



بررسی تغییرات کمی، سنجه‌های آلودگی و توزیع غلظت فلزهای سنگین Pb و Cd در غبار ریزشی (مطالعه موردی: شهر زاهدان)

سارا عبداللهی^{۱*}، حمیدرضا عظیم‌زاده^۱، محمدرضا اختصاصی^۲ و اصغر مصلح‌آرانی^۱

^۱ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
^۲ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵

عبداللهی، س.، ح.ر. عظیم‌زاده، م.ر. اختصاصی و ا. مصلح‌آرانی. ۱۴۰۰. بررسی تغییرات کمی، سنجه‌های آلودگی و توزیع غلظت فلزهای سنگین Pb و Cd در غبار ریزشی (مطالعه موردی: شهر زاهدان). فصلنامه علوم محیطی. ۱(۱): ۱-۱۸.

سابقه و هدف: گردوغبار یکی از پدیده‌های جوی و بلایای طبیعی شناخته شده است که آثار و پیامدهای محیط زیستی نامطلوبی بر جای می‌گذارد. به‌طورمعمول ذرات گردوغبار دارای قطر کمتر از ۱۰۰ میکرون هستند که پس از کیلومترها انتقال افقی یا عمودی به سطح زمین می‌رسند. هدف از این پژوهش، بررسی میزان غبار ریزشی و غلظت فلزهای سنگین سرب و کادمیوم در نمونه‌های غبار به‌منظور بررسی آلودگی شهری به این عناصر می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه جمع‌آوری نمونه‌ها با استفاده از تله رسوبگیر تیل‌های به مدت شش ماه از دی ماه ۱۳۹۳ تا پایان خرداد ۱۳۹۴ انجام شد تا امکان مقایسه بین فصل‌تر (زمستان) و خشک (بهار) فراهم گردد. در مجموع ۱۸۰ نمونه غبارریزشی با استفاده از تله‌های تیل‌های MDCCO جمع‌آوری شد. نمونه‌ها با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن و نمونه‌ها به روش ISO11466 تجزیه و غلظت فلزهای سنگین توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل Analyti jena-350 اندازه‌گیری گردید.

نتایج و بحث: مقادیر تجمعی غبار ریزشی برای زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴ به ترتیب $7/77 \pm 5/85$ گرم بر مترمربع و $5/28 \pm 1/31$ گرم بر مترمربع است. بیشترین مقدار غبار در ماه اسفند ($5/69 \pm 5/11$ گرم بر مترمربع) و کمترین آن مربوط به بهمن ($1/31 \pm 0/65$) است که اختلاف زیادی با دی‌ماه ($1/33 \pm 0/34$ گرم بر مترمربع) ندارد. میانگین غلظت سرب در فصل زمستان $97/5 \pm 32/40$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در فصل بهار $90/5 \pm 16/93$ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. همچنین میانگین غلظت کادمیوم در فصل زمستان $37/3 \pm 19/60$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در فصل بهار $29/2 \pm 62/42$ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بر اساس سنجه آلودگی (PI) میزان آلودگی سرب در طبقه آلودگی متوسط و کادمیوم در کلاس زیاد قرار دارد. به عبارت دیگر، سنجه آلودگی کادمیوم در هر دو فصل نمونه‌برداری بیشتر از آلودگی سرب و بالاتر از حد مجاز آن می‌باشد. سنجه ریسک اکولوژیک تجمعی سرب و کادمیوم به ترتیب با میانگین ۵۶۴ و ۴۵۰ برای زمستان ۱۳۹۳ و تابستان ۱۳۹۴ به‌دست آمده است. سنجه درجه آلودگی نیز به ترتیب خیلی زیاد و زیاد برای زمستان و بهار و سنجه بار آلودگی برآوردی قابل ملاحظه از آلودگی را نشان می‌دهد.

* Corresponding Author: Email Address. S.abdollahi1027@yazd.ac.ir
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.29142>

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از غبار ریزشی به دلیل وجود زمین‌های حساس به بادبردگی بویژه در بخش‌های جنوبی، غربی و شمال‌غرب و آنالیز جهت باد نشان از منشاء خارجی غالب بر آن دارد. افزایش نسبی آلاینده‌های سرب و کادمیوم در فصل زمستان نسبت به بهار نیز بیان کننده تأثیر سوخت‌های فسیلی به کار رفته برای گرمایش در فصل زمستان است. آلودگی کادمیوم بسیار بیشتر از سرب است و به دلیل ضریب بیشتر ریسک اکولوژیک نیاز به دقت و توجه بیشتر را می‌طلبد.

واژه‌های کلیدی: ریسک اکولوژیک، فلزهای سنگین، سنجه زمین انباشت، آلودگی.

مقدمه

میان آلودگی‌های محیط زیستی، گردوغبار به عنوان یکی از مهمترین شکل‌های آلودگی‌های جوی در ابعاد مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته است. این پدیده یکی از بلاای جوی- اقلیمی است که وقوع آن سبب وارد شدن خسارت‌هایی در زمینه محیط زیستی می‌شود (Rasouli *et al.*, 2010) و نقش مهمی در انتقال آلاینده‌ها بویژه فلزهای سنگین بر عهده دارد (Csavina *et al.*, 2012). غبار ریزشی نیز غباری است که از جو بر سطح زمین سقوط می‌کند، با مطالعه آن می‌توان به‌طور غیر مستقیم آلودگی کل ذرات معلق را بررسی کرد (Nimrooz and Moafpourian, 2012). امروزه برای اندازه‌گیری غبار ریزشی دو روش نظری و اندازه‌گیری آزمایشگاهی وجود دارد. در روش آزمایشگاهی از تله‌های رسوبگیر برای جمع‌آوری غبارهای افقی و عمودی استفاده می‌شود. مقایسه تله‌های افقی و عمودی نشان می‌دهد که تله رسوبگیر تیله‌ای برای جمع‌آوری ذرات غبار ریزشی بیشترین راندمان را دارد (Sow *et al.*, 2006). تله رسوبگیر تیله‌ای توسط Ganor (1975) طراحی شد و استفاده از آن در بسیاری از تحقیق‌ها رایج می‌باشد. این رسوبگیر متشکل از یک ظرف پلاستیکی و یک یا دو ردیف گوی شیشه‌ای است که قابل نصب روی زمین و یا به‌صورت متصل به یک پایه عمودی می‌باشد. ظرف پلاستیکی مورد استفاده انواع مختلف دارد که از میان آن‌ها ظروف دایره‌ای شکل بهتر از انواع مستطیلی می‌باشد، زیرا تأثیرهای جهت باد روی ظروف مستطیل شکل، نمود بیشتری دارد. قطر تیله‌های مورد استفاده ۱/۶ سانتی‌متر است (Jia and Huang, 2008) در سال‌های اخیر، توسعه صنعتی و کشاورزی در

خاک از مهمترین ترکیب‌های محیط زیست است و افزون بر این که تأمین کننده مواد غذایی است، خاصیت تصفیه-کنندگی نیز دارد. آلودگی خاک از عامل‌های مهم در به-هم‌زدن تعادل و توازن طبیعت است. مهمترین آلاینده‌های خاک شهری عبارتند از فلزهای سنگین، بارش‌های اسیدی و مواد آلی، که از میان آن‌ها، فلزهای سنگین و برخی شبه فلزها مانند آرسنیک به دلیل ویژگی‌های غیرقابل تجزیه بودن، سمی بودن، اثرهای تجمعی و سرطانزایی مورد توجه هستند (Davtalabnezam *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2016). افزون بر این فلزهای سنگین در خاک از طریق بلع، تماس با پوست و استنشاق ذرات گرد و غبار به انسان منتقل می‌شوند (Yuswir *et al.*, 2015). قرارگرفتن در معرض فلزهای سنگین به عنوان خطرات مطرح بهداشتی به سیستم عصبی و آنزیم‌ها می‌تواند سبب بیماری‌های قلبی و اختلالات بارداری و سرطان شود (Kamani *et al.*, 2015). از دیگر مسئله‌های محیط زیستی مطرح در تهدید سلامت خاک، فرسایش، کاهش ماده آلی و تنوع زیستی، آلودگی، شوری خاک و رانش زمین می‌باشد. در دهه‌های اخیر با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن جوامع، نگرانی قابل ملاحظه‌ای در مورد آلودگی خاک‌های شهری توسط فلزهای سنگین وجود دارد. نگرانی عمده در مورد فلزهای سنگین به دلیل منابع گسترده انتشار آن‌ها، سمیت و پایداری آن‌ها است. در ایران نیز، آلودگی خاک یکی از تهدیدها محسوب می‌شود. اگر چه میزان خطر آلودگی خاک کمتر از دیگر آلودگی‌ها نیست، اما از آنجایی که این آلودگی ملموس نیست کمتر به آن توجه شده است (Islam *et al.*, 2015) و (Ravankhah *et al.*, 2015) در

