

# The Study of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> Particulate Matter Concentration in the Ambient Air Pollution of Khash Cement Company (Sistan and Baluchestan Province)

Elham Shahri<sup>1\*</sup>, Mohammad Velayatzadeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Science, Birjand University, Birjand, Iran

<sup>2</sup> Department of Young Researchers Elite and Club, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

## Abstract

**Introduction:** Environmental pollution also increased by the advancement of technology and the application of industries in human life. Air pollution is one of the major contaminations in the human environment which causes many acute and chronic diseases. This study was conducted to investigate the contamination of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> particles in Khash Cement Company in Sistan and Baluchestan province in 2015.

**Methods and Materials:** Sampling from 8 environmental stations of Khash Cement Company was carried out in spring, summer, autumn and winter of 1394 regarding the wind direction and atmospheric conditions with 9 replications. A total of 288 environmental samples were sampled. Data analysis was performed using SPSS software version 24.

**Results:** Statistical analysis of the data showed that the highest amount of PM<sub>2.5</sub> suspended particles was obtained near the company's bascule in the summer ( $121.66 \pm 28.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ( $P < 0.05$ ). The lowest amount of PM<sub>2.5</sub> suspended particulate matter was measured in front of training office in the autumn ( $6.66 \pm 3.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ( $P < 0.05$ ). In the spring, the maximum amount of ambient PM<sub>2.5</sub> particles was measured adjacent the entrance door ( $20 \pm 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); moreover, the lowest amount of these particles was measured near the voltage station ( $14.33 \pm 3.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ( $P < 0.05$ ). The highest and lowest amount of ambient PM<sub>2.5</sub> particles were obtained near the company's bascules ( $121.66 \pm 28.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and the western side of guard turret ( $8.33 \pm 4.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in the summer respectively ( $P < 0.05$ ).

**Discussion and Conclusion:** The particulate matter PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> environment in Khash Cement Company was lower compared to the standard 25 and 50 micrograms per cubic meter. According to the results, it can be stated that the environmental suspended particles of the Khash Cement Company were acceptable for human respiration.

**Keywords:** Particulate matter, Khash Cement Company, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>

\* (Corresponding Author) Elham Shahri, Department of Environmental Science, Birjand University, Birjand, Iran.

E-mail: e\_shahri59@yahoo.com

## بررسی غلظت ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> در هوای محیطی شرکت سیمان خاش (استان سیستان و بلوچستان)

الهام شهری<sup>۱\*</sup>، محمد ولایتزاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۲</sup> گروه باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

### چکیده

**مقدمه:** با پیشرفت تکنولوژی و کاربرد صنایع در زندگی انسان آلودگی های محیط زیست نیز افزایش یافتند. آلودگی هوا یکی از انواع آلودگی های محیط زندگی انسان می باشد که سبب بیماری های حاد و مزمن متعددی می شود. این پژوهش با هدف بررسی وضعیت آلودگی ناشی از ذرات معلق PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> در شرکت سیمان خاش در استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۴ انجام شد.

**مواد و روش ها:** نمونه برداری از ۸ ایستگاه محیطی شرکت سیمان خاش در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در سال ۱۳۹۴ با در نظر گرفتن جهت باد و شرایط جوی با ۹ تکرار صورت پذیرفت. در مجموع ۲۸۸ نمونه ذرات معلق محیطی نمونه برداری گردید. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS۲۴ انجام شد.

**یافته ها:** تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد بالاترین میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> در فصل تابستان جنب باسکول شرکت (۱۲۱/۶۶±۲۸/۹۱ میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد ( $P<0/05$ ). پایین ترین میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> در فصل پاییز رو به روی دفتر آموزش (۶/۶۶±۳/۰۵ میکروگرم بر متر مکعب) سنجش شد ( $P<0/05$ ). در فصل بهار بیشترین مقادیر ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> جنب درب ورودی (۲۰±۴ میکروگرم بر متر مکعب) و کم ترین میزان این ذرات جنب پست برق (۱۴/۳۳±۳/۵۱ میکروگرم بر متر مکعب) سنجش شد ( $P<0/05$ ). بالاترین و پایین ترین مقدار ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> در فصل تابستان به ترتیب جنب باسکول شرکت (۱۲۱/۶۶±۲۸/۹۱ میکروگرم بر متر مکعب) و جنب برجک نگهبانی در ضلع غربی (۸/۳۳±۴/۰۴ میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد ( $P<0/05$ ).

