پرتراپیک شهر همدان در فصل زمستان سال ۱۳۹۲ انجام یافت.



شکل ۱- نقشه موقعیت استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1- Map of sampling sites

نرم افزار آماری SPSS استفاده شد. بدین صورت که برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده شد. برای مقایسه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها با رهنمود سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت محیط-زیست ایران و مقایسه میانگین غلظت عناصر در نزولات جوی بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری به ترتیب از آزمون‌های تی-تک-نمونه‌ای و تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) استفاده شد. از سویی، برای بررسی همبستگی بین پارامترهای pH و دما با میانگین غلظت تجمع‌یافته عناصر در نمونه‌ها از آزمون ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم، دما و pH نمونه‌های برف به‌تفکیک ایستگاه در جدول (۱) ارائه شده است.

آماده‌سازی نمونه‌ها

بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ظروف مورد استفاده با آب و مایع و سپس با آب دوبار تقطیر شست‌وشو داده شد. نمونه‌ها پس از عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۲، به بالن‌های شماره‌گذاری شده، منتقل شدند. ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه برف را با ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به مدت ۳۰ دقیقه در زیر هود در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده و محلول حاصل با آب دو-بار تقطیر به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بعد از آماده کردن محلول‌های مادر (استوک) و نمک فلزات سنگین و کالبره کردن دستگاه نشراتی Varian مدل ES-۷۱۰، نسبت به قرائت غلظت عناصر مورد ارزیابی در نمونه‌ها اقدام شد (۲۸،۲۷،۱۶).

پردازش آماری داده‌ها

در این پژوهش به منظور پردازش آماری داده‌ها از نسخه ۱۹

جدول ۱- غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم برحسب میکروگرم* در لیتر و pH

در نمونه‌های نزولات جوی

Table 1- Metals (Fe, Pb and Cd) content ($\mu\text{g/L}$) and pH value in urban snow samples

pH	کادمیوم	سرب	آهن	ایستگاه	ردیف
۷	۱۷/۷ ^a	۱۸/۴ ^c	۴۰۷ ^{e**}	میدان بیمه	۱
۴	۱۷/۵ ^a	۲/۸۰ ^a	۱۴/۰ ^c	میدان بعثت	۲
۴	۱۷/۲ ^a	۶/۲۰ ^a	۱/۰۰ ^a	میدان جهاد	۳
۵	۱۷/۳ ^a	۳/۲۰ ^a	۴/۰۰ ^{ab}	میدان آرامگاه بوعلی	۴
۵	۱۷/۵ ^a	۶/۱۰ ^a	۵/۰۰ ^b	میدان امام	۵
۴	۱۸/۰ ^a	۶/۱۰ ^a	۱/۰۰ ^a	میدان شریعتی	۶
۶	۱۸/۰ ^a	۲۸/۶ ^d	۱۲۳ ^d	چهارراه میدان بار	۷
۶	۱۷/۷ ^a	۱۰/۶ ^b	۰/۱۰۰ ^a	میدان سپاه	۸
۵/۱۲±۱/۱۳	۱۷/۶±۰/۲۹۰	۱۰/۲±۸/۹۴	۶۹/۵±۱۴۳	انحراف معیار± میانگین غلظت	

* داده‌ها مربوط به میانگین غلظت سه تکرار است.

** حروف غیر مشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی بین

ایستگاه‌ها بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (آزمون دانکن) می‌باشد.

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد با توجه به سطح معنی‌داری (P) بزرگ‌تر از ۰/۰۵، داده‌های مربوط به غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌های برف توزیع نرمال داشته است.

نتایج آزمون تی تک‌نمونه‌ای نیز به منظور مقایسه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها با رهنمود WHO و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، به ترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است.