به این نتیجه رسیدند که دما، رطوبت و سرعت باد در غلظت غبار تأثیر زیادی ندارد ولی بین بارش و غلظت غبار ارتباط معنی‌داری وجود دارد. Bermudez *et al.* (2012) طی مطالعه‌ای در استان کوردوبا در آرژانتین مرکزی به بررسی میانگین غلظت و نرخ رسوب فلزهای سنگین و عنصرهای کمیاب در غبار ریزشی و همچنین مطالعه ارتباط آن با خاک سطحی و میزان این عنصرها در دانه‌های گندم پرداختند و منشأ آن‌ها را مشخص کردند. Rezaee *et al.* (2010) اثر آلودگی فلزهای سنگین آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، سرب و روی در دریای چین را با سنجه درجه آلودگی اصلاح شده بررسی کردند. نتایج نشان داد که در ساحل شرقی این دریا آلودگی بسیار کم است. از دیگر مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعات Khodakarami *et al.* (2013), Esmaili *et al.* (2013), karimi nezhad *et al.* (2015) اشاره کرد. از این رو لازم است از مجموعه روش‌های مختلف کمی و کیفی ارزیابی آلودگی خاک به‌همراه روش‌های پهنه‌بندی به‌طور همزمان استفاده شود تا درک بهتری از وسعت آلودگی به دست آید. با توجه به اهمیت افزایش فلزهای سنگین در خاک، این پژوهش با هدف ارزیابی آلودگی فلزهای کادمیوم و سرب با استفاده از سنجه-های زمین انباشتگی، سنجه آلودگی، ریسک اکولوژیک، سنجه خطر بالقوه محیط زیستی، درجه آلودگی اصلاح شده و سنجه بار آلودگی و تهیه نقشه پهنه‌بندی سنجه آلودگی با استفاده از زمین آمار در غبار ریزشی شهر زاهدان انجام شده است. هدف‌های این مطالعه شامل تعیین مقدار عنصرهای سنگین سرب و کادمیوم در نمونه‌های غبار ریزشی، تعیین توزیع غبار ریزشی و فلزهای سنگین با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و محاسبه سنجه آلودگی، سنجه زمین انباشتگی و ریسک اکولوژیک فلزهای سنگین است.

ایران رشد فزاینده‌ای داشته است، از این رو محققان مختلف به دنبال رصد آلودگی در محیط بوده‌اند. در بسیاری از استان‌های کشور، تحقیق‌هایی که بتوانند وضعیت پراکنش آلودگی را به صورت نقشه‌های کاربردی بیان کند، بسیار محدود انجام گرفته است. Sistani *et al.* (2017) در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی فلزهای سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان: ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی پرداختند. نتایج نشان داد غلظت سرب و کادمیم بیشتر تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد بوده و غلظت دیگر عناصر شامل روی، آهن، نیکل و کروم تحت تأثیر منابع طبیعی و انسانی است. Davtalabnezam *et al.* (2016) به مطالعه آلودگی، منشأ و ارزیابی ریسک سلامت عناصر بالقوه سمناک در خاک پارک شهر و پارک لاله شهر تهران پرداختند. نتایج حاصل از EF و I_{geo} نشان داد که حدود ۵۷ درصد از نمونه‌ها نسبت به عناصر کادمیم، کروم، مس، سرب و روی غنی شده‌اند، که نشان می‌دهد آلودگی فلزهای سنگین در خاک دو پارک شهر و لاله منشأ انسان‌زاد دارند. Li *et al.* (2013) آلودگی ۸ فلز سنگین را در یک شهرک صنعتی قدیمی در شمال چین مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌ها نشان داد، غلظت سرب، کادمیوم و مس فراتر از میزان پس زمینه مورد مطالعه است. غلظت بالای این فلزها به‌همراه فلزهای روی و جیوه در این مطالعه ناشی از فعالیت‌های انسانی در نظر گرفته شد. Dai *et al.* (2015) در مطالعه‌ای به تعیین و شناسایی منشأ فلزهای سنگین در ذرات $PM_{2.5}$ و PM_{10} در یک منطقه صنعتی مجتمع فولاد و آهن و مقایسه آن با نقاط پس زمینه پرداختند. در این مطالعه مشخص شد که آهن به همراه کروم و منگنز، فلزهای عمده و نشانگر، در انتشارات ناشی از عملیات تولیدی فولاد هستند. Malakootian *et al.* (2013) غبار ریزشی شهر کرمان را از نظر تغییرات مکانی، زمانی و پارامترهای هواشناسی آنالیز کردند و

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

زاهدان به‌عنوان مرکز استان سیستان و بلوچستان و در محدوده جنوب شرق کشور با مساحت ۷۸ کیلومترمربع و در فاصله ۱۴۹۴ کیلومتری جنوب شرق تهران واقع شده است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۳۸۵ متر بوده و بین طول‌های جغرافیایی ۶۰۵۱۲۵ طول شرقی و ۲۹۳۰۴۵ عرض شمالی قرار دارد. استان سیستان و بلوچستان از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی در ناحیه اقلیمی بیابانی و خشک می‌باشد. در وضعیت هواشناسی این منطقه، بادهای شدید موسمی، طوفان شن، رگبارهای سیل‌آسا، رطوبت زیاد و مه صبحگاهی پدیده‌ای قابل توجه است. این استان، تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های کوتاه دارد. میزان نزولات در منطقه‌های مختلف به‌طورمعمول بین ۷۰-۱۳۰ میلی‌متر می‌باشد. حداقل درجه حرارت زمستان در زاهدان به‌طور معمول ۷-۸ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و هر چند سال یکبار تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد نیز نزول می‌کند. نوسانات رطوبت و وجود بادهای موسمی همچون بادهای معروف به صد و بیست روزه و باد هفتم یا گاوکش و ریزش جوی و اختلاف دما در ۲۴ ساعت به استثنای نواحی معتدل سواحل دریای عمان، شرایط

خاص اقلیمی را به‌وجود آورده است. شهر زاهدان از بخش‌های جنوبی و غربی در مجاورت مناطق مستعد فرسایش بادی و گردوغبار قرار دارد. از سوی دیگر شدیدترین بادهای دارای آزیموت ۲۱۰ تا ۳۶۰ درجه است که مناطق جنوب - غرب تا غربی و شمال شهر را تحت تأثیر بیشتری قرار می‌دهد (Azimzadeh, 2016).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

برای تعیین نقاط نمونه‌برداری از روش سیستماتیک طبقه‌بندی تصادفی استفاده شد. بدین ترتیب ۳۰ ایستگاه در سطح شهر انتخاب شد (شکل ۱). برای جمع‌آوری نمونه غبار از تله رسوبگیر تیل‌های استفاده شد. این نمونه‌بردار در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح پشت‌بام قرار گرفت. نمونه‌برداری به مدت ۶ ماه از دی ماه ۱۳۹۳ تا پایان خرداد ۱۳۹۴ به طول انجامید و در مجموع ۱۸۰ نمونه جمع‌آوری شد. نمونه‌ها با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. تجزیه نمونه‌ها به روش ISO11466 انجام شد. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت فلزهای سنگین با استفاده از نیتریک اسید و هیدروکلریک اسید انجام شد. غلظت عناصر سنگین سرب و کادمیوم توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل Analytic jena- 350 اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری روی Google Earth
Fig. 1- Sampling locations shown on Google Earth

$$RI = \sum_{i=1}^n Er_i \quad \text{رابطه (۳)}$$

در معادله بالا، RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. این سنجه برای مجموعه‌ای از چند فلز یا عوامل مختلفی از آلودگی محاسبه می‌شود. Er نیز ریسک اکولوژیکی هر عنصر را نشان می‌دهد که طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Er_i = Tr \cdot PI_i \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه Tr عامل واکنش سمی برای فلزهای سنگین می‌باشد که به پیشنهاد هاکنسون به ترتیب برای سرب، کادمیوم، مس به ترتیب ۵، ۳۰، ۵ در نظر گرفته شده است. برای تحلیل مقادیر به دست آمده RI چهار گروه و برای Er پنج گروه مختلف تعریف می‌شود که در جدول (۲) مشاهده می‌شوند (Akbari et al., 2012; Sanai, 2014).

درجه آلودگی اصلاح شده^۴

Abraham (2005) با توجه به محدودیت‌های رابطه ارائه شده توسط Hakanson (1980) از جمله محدودیت تعداد موارد آنالیز شده تا حداکثر ۸ مورد، درجه آلودگی اصلاح شده را به شرح زیر معرفی نمود:

$$mCd = \sum_{i=1}^n PI_i / n \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه mCd درجه آلودگی تصحیح شده، PI_i ضریب آلودگی عنصر i و n تعداد عناصر تجزیه شده مورد بررسی می‌باشد (Salamatian, 2013; Sanai, 2014).