**بحث و نتیجه گیری:** میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> در شرکت سیمان خاش در مقایسه با استاندارد ۲۵ و ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب پایین تر بود. با توجه به نتایج به دست آمده می توان بیان کرد که ذرات معلق محیطی شرکت سیمان خاش برای تنفس انسان در حد قابل قبول بودند.

**کلمات کلیدی:** ذرات معلق، کارخانه سیمان خاش، PM<sub>2.5</sub>، PM<sub>10</sub>

### مقدمه

این مسئله قرار گرفته است. صنعت سیمان یکی از صنایع کلیدی در کشورهای در حال توسعه می باشد که در اجرای پروژه های مختلف کاربرد زیادی دارد. با این وجود این صنعت یکی از صنایع

امروزه آلودگی هوا به عنوان یکی از معضلات مهم شهرنشینی و زندگی صنعتی مطرح بوده و زندگی تمام افراد جامعه تحت تاثیر

گازی اصلی می‌باشند (۱۱، ۱۲).

ورود ذرات معلق آلوده کننده به بدن انسان به طور تقریبی منحصرأ از راه مجاری تنفسی می‌باشد و اثرات آن‌ها فوری کار این قسمت از بدن را مختل می‌کند. شدت این اثرات به قدرت نفوذ ذرات معلق به داخل دستگاه تنفسی و درجه سمی بودن آن‌ها بستگی دارد. دامنه نفوذ ذرات معلق به دستگاه تنفسی مربوط به اندازه و بزرگی آن‌ها می‌باشد (۱۳). ذرات معلق در غلظت‌های بالا برای انسان‌ها، به ویژه افرادی که سابقه بیماری‌های تنفسی دارند، خطر آفرین هستند. بیماری‌هایی مانند: عفونت بخش‌های فوقانی دستگاه تنفس، پنومونیا، التهاب ریوی، تاثیرات سرطانی، برونشیت، تنگی تنفس، اختلال‌های قلبی، تاثیرات سوء بر قفسه صدری و تاثیر بر مکانیسم‌های دفاعی و تصفیه‌ای از عمده‌ترین عوارض ذرات معلق بر روی انسان هستند (۱۴، ۱۵). بنابراین شناسایی، بررسی و پایش آثار آلودگی هوا در بوم‌سازگان، موجب گسترش طرح‌های پایش محیط‌زیستی و برنامه‌ریزی صحیح با هدف بهبود خروجی صنایع به محیط شده و از نتیجه این اندازه‌گیری‌ها می‌توان در بهبود شرایط محیط بهره گرفت (۱۶).

درخصوص ارزیابی آلودگی ذرات معلق محیطی PM<sub>۱۰</sub> و PM<sub>۲/۵</sub> مطالعات و تحقیقات مختلفی انجام شده است (۱۵، ۸، ۶). میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>۲/۵</sub> و PM<sub>۱۰</sub> در کارخانه سیمان کرمان بالاتر از حد مجاز گزارش شده است (۱). نتایج پژوهشی در کارخانه سیمان کاوان بوکلن نشان داد که با توجه به پایش و کنترل منظم کلیه آلاینده‌ها از جمله ذرات معلق، در اکثریت قریب به اتفاق موارد، میزان ذرات PM<sub>۱۰</sub> و PM<sub>۲/۵</sub> در دپارتمان‌های مختلف (شامل: بگ فیلتر سنگ شکن، بگ هاوس پری هیتز، الکتروفیلتر گریت کولر، بگ فیلتر شماره یک و شماره دو آسیاب سیمان) کمتر از مقادیر استاندارد می‌باشد (۳). غلظت ذرات معلق PM<sub>۱۰</sub> در سنجش‌های محیطی مجتمع سلیس کوبان از ندریان همدان کمتر از حد استاندارد گزارش شده است (۱۶).