نتایج مندرج در جدول (۱) بیان‌گر آن است که کمینه و بیشینه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها برحسب میکروگرم در لیتر برای آهن با ۰/۱۰۰ و ۴۰۷ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های میدان سپاه و میدان بیمه، برای سرب با ۲/۸۰ و ۲۸/۶ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های میدان بعثت و چهارراه میدان بار و برای کادمیوم با ۱۷/۲ و ۱۸/۰ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های میدان جهاد و میدان شریعتی و چهارراه میدان بار بوده است.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌های برف با رهنمود WHO

Table 2- Comparison of mean concentrations of Fe, Pb and Cd in snow samples with maximum permissible limits established by WHO

فاصله اطمینان (۰/۹۵)	P-value	درجه آزادی	آماره t	تفاوت میانگین از استاندارد	تعداد	استاندارد WHO برحسب mg/l (۲۹)	پیراسنج
۰/۰۹۶۹	۰/۱۷۰	۲۳	۱/۴۱۷	۰/۰۲۷۸	۲۴	۰/۳۰۰	آهن

۰/۰۰۳۹	-۰/۰۰۳۴	۰/۸۸۹	۲۳	۰/۱۴۱	۰/۰۰۱۷۸	۲۴	۰/۰۱۰	سرب
۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۳۸	۰/۰۰۰	۲۳	۳۸/۴۰۶	۰/۰۰۰۳۸	۲۴	۰/۰۰۳	کادمیوم

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌های برف با رهنمود سازمان حفاظت محیط-

زیست

Table 3-Comparison of mean concentrations of Fe, Pb and Cd in snow samples with permissible limits established by Iranian Department of Environment

فاصله اطمینان (۹۵٪)		P-value	درجه آزادی	آماره t	تفاوت میانگین از استاندارد	تعداد	استاندارد ایران برحسب (۳۰) mg/l	فلز
حد بالایی	حد پایینی							
-۰/۱۷۳۱	-۰/۲۸۸۱	۰/۰۰۰	۲۳	-۸/۲۹۷	۰/۰۲۷۸	۲۴	۰/۳۰۰	آهن
-۰/۰۳۶۱	-۰/۰۴۳۴	۰/۰۰۰	۲۳	-۲۲/۳۷۶	۰/۰۰۱۷۸	۲۴	۰/۰۵۰	سرب
۰/۰۱۳۴	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۰	۲۳	۳۳/۱۵۰	۰/۰۰۰۳۸	۲۴	۰/۰۰۵	کادمیوم

از نظر میانگین غلظت عنصر کادمیوم اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشده است.

نتایج آزمون ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌های برف همبستگی معنی‌دار آماری وجود نداشته است. ولی بین میانگین غلظت عناصر آهن و سرب با پارامتر pH با ضریب همبستگی (r) به ترتیب برابر با ۰/۷۵۷ و ۰/۷۱۹ و $P < ۰/۰۵$ همبستگی معنی‌دار آماری وجود داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که میانگین غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌ها (میکروگرم در لیتر) به ترتیب برابر با $۶۹/۵ \pm ۱۴۳$ ، $۱۰/۲ \pm ۸/۹۴$ و $۱۷/۶ \pm ۰/۲۹۰$ و میانگین غلظت کادمیوم بیش‌تر از رهنمود WHO بوده است.

آهن چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی آن در حدود ۵٪ قابل تخمین می‌باشد. آهن فلزی بسیار فعال است و به سرعت با اکسیژن موجود در هوای مرطوب ترکیب می‌شود. این عنصر با آب خیلی داغ و بخار برای تولید گاز هیدروژن واکنش می‌دهد. همچنین، در بیش‌تر اسیدها حل شده و با سایر عناصر واکنش می‌دهد (۳۱). نتایج نشان داد که

با استناد به نتایج، میانگین غلظت عناصر آهن و سرب در نمونه‌ها با رهنمود WHO اختلاف معنی‌دار آماری نداشته است، ولی میانگین غلظت عنصر کادمیوم در نمونه‌ها با رهنمود WHO اختلاف معنی‌دار آماری دارد ($P < ۰/۰۵$) داشته و بیش‌تر از حد استاندارد بوده است. همچنین، میانگین غلظت عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌ها با رهنمود سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران برای تخلیه به منابع آب سطحی اختلاف معنی‌دار آماری داشته ($P < ۰/۰۵$) و برای عناصر آهن و سرب کم‌تر و برای عنصر کادمیوم بیش‌تر از حد استاندارد بوده است.