سنجه بار آلودگی^۵

سنجه بار آلودگی معیاری جهت تعیین بار آلودگی در خاک (غبار) به صورت تجمعی در هر نقطه است که بر اساس رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$PLI = \sqrt[n]{PI_1 \times PI_2 \times PI_3 \times \dots \times PI_n} \quad \text{رابطه (۶)}$$

بر این اساس n تعداد فلزهای مورد مطالعه و PI ضریب آلودگی محاسبه شده در رابطه (۲) است. PLI یک سنجه تجمعی مهم در بررسی میزان آلودگی در مناطق آلوده است که هر چه از عدد یک بالاتر باشد، مراتب آلودگی بیشتری نسبت به محل غیرآلوده را نشان می‌دهد. (Azimi-zadeh and Khademi, 2013)

محاسبه سنجه‌های آلودگی

در مطالعات محیط زیستی بویژه زمانی که توزیع ژئوشیمیایی عناصر در محیط، حاصل ترکیبی از عوامل انسانی و طبیعی باشد، باید روند تغییرات با استفاده از سنجه‌های آلودگی ارزیابی شود (Sanai, 2014).

سنجه زمین انباشت^۱

سنجه زمین انباشت (I_{geo}) یک فاکتور ژئوشیمیایی برای تعیین درجه آلودگی خاک و توصیف غلظت فلزها در هر منطقه است (Muller, 1969). این سنجه اولین بار توسط مولر پیشنهاد و اندیس مولر نام گرفت و بنابر رابطه زیر محاسبه می‌شود (Muller, 1979):

$$I_{geo} = \log_2 (C^n / 1.5Bn) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه Cn، غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه خاک یا رسوب، Bn غلظت همان عنصر در مقدار زمینه و ضریب ۱.۵ برای حذف تأثیر سنگ‌شناسی است (Ghrefat and Yusuf, 2006) و (Chen et al., 2007).

سنجه آلودگی^۲

برای تعیین آلودگی خاک به فلزهای سنگین از فاکتور آلودگی استفاده می‌شود. براساس این فاکتور مقدار فلزهای سنگین نسبت به مقدار طبیعی آن سنجیده می‌شود و میزان آلودگی خاک تعیین می‌گردد:

$$PI = C^n / Bn \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن Cn میزان غلظت فلز در هر نمونه و Bn مقدار زمینه این فلز در غبار می‌باشد (Gharibi, 2015).

سنجه خطر بالقوه محیط زیستی^۳ (RI)

در این پژوهش جهت بررسی اثرهای اکولوژیکی و محیط زیستی فلزهای سنگین، سنجه خطر بالقوه محیط زیستی (RI) نیز محاسبه شد. این روش توسط Hakanson (1980) معرفی شد و در مطالعات مربوط به خاک و غبار بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنجه مورد نظر بنابر معادله زیر محاسبه می‌شود (Akbari et al., 2012; Sanai, 2014).

تجزیه و تحلیل زمین آماری

علم زمین آماری یکی از ابزارهای قوی بررسی متغیرهاست. بررسی ساختار مکانی متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق طی دو مرحله انجام شد: مرحله اول، شناخت و مدل‌سازی الگوی مکانی متغیرهای مورد تحقیق از جمله غبار ریزشی (وزن در واحد سطح و ارتفاع غبار) و مرحله دوم تعیین مناسب‌ترین روش زمین آماری کمیت متغیر به روش کریجینگ معمولی و پهنه‌بندی آن. در مرحله اول پس از تهیه فایل اطلاعاتی از متغیرهای غبار ریزشی و تعیین حجم نمونه‌های غبار، سنجه‌های آمار کلاسیک داده‌های غبار مورد بررسی قرار گرفت و فایل ورودی نرم‌افزار Arc GIS 9.3 آماده شد. برای شناسایی مناطق آلوده به عناصر سنگین، نقشه توزیع مکانی غلظت عناصر

سنگین رسم شد. بدین منظور از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی در محیط نرم افزار Arc GIS 9.3 استفاده شد. پارامترهای آمار توصیفی شامل میانگین، بیشینه، کمینه، کشیدگی و چولگی غلظت کل فلزهای سنگین توسط نرم افزار SPSS V. 16 به دست آمد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف - اسمیرنوف بررسی شد.

نتایج و بحث

آمار کلاسیک غبار ریزشی

میانگین حسابی وزن غبار ریزشی جمع‌آوری شده در واحد سطح از ۳۰ ایستگاه نمونه‌برداری در ماه‌های دی تا خرداد در جدول زیر آمده است.

جدول ۱- آمار کلاسیک غبار ریزشی طی دوره نمونه برداری

Table 1. Classical statistics of deposition dust during the sampling period

غبار ریزشی در هر ماه (گرم بر متر مربع) Deposition dust (g.m ⁻²)						متغیر آماری Statistical variable
خرداد June	اردیبهشت May	فروردین April	اسفند March	بهمن Feb	دی January	
1.87	1.84	1.56	5.11	1.31	1.33	میانگین (g.m ⁻²) Mean
1.04	0.55	0.67	5.69	0.65	0.34	انحراف معیار Standard deviation
55.61	29.89	42.95	111.35	48.87	25.56	ضریب تغییرات CV (%)
1.00	1.00	1.03	1.01	1.01	1.00	Minimum
5.34	3.41	4.43	18.03	3.61	2.71	Maximum
1.01	2.98	1.47	3.12	2.29	0.34	چولگی Skewness
7.12	1.16	11.29	0.54	9.10	7.45	کشیدگی Kurtosis
0.00	0.28	0.10	0.00	0.00	0.38	K-S

و بهار در جدول (۲) و (۳) شرح داده شده است. نتایج آزمون تجزیه واریانس برای فصل زمستان جدول (۲)، نشان داد که بین ماه‌های مختلف اختلاف معنی‌دار وجود دارد (P-value = 0/000)، در حالیکه بین ایستگاه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P-value=0.8). نتایج آزمون تجزیه واریانس غبار ریزشی در فصل بهار

همانگونه که نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد میانگین وزن غبار ریزشی در بهمن ماه با مقدار ۱/۳۱ گرم بر مترمربع از دیگر ماه‌ها کمتر و در اسفند ماه با ۵/۱۱ گرم بر متر مربع از همه بیشتر است. به منظور بررسی اختلاف زمانی و مکانی مقدار غبار ریزشی از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد. نتایج این آزمون برای دو فصل زمستان

بین ماه‌های فصل بهار معنی دار نیست، ولی مقادیر آن بیشتر از دو ماه فصل مرطوب یعنی دی و بهمن است. بررسی نتایج میانگین سرعت باد در ماه اسفند نیز وزش بادهای با سرعت ۸/۸ نات را نشان داد در حالیکه سرعت باد در سایر ماه‌های مورد بررسی کمتر از این مقدار ثبت شده است (Azimzadeh, 2016).

جدول (۳)، نشان داد که اختلاف بین ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف در فصل بهار معنی دار نیست. بررسی نتایج نشان می‌دهد در ماه اسفند به دلیل ناپایداری بیشتر هوا و وزش بادهای اعتدالین (بهاره‌ای) مقدار بار رسوب ذرات غبار ریزشی نسبت به بقیه ماه‌های اندازه‌گیری شده، بیشتر است. از سوی دیگر با وجود اینکه اختلاف غبار ریزشی

جدول ۲- نتایج آزمون تجزیه واریانس غبار ریزشی بین ماه‌ها و مکان‌های نمونه‌برداری در فصل زمستان
Table 2. ANOVA test results of deposition dust between different months and locations in winter

معنی‌داری p-value	F	Sample point نقاط نمونه برداری			معنی‌داری p-value	F	Month ماه			منابع تغییر Change sources
		میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df			میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	
0.8 ^{ns}	0.75	11.41	331.01	29	0.000	13.09	144.01	288.02	2	ماه Month
		15.23	913.87	60			10.99	956.78	78	خطا Error
			1244.89	89				1244.89	89	کل Total

^{ns} عدم اختلاف معنی‌دار / No significant difference

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس غبار ریزشی بین ماه‌ها و مکان‌های نمونه‌برداری در فصل بهار
Table 3. ANOVA test results of deposition dust between different months and sampling points in winter

معنی‌داری p-value	F	Sample point نقاط نمونه برداری			معنی‌داری p-value	F	Month ماه			منابع تغییر Change sources
		میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df			میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	
0.62 ^{ns}	0.89	0.58	16.66	29	0.25 ^{ns}	1.38	0.85	1.71	2	ماه Month
		0.65	38.68	60			0.62	53.64	78	خطا Error
			55.34	89				55.34	89	کل Total