با توجه به اینکه آلودگی‌های محیطی ناشی از صنعت سیمان بسیار مهم هستند (۱۷، ۶، ۱) و یکی از آلاینده‌های خطرناک هوا، ذرات معلق موجود در فرآیندهای تولید سیمان می‌باشند (۱۸، ۳)، این پژوهش با هدف تعیین میزان غلظت ذرات معلق PM<sub>۲/۵</sub> و PM<sub>۱۰</sub> در شرکت سیمان خاش در استان سیستان و بلوچستان انجام شد.

آلوده کننده محیط‌زیست محسوب می‌گردد (۱). ساختار سیمان متشکل از موادی مانند: سیلیسیم دی اکسید (SiO<sub>۲</sub>)، اکسید آهن (Fe<sub>۲</sub>O<sub>۳</sub>)، اکسید آلومینیوم (Al<sub>۲</sub>O<sub>۳</sub>) و اکسید کلسیم (CaO) می‌باشد (۲). صنایع تولیدی سیمان وابسته به آن از دیرباز به عنوان یکی از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های محیط‌زیست مطرح هستند. به همین دلیل پایش و کنترل آلودگی‌های زیست محیطی در این صنعت از اهمیت خاصی برخوردار است (۳). ذرات جامد انتشار یافته از صنایع سیمان بدون آن که کنترل دقیقی بر آن‌ها وجود داشته باشد، به طور تقریبی به صورت نامحسوس فضای زندگی ما را مورد حمله قرار داده و با گذشت زمان و انباشته شدن محیط از این گازها و ذرات، انسان‌ها، گیاهان و جانوران را به طور جدی مورد تهدید قرار داده‌اند (۴، ۵). آلاینده‌های هوا ناشی از فرآیند تولید سیمان و انتشار آن در محیط اطراف، بر حسب ماهیت آلاینده و مدت زمان در معرض قرار گرفتن افراد، باعث ایجاد عوارض و بیماری‌های مختلف در انسان، حیوانات و گیاهان شده و اثر هم‌افزایی روی سایر آلاینده‌های هوا خواهد داشت (۶).

یکی از آلاینده‌های اصلی حاصل از فرآیند تولید سیمان، ذرات معلق محیطی می‌باشند. مطابق برآورد سازمان جهانی بهداشت در سال‌های ابتدایی قرن ۲۱ آلودگی هوا ناشی از ذرات معلق به تنهایی باعث مرگ و میر حدود ۸۰۰۰۰۰ نفر گردیده و سیزدهمین علت مرگ و میر انسان بوده است (۷، ۸). ذرات معلق در هوا به آن دسته از مواد پراکنده جامد یا مایع اطلاق می‌شود که اندازه آن‌ها از قطر یک مولکول (۰/۰۰۰۲ μm) بزرگتر و از ۵۰۰ μm کوچکتر باشند. این مواد به عنوان شاخه‌ای از مواد آلاینده دارای تنوع و پیچیدگی بسیار زیادی هستند و اندازه ذرات و ترکیب شیمیایی آن‌ها مانند غلظتشان در هوا از ویژگی‌های مهم این مواد به شمار می‌رود (۹، ۱۰). ذرات معلق بعضی مواقع به صورت ذرات قابل زیست (زنده) نظیر باکتری‌ها، جلبک‌ها، کپک‌ها و اسپورها هستند و یا به صورت ذرات غیرقابل زیست (غیر زنده) شامل موادی از قبیل ترکیبات آلی فلزات، گرد و غبار و نمک‌های دریایی، طبقه‌بندی می‌شوند. ذرات معلق از تجزیه و هم‌پاشی تکه‌های بزرگ مواد یا از تراکم و تجمع ذرات کوچک تر شامل مولکول تشکیل می‌شوند. منبع اصلی ذرات معلق توسط منابع مصنوعی آلوده کننده شامل تولید و تشکیل آئروسول‌های (ذرات پراکنده) فرعی از آلوده کننده‌های