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (چند دامنه‌ای دانکن) در جدول (۱) نشان داد که بین ایستگاه‌های میدان جهاد، میدان آرامگاه بوعلی سینا، میدان شریعتی و میدان سپاه و نیز بین ایستگاه‌های میدان آرامگاه بوعلی سینا و میدان امام از نظر میانگین غلظت عنصر آهن اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. علاوه بر این، بین ایستگاه‌های میدان بعثت، میدان جهاد، میدان آرامگاه بوعلی سینا، میدان امام و میدان شریعتی از نظر میانگین غلظت عنصر سرب اختلاف معنی‌دار آماری وجود نداشته است. از طرفی، بین هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها

فعالیت‌های صنعتی و معدنی طی ۳ دهه در این جزیره مرتبط دانست.

در این پژوهش عنصر آهن از بیش‌ترین میانگین غلظت در مقایسه با سایر عناصر برخوردار بوده است. در همخوانی با نتایج پژوهش حاضر تعیین غلظت فلزات سنگین آهن، سرب و کادمیوم در نزولات جوی مرکز شهر تهران نشان داد که بیشینه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها مربوط به آهن و به حضور ذرات انتشار یافته از پوسته زمین در نزولات مرتبط بوده است (۱۱). علاوه بر این، Heimburger و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه حلالیت آهن و سایر فلزات سنگین در آب باران جمع-آوری شده از جزیره Kerguelen در حوزه جنوبی اقیانوس هند نتیجه گرفتند که بیشینه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها مربوط به آهن بوده است (۳۸). در سایر پژوهش‌های مرتبط Koulousaris و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی عناصر آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌های باران جمع‌آوری شده از جزیره Lesvos واقع در حوزه شمالی دریای اژه نتیجه گرفتند که بیشینه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها پس از آلومینیوم، مربوط به عنصر آهن بوده است که از منبع طبیعی (طوفان گردوغبار) نشأت گرفته است (۱۸). Schrems و Helmers (۱۹۹۵) نیز پس از بررسی آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌های باران جمع‌آوری شده از حوزه‌های شمالی و جنوبی اقیانوس اطلس نتیجه گرفتند که بیشینه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها مربوط به آهن بوده است (۳۹). بعلاوه، Ross (۱۹۸۷) پس از بررسی آهن، سرب و کادمیوم در نمونه‌های باران جمع-آوری شده از سوئد نتیجه گرفت که بیشینه میانگین غلظت عناصر در نمونه‌ها مربوط به آهن بوده است (۴۰).

نتایج نشان داد که محتوی عناصر سرب و به‌ویژه کادمیوم در نزولات جوی مناطق پرتراфик شهر همدان و به‌تبع آن در رواناب حاصل از آن بالا بوده است. از این‌رو، برای جلوگیری از تهدید منابع پذیرنده آب سطحی و زیرزمینی و حفظ سلامت مصرف‌کنندگان، اندیشیدن تمهیداتی برای جمع‌آوری و تصفیه رواناب ناشی از نزولات جوی توصیه می‌شود.

دامنه تغییرات غلظت عنصر آهن در نمونه‌های مورد مطالعه از ۰/۱ تا ۴۰۷ میکروگرم در لیتر متغیر بوده است. این موضوع را می‌توان با فعل و انفعالات کنترل‌کننده حلالیت آهن در جو بین ایستگاه‌های مختلف همچون واکنش‌های فتوشیمیایی، کمپلکس‌های آلی، روند تشکیل ابر، کانی‌شناسی منابع گردوغبار، نسبت فاکتور غنی‌شدگی به فراوانی طبیعی عنصر در پوسته زمین و نظایر آن مرتبط دانست (۳۵-۳۲).