^{ns} عدم اختلاف معنی‌دار / No significant difference

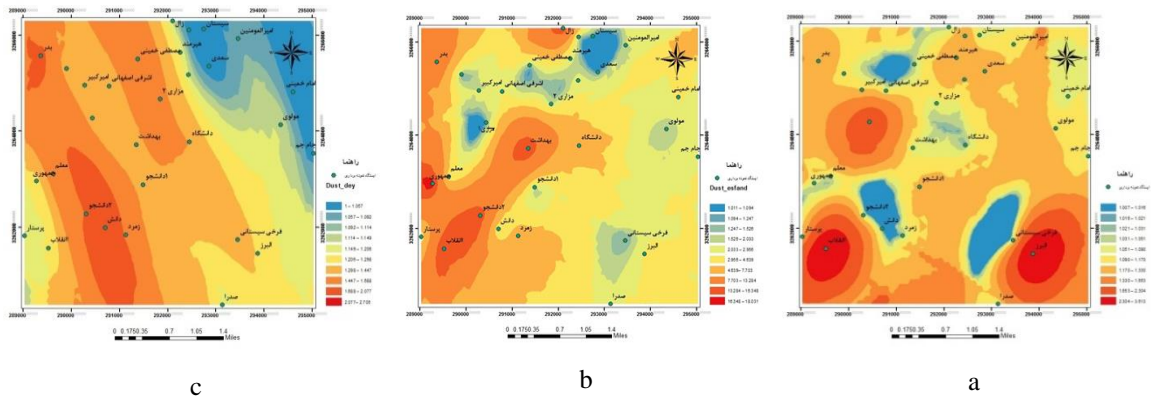
ماه با دامنه ۲/۳۰-۳/۶۱ گرم بر مترمربع به‌صورت لکه‌هایی در دو منطقه جنوب شرقی و جنوب غربی قابل مشاهده می‌باشد و توزیع غبار در اسفند ماه با دامنه ۷/۱۸-۷۰/۰۳ گرم بر مترمربع پهنه وسیع‌تری از شهر را در بر گرفته و از مناطق جنوبی شهر تا شمال غربی امتداد

پهنه‌بندی غبار ریزشی در ماه‌های مختلف فصل زمستان و بهار

با توجه به شکل (۲)، بیشترین غلظت غبار دی ماه در دامنه ۱/۶۸-۲/۰۷ گرم بر مترمربع به‌صورت نواری در مناطق غربی شهر قرار دارد. بیشترین غلظت غبار در بهمن

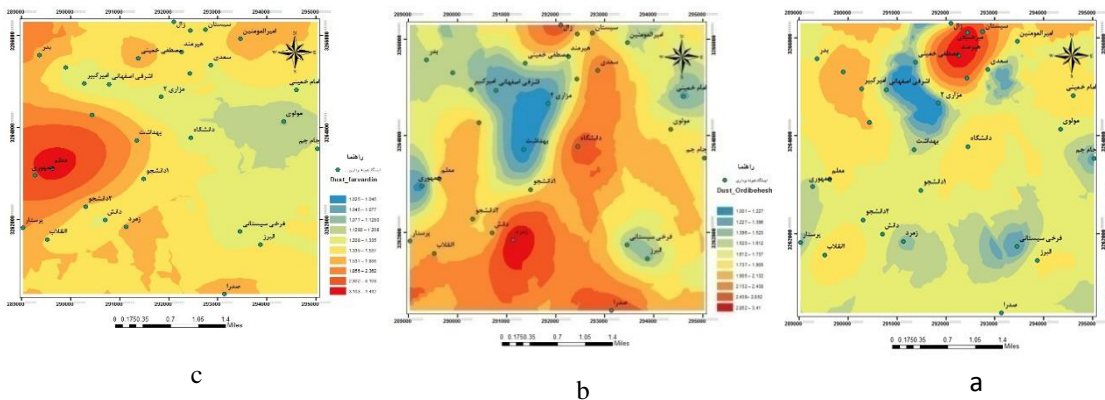
می‌یابد. نقشه‌های پهنه‌بندی توزیع مکانی غبار در فصل بهار، شکل (۳) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت غبار در فروردین، اردیبهشت و خرداد ماه به ترتیب با دامنه مربع به ترتیب در مناطق غربی، جنوب و شمال شهر واقع شده است.

تأثیر عوامل درون شهری غبار مانند ساختمان‌ها و فضای سبز می‌باشد. بررسی نقشه پهنه‌بندی غبار ریزشی در فصل زمستان شکل (۴) نشان داد که در قسمت عمده‌ای از شهر، مقدار غبار ریزشی در حد متوسط بوده و در فصل بهار مقدار غبار ریزشی در ایستگاه‌های معلم، هیرمند و میرحسینی بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها است و در ایستگاه‌های مزاری ۲، فرخی سیستانی و اشرفی اصفهانی مقدار غبار ریزشی کمتری اندازه‌گیری شده است (شکل ۴).



شکل ۲- نقشه کربجینگ توزیع مکانی غبار ریزشی در فصل زمستان (a دی (b بهمن (c اسفند

Fig. 2- Kriging map of the spatial distribution of dust falling in the winter; a) January b) February c) March



شکل ۳- نقشه کربجینگ توزیع مکانی غبار ریزشی در فصل بهار (a فروردین (b اردیبهشت (c خرداد

Fig. 3- Kriging map of the spatial distribution of dust falling in the spring; a) March b) April c) May

بررسی غلظت تجمعی غبار در دو فصل مورد مطالعه

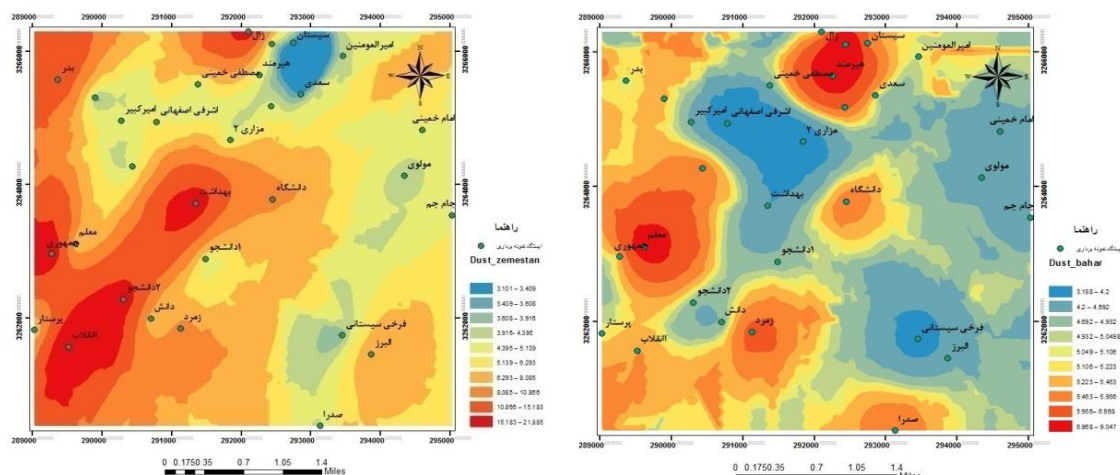
نتایج پهنه‌بندی غبار ریزشی در فصل زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴ نشان می‌دهد که کانون‌های تولید غبار در داخل شهر مربوط به محدوده شمال و غرب می‌باشد. همچنین بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی شهر در هر دو فصل اندازه‌گیری نشان می‌دهد که توزیع مکانی غبار ریزشی در فصل زمستان دارای الگوی منظم می‌باشد که این مطلب مؤید نقش منشأ برون شهری غبار ریزشی در فصل زمستان می‌باشد. از طرفی وجود بی‌نظمی در روند تغییرات مکانی توزیع غبار ریزشی در فصل بهار گویای

تأثیر عوامل درون شهری غبار مانند ساختمان‌ها و فضای سبز می‌باشد. بررسی نقشه پهنه‌بندی غبار ریزشی در فصل زمستان شکل (۴) نشان داد که در قسمت عمده‌ای از شهر، مقدار غبار ریزشی در حد متوسط بوده و در فصل بهار مقدار غبار ریزشی در ایستگاه‌های معلم، هیرمند و میرحسینی بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها است و در ایستگاه‌های مزاری ۲، فرخی سیستانی و اشرفی اصفهانی مقدار غبار ریزشی کمتری اندازه‌گیری شده است (شکل ۴).

بررسی مناطق حاشیه شهر زاهدان نشان می‌دهد، حساس‌ترین منطقه‌های مستعد فرسایش بادی در بخش‌های جنوبی و شرقی خارج از شهر واقع شده‌اند

جنوبی و غربی نسبت به بخش شرقی مؤید این نکته است. زبری سطح شهر و فضای سبز محدود موجود درون شهری عامل کاهش سرعت باد و به دام افتادن ذرات غبار به صورت ریزشی در بخش‌های مختلف و به صورت لکه‌ای است.