## مواد و روش‌ها

معلق محیطی کارخانه سیمان خاش انجام شد. نمونه‌برداری از ۸ ایستگاه محیطی شرکت سیمان خاش در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان صورت پذیرفت. (شکل ۱)

در مجموع ۲۸۸ نمونه ذرات معلق محیطی نمونه‌برداری گردید. محل دقیق ایستگاه‌های مورد مطالعه در شرکت سیمان خاش در جدول ۱ ارائه شده است.

برای سنجش ذرات معلق محیطی بر اساس استاندارد متد ۱۲۳۴۱ (BS-EN-۱۲۳۴۱) از روش فتومتری و دستگاه فتومتر (Dust Trak)

شهرستان خاش در ۱۷۰ کیلومتری زاهدان، مرکز استان سیستان و بلوچستان، واقع شده است. این شهرستان دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۹۴ متر است. شرکت سیمان خاش، قدیمی‌ترین کارخانه تولید سیمان در منطقه جنوب شرقی ایران در استان سیستان و بلوچستان است که در زمینی به مساحت ۵۰ هکتار احداث و از سال ۱۳۷۴ به بهره‌برداری رسیده است. این پژوهش به صورت توصیفی - تحلیلی در سال ۱۳۹۴ درمورد ذرات



شکل ۱- موقعیت محل‌های نمونه برداری ذرات معلق محیطی در شرکت سیمان خاش

جدول ۱- موقعیت دقیق محل نمونه برداری ذرات معلق محیطی در شرکت سیمان خاش

| موقعیت جغرافیایی | محل نمونه‌برداری      | زمان نمونه برداری | جنس کف | دبی پمپ<br>(متر مکعب در دقیقه) | حجم مکش شده<br>(متر مکعب) |
|------------------|-----------------------|-------------------|--------|--------------------------------|---------------------------|
| ضلع شمالی        | جنب باسکول            | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |
| ضلع شمال غربی    | پشت انبار خاک         | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |
| ضلع غربی         | جنب برجک نگهداری      | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |
| ضلع جنوب غربی    | جنب پست برق           | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |
| ضلع جنوبی        | جنب برجک نگهداری      | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |
| ضلع جنوب شرقی    | جنب درب ورودی         | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |
| ضلع شرقی         | جنب تصفیه‌خانه فاضلاب | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |
| ضلع شمال شرقی    | روبروی دفتر آموزش     | ۶۰ دقیقه          | سیمان  | ۰/۰۰۱۷                         | ۰/۱۰۲                     |

استفاده شد. در این روش ابتدا دستگاه داست تراک (DustTrak ۸۵۲۰) ساخت کشور آمریکا با حد تشخیص ۰/۰۰۱ تا ۴۰۰ میلی گرم بر متر مکعب کالیبره شد و سپس در موقعیت مناسب و ترجیحا کمی بالاتر از سطح زمین (۱/۵ متری سطح زمین) قرار داده شد و فلوی دستگاه تنظیم و در مدت زمان ۶۰ دقیقه با در نظر گرفتن جهت باد و شرایط جوی پایدار نمونه برداری انجام شد. نمونه برداری و سنجش ذرات معلق محیطی در ساعات اداری و با یک دستگاه صورت پذیرفت (۱۹).

جهت تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار اس پی اس اس (SPSS ۲۴) و جهت رسم جداول و نمودارها از نرم افزار اکسل (Excel ۲۰۰۷) استفاده شد. به منظور بررسی نرمال بودن داده ها از آزمون شاپیرو - ویلک (Shapiro-Wilk)، برای مقایسه میانگین غلظت ذرات معلق در فصول مختلف سال از آزمون تی (T test) و برای مقایسه داده ها در ایستگاه های مورد مطالعه از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و آزمون دانکن (Duncan test) استفاده گردید.