سرب به‌طور طبیعی در محیط‌زیست وجود دارد ولی در بیش‌تر موارد حاصل فعالیت‌های بشری از قبیل کاربرد طی فرآیند تولید بنزین است. نمک‌های سرب از راه آگروز اتومبیل‌ها وارد محیط‌زیست شده و خاک، آب و هوا را آلوده می‌کند (۵). با توجه به این‌که سرب از مهم‌ترین و از نظر غلظت بیش‌ترین فلز سنگین به‌جامانده از حمل و نقل شهری است، پس غلظت بالای آن در نمونه‌های ایستگاه چهارراه میدان بار را می‌توان با تردد بالای وسایل نقلیه موتوری در این منطقه و به‌تبع آن انتشار سرب در جو مرتبط دانست.

نتایج نشان داد که میانگین غلظت کادمیوم در نمونه‌های نزولات جوی همه ایستگاه‌ها بیش‌تر از رهنمود WHO بوده است. این موضوع را می‌توان با حجم بالای ترافیک شهری و به‌تبع آن میزان بالای احتراق سوخت‌های فسیلی و استهلاک لنت ترمز وسایل نقلیه (۳۶ و ۳۷) و نیز ساختار زمین‌شناسی و شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه مرتبط دانست. بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی بیان‌گر آن است که ساختار زمین-شناسی منطقه مورد مطالعه عمدتاً از سنگ‌های آهکی، اسلیتی و رسوبات دانه‌ریز تشکیل شده است که باعث ورود ذرات حاوی کادمیوم به جو و در نتیجه انحلال و تجمع این آلاینده در نزولات جوی می‌شود. در پژوهشی مشابه، Sakai و همکاران (۱۹۸۵) پس از بررسی برخی فلزات سنگین در نمونه‌های برف جمع‌آوری شده از شهر هوکایدو ژاپن به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت کادمیوم برابر با ۰/۱۳ میکروگرم در لیتر و بسیار کم‌تر از مقادیر به‌دست آمده در این پژوهش بوده است (۲۳) که این موضوع را می‌توان با مدیریت منابع انسان‌ساخت ورود فلزات سنگین به محیط همچون تردد وسایل نقلیه و