(Azimzadeh, 2016). همسان گردی جهت گردوغبار در امتداد جنوب غرب - شمال شرق نیز این موضوع را تأیید می‌کند. مطابق اطلاعات هواشناسی، جهت باد، شدیدترین بادها با آزیموت ۲۲۰ تا ۳۶۰ درجه تغییر می‌کند و افزایش مقادیر غبار ریزشی در محدوده‌های

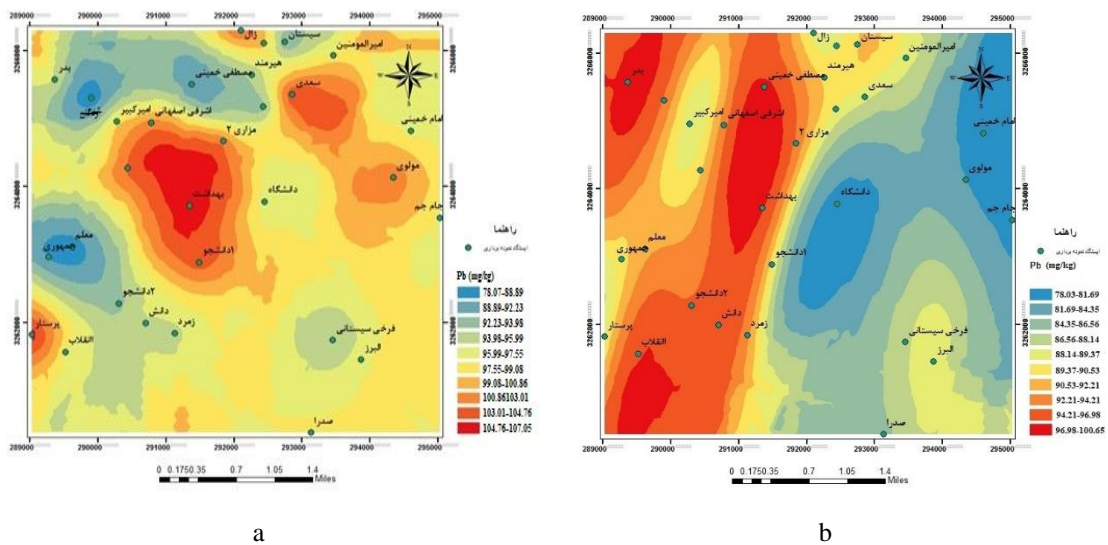


شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی غبار ریزشی (a زمستان ۱۳۹۳) (b بهار ۱۳۹۴)
 Fig. 4- Deposition dust distribution map a) winter 2014 b) spring 2015

(Salmanzadeh *et al.*, 2012)، اصفهان، ۲۳۳/۵ mg/kg (Mahmoudi and Khademi, 2013)، کرمان، mg/kg ۴۵/۳۰ (Jaafari, 2013) نشان می‌دهد غلظت سرب غبار شهر زاهدان از غلظت‌های عنوان شده برای تهران و اصفهان کمتر و از شهر کرمان بیشتر است. از سوی دیگر مقایسه غلظت‌ها با شهرهای کشورهای خارجی مانند کاپسری در ترکیه (Tokalioglu and Kartal, 2003) با غلظت ۱۶۵/۵ mg/kg و مادرید (اسپانیا) معادل ۱۹۲۷ mg/kg (De Miguel *et al.*, 1997)، بسیار کمتر است. در عین حال مطابق تحقیق های Niencheski *et al.* (2002) میانگین غلظت سرب در پوسته زمین ۱۴ mg/kg اعلام شده است. غلظت سرب را می‌توان نتیجه استفاده از سوخت‌های فسیلی به منظور گرمایش منازل و همچنین تردد وسایل نقلیه دانست.

بررسی مقادیر سرب غبار ریزشی زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴

جدول (۴) ویژگی‌های آماری سرب غبار ریزشی را در طول دوره نمونه‌برداری نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، بیشترین غلظت سرب در فصل زمستان به ترتیب در بهمن ماه ۷۵/۱۳±۲۴/۸۲ mg/kg و کمترین غلظت آن در دی‌ماه برابر با میانگین ۱/۷±۰۳/۶۶ mg/kg می‌باشد. از سوی دیگر، در فصل بهار، بیشترین غلظت فلز سرب در فروردین ماه با میانگین ۹۹/۱۱±۱۳/۷۴ mg/kg و کمترین غلظت در اردیبهشت ماه با میانگین ۸۵/۱۲±۱۰/۳۰ mg/kg می‌باشد. همچنین طبق محاسبات به عمل آمده میانگین غلظت سرب در زمستان و بهار به ترتیب ۹۷/۵±۳۲/۴۰ mg/kg و ۹۰/۵±۱۶/۹۳ mg/kg به دست آمد. مقایسه مقادیر با غبار شهر تهران، ۲۵۴/۴ mg/kg



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی سرب (a زمستان ۱۳۹۳ (b بهار ۱۳۹۴)
 Fig. 5- Lead concentration of deposition dust a) winter 2014 b) spring 2015

موضوع به خوبی در نقشه‌های مندرج در شکل ۵ مشخص است. مقادیر سرب غبار ریزشی در زمستان بیش از بهار ثبت شده است. منشاء این اختلاف را می‌توان به احتمال زیاد در سوخت‌های فسیلی گرمایش منازل در فصل زمستان و ادوات نقلیه شهری (طی دو فصل) قلمداد نمود.

جدول (۴) نتایج آزمون T-test جفتی بین مقادیر میانگین غلظت سرب غبار ریزشی در فصل زمستان و بهار را نشان می‌دهد. بنابر نتایج مندرج در جدول بین مقادیر سرب در غبار ریزشی فصل زمستان و بهار اختلاف معنی‌داری در ۳۰ نقطه نمونه‌برداری وجود دارد (P-value=0/000). این

جدول ۴- نتایج آزمون T-test جفتی فلز سرب در غبار ریزشی فصل زمستان و بهار
 Table 4. The results of paired sample T-test of lead in dust falling in winter and spring

P-value	درجه آزادی df	t	حد پایینی فاصله اطمینان Lower limit of confidence interval	حد بالایی فاصله اطمینان Upper limit of confidence interval	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	
0.000	29	4.48	3.88	10.40	8.72	7.14	Pb

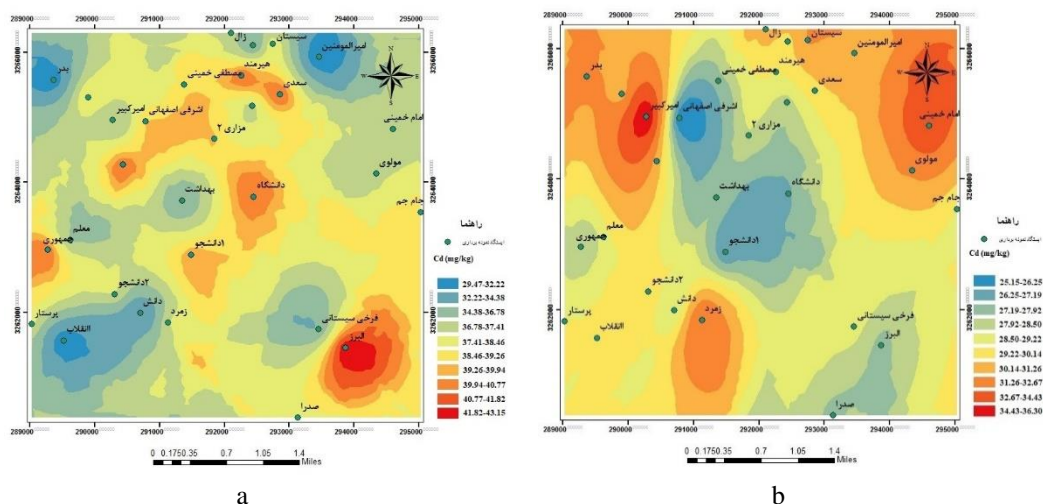
سوخت‌های فسیلی برای گرمایش منازل نسبت داد. نبود گازکشی شهر زاهدان و افزون بر آن، تردد وسایل نقلیه در کنار فعالیت شهرک‌های صنعتی حاشیه شهر نیز باید مورد توجه قرار گیرد. نتایج آنالیز فرآورده‌های سوختی نشان می‌دهد غلظت کادمیوم در بنزین سفید بین ۰/۵-۳۰ میکروگرم در کیلوگرم و در گازوئیل ۶/۴ میکروگرم بر کیلوگرم سوخت و برای بنزین معمولی ۱/۵ میکروگرم در کیلوگرم سوخت می‌باشد. البته در بنزین‌های با سوخت اکتان بالا مقدار کادمیوم کاهش یافته و در حد ۰/۳ میکروگرم بر کیلوگرم گزارش شده است

بررسی مقادیر کمی فلز کادمیوم در غبار ریزشی زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴
 آمار توصیفی فلز کادمیوم بین ماه‌های مختلف نشان می‌دهد، بیشترین غلظت فلز کادمیوم فصل زمستان مربوط به اسفند ماه با میانگین $81 \pm 0.07/10$ mgkg⁻¹ و کمترین غلظت در دی ماه با میانگین $42 \pm 0.12/2$ mgkg⁻¹ می‌باشد. همچنین بنابر نتایج آزمون کلموگراف اسمیرنوف p-value داده‌های فلز کادمیوم در ماه‌های مختلف فصل زمستان، دارای توزیع نرمال است. افزایش غلظت کادمیوم در زمستان را می‌توان به احتمال زیاد به استفاده از

شکل (۶) نشان از پراکنش آلودگی به صورت لکه‌ای در مناطق مسکونی و پرتردد دارد. مقادیر به دست آمده از کادمیوم در مقایسه با سایر شهرهای کشور، اعداد بالاتری است که با توجه به ریسک اکولوژیک بالای کادمیوم نیاز به بررسی بیشتر و دقیق‌تر در مورد این عنصر را در شهر زاهدان می‌طلبند.