## یافته ها

تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد بالاترین میزان ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصل تابستان جنب باسکول شرکت (۱۲۱/۶۶±۲۸/۹۱ میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد (P<۰/۰۵). پایین ترین میزان ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصل پاییز روبه روی دفتر آموزش (۶/۶۶±۳/۰۵ میکروگرم بر متر مکعب) سنجش شد (P<۰/۰۵). در فصل بهار بیشترین مقادیر ذرات معلق محیطی PM ۲/۵

جنب درب ورودی (۲۰±۴ میکروگرم بر متر مکعب) و کمترین میزان این ذرات جنب پست برق (۱۴/۳۳±۳/۵۱ میکروگرم بر متر مکعب) سنجش شد (P<۰/۰۵). بالاترین و پایین ترین مقدار ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصل تابستان به ترتیب جنب باسکول شرکت (۱۲۱/۶۶±۲۸/۹۱ میکروگرم بر متر مکعب) و جنب برجک نگهداری در ضلع غربی (۸/۳۳±۴/۰۴ میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد (P<۰/۰۵). میزان ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصل پاییز جنب تصفیه خانه فاضلاب (۱۴/۳۳±۴/۵۰ میکروگرم بر متر مکعب) بالاتر از سایر ایستگاه ها بود (P<۰/۰۵). پایین ترین میزان ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصل پاییز نیز روبه روی دفتر آموزش (۶/۶۶±۳/۰۵ میکروگرم بر متر مکعب) سنجش گردید. بالاترین و پایین ترین مقدار ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصل زمستان به ترتیب جنب باسکول شرکت (۲۰/۶۶±۳/۵۱ میکروگرم بر متر مکعب) و جنب برجک نگهداری در ضلع جنوبی (۸/۳۳±۴/۵۰ میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد (P<۰/۰۵). (جدول ۲)

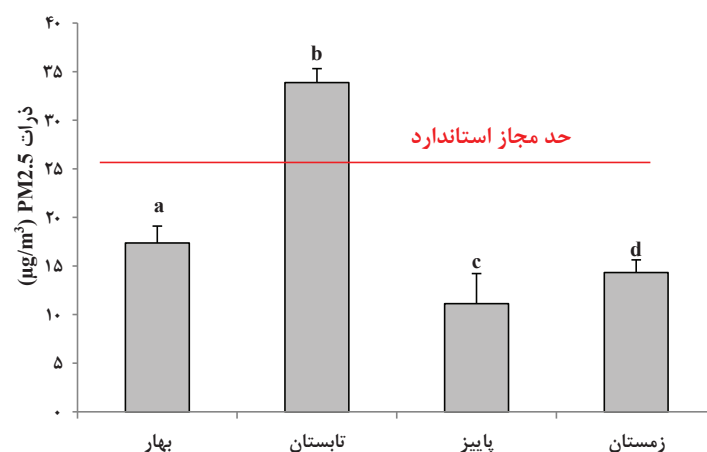
مقایسه میانگین ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصول مختلف سال نشان داد میزان این ذرات در فصل تابستان بالاتر از سایر فصول سال بود (P<۰/۰۵). همچنین میزان ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ در فصل بهار و زمستان بالاتر از فصل پاییز به دست آمد (P<۰/۰۵). و فصل پاییز نسبت به سه فصل دیگر سال دارای کمترین میزان ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ بود (P<۰/۰۵). (نمودار ۱)

بالاترین و پایین ترین میزان ذرات معلق محیطی PM ۱۰ در فصل تابستان جنب باسکول شرکت (۱۰۷±۱۴/۵۲ میکروگرم بر متر