- concentration of some heavy metals in ground water resources of Qahavand Plain-Hamedan, Journal of Kermanshah University of Medical Sciences, 18(6): 339-348 (In Persian).
9. Sobhanardakani, S., Tayebi, L., Hosseini, S.V. 2018. Health risk assessment of arsenic and heavy metals (Cd, Cu, Co, Pb, and Sn) through consumption of Caviar of *Acipenser persicus* from Southern Caspian Sea, Environmental Science and Pollution Research, 25(3): 2664-2671.
 10. Sobhanardakani, S., Maànijou, M., Asadi, H. 2015. Investigation of Pb, Cd, Cu and Mg concentrations in groundwater resources of Razan Plain, Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences, 21(4): 319-329 (In Persian).
 11. Kamani, H., Mahvi, A.H., Hosseini, M., Ansari, H. 2013. Determination of heavy metals content in atmospheric precipitation of city of Tehran and their source identification using Factor Analysis, 16th the National Conference on Environmental Health, Tabriz University of Medical Sciences, 12 p (In Persian).
 12. Kashulina, G., de Caritat, P., Reimann, C. 2014. Snow and rain chemistry around the "Severonikel" industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis, Atmospheric Environment, 89: 672-682.
 13. Siudek, P., Falkowska, L., Frankowski, M., Siepak, J. 2014. An investigation of atmospheric mercury accumulated in the snow cover from the urbanized coastal zone of the Baltic Sea, Poland, Atmospheric Environment, 95: 10-19.
 14. Gichuki, S.W., Mason, R.P. 2013. Mercury and metals in South African precipitation, Atmospheric Environment, 79: 286-298.
- ### References
1. Sobhanardakani, S. 2018. Human health risk assessment of potentially toxic heavy metals in the atmospheric dust of city of Hamedan, west of Iran, Environmental Science and Pollution Research, 25(28): 28086-28093.
 2. Sobhanardakani, S. 2019. Ecological and human health risk assessment of heavy metals content of atmospheric dry deposition, a case study: Kermanshah, Iran, Biological Trace Element Research, 187(2): 602-610.
 3. Mohammad Moradi, B., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M. 2018. Ecological risk of heavy metals in surface soils of urban parks, Iranian Journal of Health and Environment, 10(4), 429-442 (In Persian).
 4. Shokri Ragheb, P., Sobhanardakani, S. 2016. Analysis of Co, Cr and Mn concentrations in atmospheric dry deposition in Hamadan City, Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences, 23(2): 149-156 (In Persian).
 5. Sabzevari, E., Sobhanardakani, S. 2018. Analysis of selected heavy metals in indoor dust collected from city of Khorramabad, Iran: A case study, Jundishapur Journal of Health Sciences, 10 (3): e67382.
 6. Islam, E., Yang, X., He, Z., Mahmood, Q. 2007. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops, Journal of Zhejiang University SCIENCE B, 8(1): 1-13.
 7. Sobhanardakani, S., Hosseini, S.V., Tayebi, L. 2018. Heavy metals contamination of canned fish and related health implications in Iran, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 18(8): 951-957.
 8. Sobhan Ardakani, S., Razban, S.S., Maànijou M. 2014. Evaluation of

- Three-year determination of trace metals and the lead isotope ratio in rain and snow depositions collected in Higashi-Hiroshima, Japan, *Atmospheric Environment*, 34: 4525-4535.
22. Gregurek, D., Reimann, C., Stumpfl, E.F. 1988. Trace elements and precious metals in snow samples from the immediate vicinity of nickel processing plants, Kola Peninsula, northwest Russia, *Environmental Pollution*, 102: 221-232.
23. Sakai, H., Sasaki, T., Saito, K. 1985. The presence of heavy metals in urban snow, *Environmental Science*, 8(2): 141-149.
24. Arellano, L., Grimalt, J.O., Fernández, P., Lopez, J.F., Nickus, U., Thies, H. 2014. Persistent organic pollutant accumulation in seasonal snow along an altitudinal gradient in the Tyrolean Alps, *Environmental Science and Pollution Research*, 21(22): 12638-12650.
25. Vieira, R., Fernandes, J.N., Barbosa, A.E. 2013. Evaluation of the impacts of road runoff in a Mediterranean reservoir in Portugal, *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 7659-7673.
26. Eaton, A.D., Anni, M., Franson, H. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition. American Public Health Association, pp. 44-48.
27. Klimaszewska, K., Polkowska, Z., Namiesnik, J., 2007. Influence of mobile sources on pollution of runoff waters from roads with high traffic intensity, *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(6): 889-897.
15. Cereceda-Balic, F., Palomo-Marín, M.R., Bernalte, E., Vidal, V., Christie, J., Fadic, X., Guevara, J.L., Miro, C., Pinilla Gil, E. 2012. Impact of Santiago de Chile urban atmospheric pollution on anthropogenic trace elements enrichment in snow precipitation at Cerro Colorado, Central Andes, *Atmospheric Environment*, 47: 51-57.
16. Zuo, X.J., Fu, D.F., Li, H. 2012. Speciation distribution and mass balance of copper and zinc in urban rain, sediments, and road runoff, *Environmental Science and Pollution Research*, 19(9): 4042-4048.
17. Golubeva, N.I., Burtseva, L.V., Ginzburg, V.A.. 2010. Heavy metals in the atmospheric precipitation on the Barents Sea coast, *Russian Meteorology and Hydrology*, 35(5): 333-340.
18. Koulousaris, M., Aloupi, M., Angelidis, M.O. 2009. Total metal concentrations in atmospheric precipitation from the Northern Aegean Sea, *Water, Air, & Soil Pollution*, 201: 389-403.
19. Nakano, T., Morohashi, S., Yasuda, H., Sakai, M., Aizawa, Sh., Shichi, K., Morisawa, T., Takahashi, M., Sanada, M., Matsuura, Y., Sakai, H., Akama, A., Okada, N. 2006. Determination of seasonal and regional variation in the provenance of dissolved cations in rain in Japan based on Sr and Pb isotopes, *Atmospheric Environment*, 40: 7409-7420.
20. Lawson, N.M., Mason, R.P. 2001. Concentration of mercury, methylmercury, cadmium, lead, arsenic, and selenium in the rain and stream water of two contrasting watersheds in western Maryland, *Water Research*, 35(17): 4039-4052.
21. Takeda, K., Marumoto, K., Minamikawa, T., Sakugawa, H., Fujiwara, K. 2000.