بنابر نتایج آزمون T-test جفتی مندرج در جدول (۵) بین مقادیر کادمیوم در غبار ریزشی فصل زمستان و بهار اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P-value=0/000).

(Tokalioglu and Kartal, 2003). تله‌های رسوب‌گیر به کار رفته روی پشت‌بام منازل نصب گردیده و نزدیکی آن به منابع انتشار آلودگی خانگی در زمان انجام پژوهش از عوامل احتمالی افزایش غلظت آلاینده کادمیوم بوده است. بنابر نتایج آنالیز عناصر سنگین انواع سوخت‌های فسیلی همچنین بیشترین غلظت فلز کادمیوم فصل بهار در اردیبهشت ماه با میانگین $43/0 \pm 0/1/64 \text{ mg.kg}^{-1}$ و کمترین مقدار آن در فروردین ماه با میانگین $mg.kg^{-1} 8/1 \pm 14/38$ به دست آمد. میانگین غلظت کادمیوم در زمستان و بهار به ترتیب $37/3 \pm 19/60 \text{ mg.kg}^{-1}$ و



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی کادمیوم (a زمستان ۱۳۹۳) (b بهار ۱۳۹۴)
 Fig. 6- Distribution of Cd concentration in deposition dust a) winter 2014 b) spring 2015

جدول ۵- نتایج آزمون T-test جفتی فلز کادمیوم در غبار ریزشی فصل زمستان و بهار
 Table 5. The results of paired sample T-test of Cadmium in dust falling in winter and spring

P-value	درجه آزادی df	t	حد پایینی فاصله اطمینان Lower limit of confidence interval	حد بالایی فاصله اطمینان Upper limit of confidence interval	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean
0.00	29	8.48	5.748	9.40	4.89	7.57 Cd

بیشتر از آلودگی سرب و بالاتر از حد مجاز آن می‌باشد که سنجه ریسک اکولوژیک کادمیوم به ترتیب برای زمستان و بهار با میانگین $557/9$ و $444/3$ نیز مؤید این مطلب است و در طبقه آلودگی خطرناک قرار می‌گیرد. در مجموع سنجه‌ها در بهار ۱۳۹۴ بار آلودگی کمتر و ریسک اکولوژیک کمتری را نشان می‌دهد، هرچند ممکن است از لحاظ کلاس آلودگی یا خطر در طبقه پایین‌تری قرار نگیرد.

تعیین طبقه آلودگی و آمار توصیفی سنجه‌های آلودگی عناصر سرب و کادمیوم در فصل زمستان و بهار

در جدول (۶)، ویژگی‌های آماری سنجه‌های آلودگی عناصر سرب و کادمیوم در طی دوره نمونه‌برداری آورده شده است. براساس سنجه آلودگی (PI) آلودگی سرب در طبقه آلودگی متوسط قرار دارد، با این حال براساس این سنجه، آلودگی کادمیوم در هر دو فصل نمونه‌برداری

جدول ۶- آمار توصیفی سنجه‌های آلودگی غلظت تجمعی عناصر سرب و کادمیوم در فصل زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴

Table 6. Descriptive statistics of contamination indices of lead and cadmium (winter 2014 and spring 2015)

عناصر	سنجه آلودگی	میانگین	انحراف	ضریب	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف	ضریب	حداکثر	حداقل
Elements (mg. kg)	Pollution indices	Mean	Stdv.	CV (%)	Max	Min	Mean	Stdv.	CV (%)	Max	Min
		بهار ۱۳۹۴ Spring 2015					زمستان ۱۳۹۳ Winter 2014				
	سنجه آلودگی Pollution Index	1.21	0.06	5.55	1.33	1.08	1.12	0.07	6.57	1.25	0.97
سرب Pb	سنجه زمین انباشت Geoaccumulation Index	-0.30	0.08	-26.51	-0.16	-0.46	-0.42	0.101	-23.08	-0.25	-0.62
	ریسک اکولوژیک Ecological risk	6.08	0.33	5.55	6.69	5.44	5.63	0.37	6.57	6.29	4.87
	سنجه آلودگی Pollution Index	18.59	1.80	9.69	21.57	14.74	14.81	1.21	8.17	18.30	12.57
کادمیوم Cd	سنجه زمین انباشت Geoaccumulation Index	1.69	0.04	2.58	1.75	1.61	3.30	0.11	3.48	3.61	3.07
	ریسک اکولوژیک Ecological risk	557.9	54.07	9.69	647.30	442.20	444.3	36.33	8.17	549.2	377.3

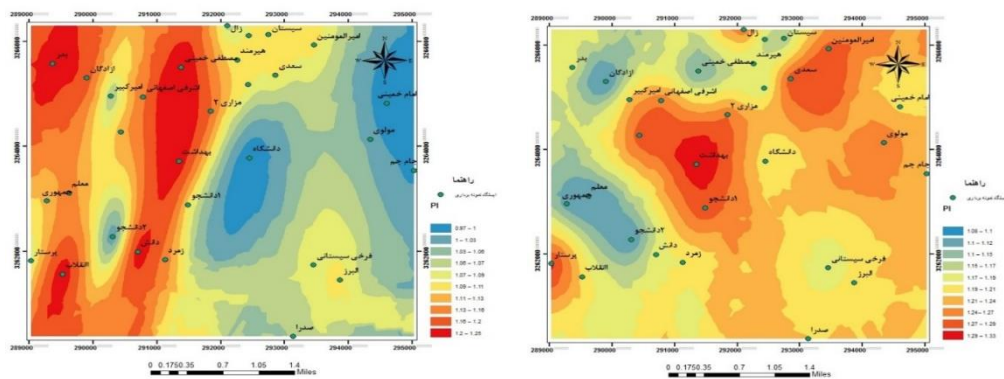
جدول ۷- میانگین سنجه‌های آلودگی و طبقه آلودگی عناصر در فصل زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹۴

Table 7. Mean of contaminants and contamination levels of the elements (winter 2014 and spring 2015)

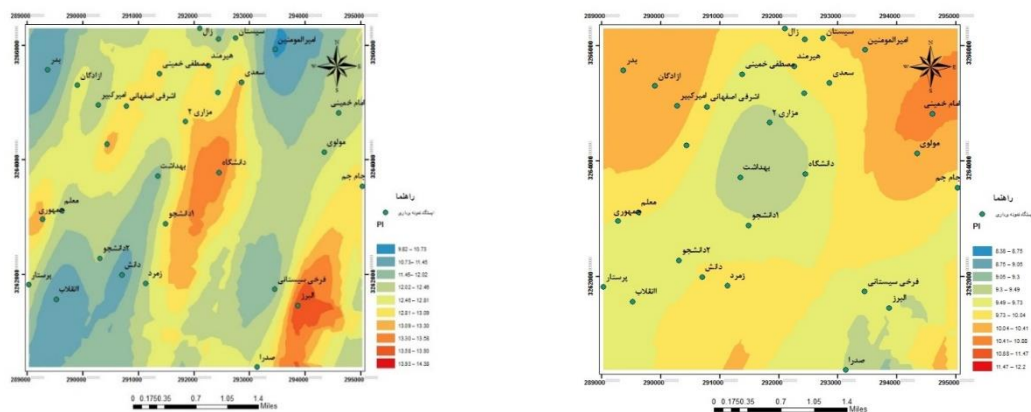
سنجه های منفرد Single indices	Pb	Cd	طبقه آلودگی Pollution class	Pb	Cd	طبقه آلودگی Pollution class	سنجه های منفرد Single indices
	بهار ۱۳۹۴ Spring 2015			زمستان ۱۳۹۳ Winter 2014			
سنجه آلودگی Pollution Index	1.21	18.59	متوسط Medium	1.12	14.81	زیاد High	سنجه آلودگی Pollution Index
سنجه زمین انباشت Geoaccumulation Index	-0.30	1.69	غیرآلوده None	-0.42	3.30	شدید High	سنجه زمین انباشت Geoaccumulation Index
ریسک اکولوژیک Ecological risk	6.08	557.9	کم Low	5.63	444.3	خطر خیلی زیاد Very high	ریسک اکولوژیک Ecological risk
سنجه‌های تجمعی Integrating indices	سرب و کادمیوم Pb and Cd			سرب و کادمیوم Pb and Cd			سنجه‌های تجمعی Integrating indices
سنجه خطر بالقوه محیط زیستی Potential environmental risk factors	564.08		زیاد High	449.9		زیاد High	سنجه خطر بالقوه محیط زیستی Potential environmental risk factors
درجه آلودگی اصلاح شده Modified contamination degree	9.91		خیلی زیاد Very high	7.97		زیاد High	درجه آلودگی اصلاح شده Modified contamination degree
آلودگی بار سنجه Pollution Load Index	4.75		قابل ملاحظه Considerable	4.08		قابل ملاحظه Considerable	آلودگی بار سنجه Pollution Load Index

آلودگی (PLI) این میزان بار آلودگی به صورت Cd_{winter} نظر این سنجه در طبقه با آلودگی قابل ملاحظه قرار می‌گیرد.