جدول ۲- نتایج سنجش ذرات معلق محیطی PM ۲/۵ شرکت سیمان خاش (میکروگرم بر متر مکعب) در سال ۱۳۹۴

| محل نمونه برداری      | بهار                    | تابستان                   | پاییز                   | زمستان                  |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| جنب باسکول            | ۱۶/۶۶±۳/۰۵ <sup>a</sup> | ۱۲۱/۶۶±۲۸/۹۱ <sup>a</sup> | ۱۳/۶۶±۴/۰۴ <sup>a</sup> | ۲۰/۶۶±۳/۵۱ <sup>a</sup> |
| پشت انبار خاک         | ۱۸/۳۳±۵/۰۳ <sup>b</sup> | ۱۸±۳ <sup>b</sup>         | ۱۳/۳۳±۵/۰۳ <sup>a</sup> | ۱۸/۶۶±۶/۰۳ <sup>b</sup> |
| جنب برجک نگهداری      | ۱۶/۶۶±۴/۵۰ <sup>a</sup> | ۸/۳۳±۴/۰۴ <sup>c</sup>    | ۸/۶۶±۳/۵۱ <sup>b</sup>  | ۱۶±۶ <sup>c</sup>       |
| جنب پست برق           | ۱۴/۳۳±۳/۵۱ <sup>c</sup> | ۱۴/۳۳±۳/۰۵ <sup>d</sup>   | ۱۰/۶۶±۴/۵۰ <sup>c</sup> | ۱۰/۳۳±۴/۵۰ <sup>d</sup> |
| جنب برجک نگهداری      | ۱۶/۶۶±۲/۰۸ <sup>a</sup> | ۱۴±۲ <sup>d</sup>         | ۱۴±۴ <sup>d</sup>       | ۸/۳۳±۴/۵۰ <sup>e</sup>  |
| جنب درب ورودی         | ۲۰±۴ <sup>d</sup>       | ۱۶±۲/۶۴ <sup>e</sup>      | ۷/۶۶±۳/۰۵ <sup>b</sup>  | ۱۲/۶۶±۶/۵۰ <sup>f</sup> |
| جنب تصفیه خانه فاضلاب | ۱۹±۲/۶۴ <sup>d</sup>    | ۵۶/۳۳±۹/۲۹ <sup>f</sup>   | ۱۴/۳۳±۴/۵۰ <sup>a</sup> | ۱۰/۶۶±۳/۵۱ <sup>d</sup> |
| رو به روی دفتر آموزش  | ۱۷/۳۳±۴/۱۶ <sup>a</sup> | ۲۲/۳۳±۳/۰۵ <sup>g</sup>   | ۶/۶۶±۳/۰۵ <sup>b</sup>  | ۱۷/۳۳±۴/۵۰ <sup>b</sup> |

حروف هم نام در هر ستون اختلاف معنی دار را نشان نمی دهد (P>۰/۰۵).



نمودار ۱- مقایسه ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub>/۵ شرکت سیمان خاش (میکروگرم بر متر مکعب) در فصول مختلف سال ۱۳۹۴  
حروف غیرهمنام در هر ستون اختلاف معنی دار را نشان می دهد ( $P < 0.05$ ).

ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در فصل پاییز نیز جنب برجک نگهبانی در ضلع غربی ( $15 \pm 4/58$  میکروگرم بر متر مکعب) سنجش گردید. بالاترین و پایین ترین مقدار ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در فصل زمستان به ترتیب جنب باسکول شرکت ( $42/33 \pm 7/09$  میکروگرم بر متر مکعب) و جنب برجک نگهبانی در ضلع جنوبی ( $10/66 \pm 3/51$  میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد ( $P < 0.05$ ). (جدول ۳)