- and anthropogenic aerosol particulate matter, *Chemosphere*, 58: 195-203.
35. Paris, R., Desboeufs, K.V., Journet, E. 2011. Variability of dust iron solubility in atmospheric waters: investigation of the role of oxalate organic complexation, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 45: 5510-5517.
 36. McKenzie, E.R., Money, J.E., Green, P.G., Young, T.M. 2009. Metals associated with stormwater-relevant brake and tire samples, *Science of the Total Environment*, 407: 5855-5860.
 37. Farzan, M., Sobhanardakani, S. 2016. Analysis of Fe, Pb, and Cd content of surface runoff in regions with high traffic intensity in Hamedan, Iran, in 2014. *Journal of Health System Research*, 12(2): 208-213 (In Persian).
 38. Heimburger, A., Losno, R., Triquet, S. 2013. Solubility of iron and other trace elements in rainwater collected on the Kerguelen Islands (South Indian Ocean), *Biogeosciences*, 10: 6617-6628.
 40. Helmers, E., Schrems, O. 1995. Wet deposition of metals to the tropical north and the south Atlantic Ocean, *Atmospheric Environment*, 29(18): 2475-2484.
 41. Ross, H.B. 1987. Trace metals in precipitation in Sweden, *Water, Air, & Soil Pollution*, 36: 349-363.
 28. Wang, Y.J., Chen, C.F., Lin, J.Y. 2013. The measurement of dry deposition and surface runoff to quantify urban road pollution in Taipei, Taiwan, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(10): 5130-5145.
 29. World Health Organization (WHO). 2011. *Guidelines for Drinking-water Quality*, Fourth Edition, Geneva, p. 564.
 30. Presidency Islamic Republic of Iran: Planning and Budget Organization. 2000. Environmental criteria for the reuse of returned waters (wastewaters) and effluents, *Journal Number 535*, pp 155.
 31. Habashi, F. 2013. Iron, Physical and Chemical Properties. In: Kretsinger R.H., Uversky V.N., Permyakov E.A. (eds) *Encyclopedia of Metalloproteins*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1533-6_417.
 32. Robert, J., Kieber, R.J., Willey, J.D., Avery Jr, G.B. 2003. Temporal variability of rainwater iron speciation at the Bermuda Atlantic Time Series Station, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C8): 3277.
 33. Chen, Y., Siefert, R.L. 2004. Seasonal and spatial distributions and dry deposition fluxes of atmospheric total and labile iron over the tropical and subtropical North Atlantic Ocean, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109: D09305.
 34. Desboeufs, K.V., Sofikitis, A., Losno, R., Colin, J.L., Ausset, P. 2004. Dissolution and solubility of trace metals from natural