همچنین بر اساس جدول‌های (۶) و (۷) ریسک اکولوژیک فلز سرب در فصل زمستان با میانگین کل $۰/۳۳ \pm ۰/۰۸$ و در فصل بهار با میانگین کل $۰/۳۷ \pm ۰/۶۳$ در طبقه آلودگی کم قرار گرفته است. با توجه به مقادیر به دست آمده برای سنجه بار



شکل ۷- نقشه سنج آلودگی سرب (a زمستان ۱۳۹۳ (b بهار ۱۳۹۴
 Fig. 7 - Map of lead pollution index a) winter 2014 b) spring 2015



شکل ۸- نقشه سنج آلودگی کادمیوم (a زمستان ۱۳۹۳ (b بهار ۱۳۹۴
 Fig. 8- Map of cadmium pollution index a) winter 2014 b) spring 2015

بر غلظت عناصر سنگین Pb و Cd در غبار ریزشی سطح شهر زاهدان نشان داد که غلظت میانگین سرب بیشتر از کادمیوم است. مطابق نتایج غلظت سرب در غبار ریزشی فصل زمستان شهر زاهدان به ترتیب دی > اسفند > بهمن است و این ترتیب برای فصل بهار به صورت اردیبهشت > خرداد > فروردین می‌باشد. میانگین غلظت سرب در زمستان و بهار به ترتیب $97/5 \pm 32/4$ mg/kg و $91/5 \pm 32/4$ mg/kg و به دست آمد. مقایسه نتایج این بررسی با نتایج (Barsam et al. (2017) در شهر کرمان که غلظت سرب را $151/95 \pm 71/45$ mg.kg⁻¹ (زمستان ۱۳۹۵) و $95/15 \pm 14/84$ mg.kg⁻¹ اعلام نمود نشان می‌دهد، آلودگی سرب در غبار ریزشی شهر کرمان بیش از زاهدان است. در ادامه بررسی میانگین غلظت کادمیوم در زمستان و بهار به ترتیب

نتیجه گیری

بنابر آنچه در قسمت نتایج و بحث مطرح شد، شهر زاهدان در بستری از مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی و گردوغبار احاطه شده است. بخش‌های جنوبی و غربی تا شمال شهر زاهدان در اثر وجود بادهای با آذموت ۲۲۰ تا ۳۶۰ درجه بیشتر تحت تأثیر قرار دارد. مقایسه مقادیر گردوغبار ریزشی مبین ریزش ۱۲/۲۰ گرم بر مترمربع (معادل ۱۲۲ کیلوگرم گردوغبار بر سطح یک هکتار) شهر زاهدان طی فصل زمستان ۱۳۹۳ و ۱۴/۳۸ گرم بر مترمربع (معادل ۱۴۳/۸۰ کیلوگرم گردوغبار در سطح یک هکتار) و در طی بهار ۱۳۹۴ است. ارقام غبار ریزشی در مقایسه با نتایج (Barsam et al. (2017) که غبار ریزشی را در دو فصل زمستان ۱۳۹۴ معادل ۰/۴۹ گرم بر مترمربع و بهار ۱۳۹۵، ۱/۰۵ گرم بر مترمربع اندازه گیری کرد، بیشتر است. افزون بر آن، در این مطالعه تمرکز

(Hosseini *et al.*, 2015). در تحقیق حاضر، منشاء یابی مورد نظر نبوده است و تنها به اندازه‌گیری پارامترهای گردوغبار و مقادیر فلزهای سرب و کادمیوم و برآورد سنجه‌های آلودگی پرداخته شده است. بررسی سنجه‌های آلودگی منفرد نشان داد، مقایسه سنجه‌های آلودگی، آلودگی بیشتر کادمیوم را نسبت به سرب مشخص می‌کند. این آلودگی در فصل بهار ۱۳۹۴ کمتر از زمستان ۱۳۹۳ است. توجه به سنجه‌های تجمعی، آلودگی عناصر سنگین سرب و کادمیوم خیلی زیاد یا زیاد است و ریسک بالقوه اکولوژیک این عناصر نیز زیاد است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دفتر آلودگی آب و خاک سازمان حفاظت محیط‌زیست و مسئول آزمایشگاه آب و خاک دانشگاه یزد جهت مساعدت و همکاری در انجام این پروژه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

پی‌نوشت‌ها

¹Geoaccumulation Index

²Pollution Index

³Potential environmental risk factors

⁴modify Contamination Degree

⁵Pollution Load Index

Azimizadeh, H.R., 2016. The study of predicting wind erosion rate in wind erosion affected and critical areas of Iran. Part 12: Sistan and Balochestan province, Desert Affair Office.

Akbari, A., Azimizadeh, H.R. and Ekhtesasi, M.R., 2012. The study of quantitative of dust falls (case study: Behbahan – September and October 2011), first National Conference on the Desert, International Center for the Study of the Desert of Tehran University. 27 June 2012.

Azimi-zadeh, B. and Khademi, H., 2013. Estimation of background concentration for evaluation of pollution of some heavy metals in surface soils of Mazandaran province, Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology). 27, 548-559.

Barsam, Z. and Azimizadeh. H.R., 2017, Investigating

مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از بررسی‌های Barsam *et al.* (2017) در غبار ریزشی شهر کرمان در فصل زمستان $13/38 \pm 62/42 \text{ mg.kg}^{-1}$ و در فصل بهار $9/6 \pm 34/04 \text{ mg.kg}^{-1}$ نشان می‌دهد غلظت کادمیوم در زمستان در غبار ریزشی بیشتر و در بهار از زاهدان کمتر می‌باشد. مقایسه ارقام ریسک بالقوه اکولوژیک با غبار ناشی از کارخانه سیمان (Yadegarnia, 2019)، بیانگر کمتر بودن ریسک غبار ریزشی شهر زاهدان نسبت به غبار ریزشی حاشیه یک کارخانه سیمان است. از آنجا که خطر اکولوژیکی کادمیوم بیش از اغلب فلزهای سنگین است، مقادیر زیاد این عنصر در غبار ریزشی شهر زاهدان و حتی کرمان لازم است تا بیش از پیش در تحقیق‌های آینده مورد توجه قرار گیرد. بحث در مورد منشاء غبار یا عناصر سنگین محتوای رسوبات غبار ریزشی نیاز به طراحی سیستم نمونه‌برداری خاص و بهره‌گیری از روش‌هایی چون روش اثر انگشت و حد تشخیص دارد. بدین لحاظ افزون بر نمونه‌های موجود لازم است تا از منابعی که احتمال منشاء بودن آن‌ها در غبار ریزشی می‌رود، مانند رخساره‌های حساس به بادبردگی حاشیه شهر زاهدان نیز نمونه‌برداری نمود Esmaeilzadeh

منابع

the changes and determination of some physical and chemical properties of dust falling in Kerman, Master thesis, Yazd university, Yazd, Iran.

Bermudez, G.M.A., Jasan, R. and Pla, R.A., 2012. Heavy metals and trace elements in atmospheric fall-out: Their relationship with topsoil and wheat element composition. Journal of Hazardous Materials. 213-214, 447-456.

Chen, C.W., Kao, C.M., Chen, C.F. and Dong, C. D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. Chemosphere. 66, 1431-1440.

Csavina, J., Field, J. and Taylor, M.P., 2012. A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. Science of the Total Environment. 433, 58-73.