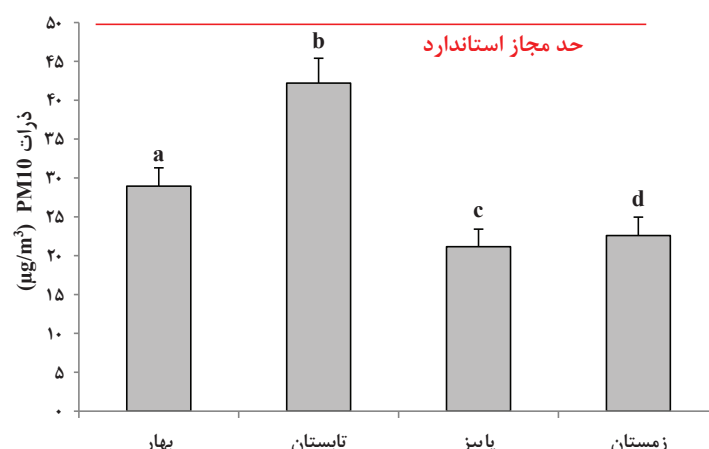
مقایسه میانگین ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در فصول مختلف سال نشان داد میزان این ذرات در فصل تابستان بالاتر از سایر فصول سال بود ( $P < 0.05$ ). همچنین میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در فصل بهار و زمستان بالاتر از فصل پاییز به دست آمد ( $P < 0.05$ ). و فصل پاییز نسبت به سه فصل دیگر سال داری کمترین میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> بود ( $P < 0.05$ ). (نمودار ۲)

مکعب) و جنب برجک نگهبانی ضلع جنوبی ( $10/66 \pm 3/51$  میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد ( $P < 0.05$ ). در فصل بهار بیشترین مقادیر ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> جنب درب ورودی ( $39/66 \pm 4/04$  میکروگرم بر متر مکعب) و کمترین میزان این ذرات جنب برجک نگهبانی در ضلع جنوبی ( $19/33 \pm 9/71$  میکروگرم بر متر مکعب) سنجش شد ( $P < 0.05$ ). بالاترین و پایین ترین مقدار ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در فصل تابستان به ترتیب جنب باسکول شرکت ( $107 \pm 14/52$  میکروگرم بر متر مکعب) و جنب برجک نگهبانی در ضلع جنوبی ( $14/33 \pm 3/51$  میکروگرم بر متر مکعب) به دست آمد ( $P < 0.05$ ). میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در فصل پاییز جنب تصفیه خانه فاضلاب ( $29 \pm 4/58$  میکروگرم بر متر مکعب) بالاتر از سایر ایستگاه ها بود ( $P < 0.05$ ). پایین ترین میزان

جدول ۳- نتایج سنجش ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> شرکت سیمان خاش (میکروگرم بر متر مکعب) در سال ۱۳۹۴

| محل نمونه برداری      | بهار                | تابستان            | پاییز              | زمستان              |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| جنب باسکول            | $23/66 \pm 11/50^a$ | $107 \pm 14/52^a$  | $22/66 \pm 4/50^a$ | $42/33 \pm 7/09^a$  |
| پشت انبار خاک         | $30 \pm 16^b$       | $24 \pm 8/71^b$    | $26/33 \pm 4/50^b$ | $32/66 \pm 6/02^b$  |
| جنب برجک نگهبانی      | $34/66 \pm 5/50^c$  | $23/33 \pm 3/51^b$ | $15 \pm 4/58^c$    | $23 \pm 3^c$        |
| جنب پست برق           | $29 \pm 8/54^d$     | $31/66 \pm 4/04^c$ | $19/33 \pm 4/50^d$ | $15 \pm 4^d$        |
| جنب برجک نگهبانی      | $19/33 \pm 9/71^e$  | $14/33 \pm 3/51^d$ | $24/66 \pm 5/50^e$ | $10/66 \pm 3/51^e$  |
| جنب درب ورودی         | $39/66 \pm 4/04^f$  | $26/66 \pm 6/08^b$ | $16 \pm 3^c$       | $19 \pm 13^f$       |
| جنب تصفیه خانه فاضلاب | $30 \pm 7/54^b$     | $51/66 \pm 6/50^e$ | $29 \pm 4/58^d$    | $15/33 \pm 7/76^d$  |
| رو به روی دفتر آموزش  | $25/33 \pm 7/02^a$  | $59 \pm 8^f$       | $16/33 \pm 4/50^c$ | $22/66 \pm 12/22^c$ |

حروف همنام در هر ستون اختلاف معنی دار را نشان نمی دهد ( $P > 0.05$ ).