- Dai, Q.L., Bi, X.H., Wu, J.H, Zhang, Y.F., Wang, J., Xu, H., Yao, L., Jiao, L. and Feng, Y.C., 2015. Characterization and source identification of heavy metals in ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in an integrated iron and steel industry zone compared with a background site, *Aerosol and Air Quality Reserch.* 15, 875-887.
- Davtalabnezam, S., Shakeri, A. and Rezaei, M. 2016. Pollution, origin and health risk assessment of potential omnivorous elements in soil of ark city and Laleh park, Tehran, *Journal of Geosciences.* 2, 209-226. (In Persian with English abstract)
- De Miguel, E., Llamas, J. F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Royset, O. and Vadset, M., 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: Unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment.* 31(17), 2733-2740.
- Esmaeili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N. and Kermani, M., 2014. A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran, *Catena.* 121, 88-98.
- Esmaeilzadeh Hosseini, M., Azimzadeh, H. R., Ekhtesasi, M.R. and Sodaiezadeh, H., 2015. Determining the contribution of desert areas in the production of falling fog using the source method (Case study: Yazd). *Ecology.* 41, 401-413. (In Persian with English abstract)
- Gharibi, F., 2015. Investigation of physical and chemical changes of some heavy-dust pellets on Ahwaz city in february 2014 based on environmental assessment, endoscopy of environmental science. B. Sc. Thesis Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd university, Iran.
- Ghrefat, H. and Yusuf, N., 2006. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn and Cd pollution in bottom sediments of Wadi AL- Arab Dam, Jordan. *Chemosphere.* 65, 2114- 2121.
- IRAN Meteorological Organization. Available online at: <http://www.irimo.ir/far/services/climate>
- Islam, M.S., Ahmed, M.K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M. and Islam, M.K., 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators.* 48, 282-291.
- Jaafari, F., 2013. Deposition rate and selected physical, chemical and clay mineralogical characteristics of atmospheric dust in Kerman city. M.Sc. thesis. Agriculture College. Isfahan University of Technology, 104 p. (In Persian).
- Kamani, H., Ashrafi. S.D., Isazadeh, S., Jaafari, J., Hoseini, M., Kord-Mostafapour, F., Bazrafshan, E., Nazmara, S.H. and Mahvi, A.H., 2015. Heavy metal contamination in street dusts with various land uses in Zahedan, Iran, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 94, 382-386.
- Karimi-Nezhad, M.T., Tabatabaie, S.M. and Gholami, A., 2015. Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran, *Journal of Geochemical Exploration.* 152, 91-109.
- Khan. S., Munir. S., Sajjad. M. and Li, G., 2016. Urban park soil contamination by potentially harmful elements and human health risk in Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan, *Journal of Geochemical Exploration.* 165, 102-110.
- Khodakarami, L., Amiri, F., Sefyanian, A., Shariff, A.R.B.M., Tabatabaie, T. and Pradhan, B., 2013. Spatial patterns of heavy metals in soil under different geological structures and land uses for assessing metal enrichments, *Environmental Monitoring and Assessment.* 185(12), 9871-9888.
- Li, X., Liu, L., Wang, Y., Luo G, Chen, X., Yang X, et al. 2013. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China, *Geoderma.* 192, 50-58.
- Mahmoudi. Z. and Khademi, H., 2013. The use of magnetic susceptibility in prediction pollution of heavy metals in atmospheric dust from Isfahan and its surrounding cities. *Ecology.* 2, 123-132. (In Persian with English abstract).

- Mlakootian, M., Ghiasseddin, M., Akbari, H. and Jaafarzadeh Haghighi Fard, N.A., 2013. Urban dust fall cocentration and its properties in Kerman city, Iran. *Health Scope*. 195-201.
- Muller, G., 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river. *Geojournal*. 2 (3), 108–118.
- Muller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins- Veranderungen seit 1971, *Umschau*. 79 (24), 778- 783.
- Nimroozi, A. and Moafpourian, Gh.A., 2012. Investigating the distribution of heavy metals in the soil of water industry in Shiraz, Thirteenth Earth Science Forum. Nov. 2012.
- Niencheski, L.F., Baraj, B., Garcia Franca, R. and Mirlean, N., 2002. Lithium as a normalizer for the assessment of anthropogenic metal contamination of sediments of the southern area of Patos Lagoon. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 5(4), 473-483
- Rasouli, A.A., Sari- Saraf, B. and Mohammadi, Gh. H., 2010. Analysis of the trend of occurrence of dust climate phenomena in the west of the country in the last 55 years using nonparametric statistics methods, *Natural Geographic Quarterly*, 9, 15-28.
- Ravankhah, N., Mirzaie, R. A. and Masoum, S., 2015. Evaluation of land accumulation indices and contamination factor and principal component analysis in estimating soil contamination, *Journal of Health and Environment, Iranian Journal of Environmental Health Research*. 8(3), 345-356. (In persion)
- Rezaee, Kh, Saion, E.B., YAP, C.K., Abdi, M. R. and Riyahi Bakhtiari, A., 2010. Verticle distribution of heavy metals and enrichment in south China sea sediment cores, *International Journal of Environmental Research*. 4(4), 877-886.
- Salamatian, S., 2013. Quantitative variations of dust fall and some of its physical and chemical properties from January 2012 to June 2013 (Case study: Isfahan City), MSc dissertation in Environmental Science, Yazd University, 3-4.
- Salmanzadeh, M., Saidi, M. and Nabi bidhendi, G., 2012. Pollution of heavy metals in street dust settled in Tehran and their ecological risk assessment. *Ecology*. 38(61), 9-18. (In Persian with English abstract).
- Sanai, A., 2014. Investigating changes in the concentration of some heavy metals in the soil of the streets of Isfahan, M.Sc. Natural Resources and Desertification College, Yazd University, Yazd, Iran.
- Sistani, N., Moeinidini, M., Khorasani, N.A., Hamidian, A.H., Ali-Taleshi, M.S. and Azimi-Yancheshmeh, R., 2017. Heavy metal pollution in soils adjacent to Kerman steel industries: Evaluation of metal richness and degree of pollution, *Journal of health and environment, Iranian Journal of Environmental Health Science*. 10(1), 75-86. (In persion with English abstract)
- Sow, M., Goossens, D. and Rajot, J. L., 2006. Calibration of the MDCO dust collector and of four versions of the inverted Frisbee dust deposition sampler, *Geomorphology*. 82, 360-375.
- T Jia, Q. and Huang, Y., 2008. Coarse dust around mining areas A study of available dust collectors and their efficiency, Lulea University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering.
- Tokalioglu, S., Kartal, S. and Birol, G., 2003. Application of a three-stage sequential extraction procedure for the determination of extractable metal contents in highway soils. *Turkish Journal of Chemistry*. 27, 333-346.
- Yuswir. N.S., Praveena. S.M., Aris. A.Z., Syed Ismail. S.H.N. and Hashim, Z., 2015. Health risk assessment of heavy metal in urban surface soil (Klang district, Malaysia), *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 95(1), 80- 89.
- Yadegarnia Naeini, F., Azimzadeh H.R., Mosleh arani, A., Sotoudeh A. and Kiani B., 2019. Ecological risk assessment of heavy metals from cement factory dust, *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 6(2), 129–137.



Evaluation of quantitative changes, pollution indices, and distribution of heavy metals, Pb and Cd, in the falling dust (case study: Zahedan City)

Sara Abdollahi^{1*}, Hamid Reza Azimzadeh¹, Mohammad Reza Ekhtesasi², Asghar Mosleh-Arani¹

¹ Environmental group, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Yazd, Iran

² Rangeland and Watershed group, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Yazd, Iran

Received: 2019.07.26

Accepted: 2019.09.19

Abdollahi, S., Azimzadeh, H.R., Ekhtesasi, M.R. and Mosleh-Arani, A., 2021. Evaluation of quantitative changes, pollution indices, and distribution of heavy metals, Pb and Cd, in the falling dust (case study: Zahedan City). *Environmental Sciences*. 19(1): 1-18.

Introduction: Dust is one of the atmospheric phenomena and natural disasters that pose adverse environmental impacts. Typically, dust particles have a diameter of fewer than 100 microns, which can be transmitted horizontally or vertically to the ground after miles. The aim of this study was to determine the amount of falling dust and heavy metals of lead and cadmium concentrations in dust samples to evaluate the urban area of pollution.

Material and methods: In this study, samples were collected using Marble Dust Collector traps (MDCO) for six months from December 2014 to June 2015 to compare the wet season (winter) and dry (spring). A total of 180 samples were collected using MDCO marsh traps. Samples were weighed accurately using a scale of 0.001 g. The analysis of samples was performed using ISO11466. The heavy metal content of samples was measured by an Analyti jena-350 model atomic absorption spectrometry.

Results and discussion: The cumulative values of falling dust were measured 7.77 ± 5.85 and 5.28 ± 1.31 g.m⁻² in winter 2014 and spring 2015, respectively. The highest amount of dust was detected in March (5.12 ± 5.70 g.m⁻²) and the lowest amount was measured in February (1.31 ± 0.65 g.m⁻²), which was not significantly different from January (1.33 ± 0.34 g.m⁻²). The mean lead concentration in deposition dust was 97.32 ± 5.40 mg/kg and 90.16 ± 5.93 mg/kg in winter and spring, respectively. Also, the average cadmium concentration was 37.19 ± 3.60 mg/kg and 29.62 ± 2.42 mg/kg in winter and spring, respectively. According to the pollution index (PI), the levels of lead and cadmium contamination were medium and high, respectively. In another word, the pollution index of cadmium was higher than lead in both seasons. The environmental risk index was calculated

* Corresponding Author: *Email Address*. Sara_abdollahi58@yahoo.com
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.29142>

at about 564 and 450 in winter and spring, respectively. It means that the integrating effect of lead and cadmium of falling dust is at a considerable level of pollution and ecological risk.

Conclusion: The results showed that the Zahedan City was surrounded by an erodible land, which is sensitive to wind erosion, especially in the south, west, and south-west. The erodible areas that surround the Zahedan City create some falling dust, which is emitted in the direction of erosive wind toward the city. The pollution rate of lead and cadmium of falling dust was higher in winter than spring, probably due to fuel prodigality for warming houses and transportation. It is necessary to focus on cadmium pollution of dust because of the higher ecological risk coefficient than the other trace elements.

Keywords: Ecological risk, Heavy metals, Land accumulation index, Pollution