نمودار ۲- مقایسه ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> شرکت سیمان خاش (میکروگرم بر متر مکعب) در فصول مختلف سال ۱۳۹۴  
حروف غیرهمنام در هر ستون اختلاف معنی دار را نشان می دهد (P<۰/۰۵).

## بحث و نتیجه گیری

معدل سالیانه این ذرات در ایستگاه‌های مورد مطالعه شرکت سیمان خاش در فصول مختلف بالاتر بود، اما معدل سالیانه ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در برخی ایستگاه‌های مورد مطالعه نظیر جنب درب ورودی در فصل پاییز و زمستان، جنب برجک نگهداری ضلع غربی و رو به روی دفتر آموزش در فصل پاییز پایین تر به دست آمد.

بیشترین تعداد ذرات در گروه ذرات بسیار ریز که شامل ذرات معلق با قطر ۰/۱ میکرون و کمتر هستند قرار می گیرند. این ذرات از نظر مساحت سطح، غالب ترین ذرات معلق هوای می باشند. اما سهم اندکی در میزان جرم کلی ذرات معلق هوا دارند. این بخش از ذرات معلق به طور عمده از احتراق ناشی شده و در مرحله دوم به عنوان ذرات ثانویه از تبدیل گاز به ذره ایجاد می شوند (۲۱، ۲۰). این ذرات به طور ذاتی ناپایدار بوده و از طریق انعقاد و فشردگی به ذرات بزرگتر تبدیل می شوند. سولفات‌ها و نیترات‌ها از جمله ترکیبات غالب در این ذرات می باشند. ذرات ریز شامل ذراتی هستند که اندازه آن‌ها بین ۰/۱ تا ۲/۵ میکرون بوده و به همراه ذرات بسیار ریز تحت عنوان PM<sub>2.5</sub> شناخته می شوند. ذرات ریز به طور اساسی حاوی ذراتی هستند که در اثر احتراق ایجاد شده‌اند و یا ناشی از انعقاد و فشردگی ذرات ثانویه به وجود می آیند. ذرات PM<sub>10</sub> شامل تمام ذرات (ذرات بسیار ریز، ذرات ریز و ذرات درشت) دارای قطر ۱۰ میکرومتر و کمتر می شوند (۲۳، ۲۲).

تحقیقات در کارخانه سیمان سامان کرمانشاه نشان داد برای کنترل گرد و غبار فناوری کنترل آلاینده‌های خروجی از کارایی به نسبت مطلوبی برخوردار است؛ زیرا نتایج داده‌های آنالیز شده تقارب و

مطالعات نشان داده‌اند که سازه‌های بزرگ همواره مشکلات مهم‌تری را سبب می شوند و از این رو باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند. با توجه به اثرات سوء ذرات معلق محیطی بر سلامت جامعه و به خصوص کارکنان واحدهای تولیدی سیمان و صنایع وابسته به آن، تلاش در راستای شناسایی منابع آلاینده و کنترل و پایش مستمر آن‌ها جهت پیشگیری از وقوع آلودگی و اثرات زیانبار آلاینده‌ها بر سلامت عمومی و پرسنل، امری حیاتی می باشد (۱۷).

در این پژوهش میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> در شرکت سیمان خاش در مقایسه با استاندارد ۲۵ میکروگرم بر متر مکعب پایین تر بود، فقط در فصل تابستان در ایستگاه‌های جنب باسکول و جنب تصفیه‌خانه فاضلاب بالاتر از حد مجاز استاندارد به دست آمد. معدل سالیانه ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> ۱۰ میکروگرم بر متر مکعب گزارش شده است که معدل سالیانه این ذرات در ایستگاه‌های مورد مطالعه شرکت سیمان خاش بالاتر بود، اما معدل سالیانه ذرات معلق محیطی PM<sub>2.5</sub> جنب برجک نگهداری ضلع غربی در فصل تابستان و پاییز، جنب برجک نگهداری ضلع جنوبی در فصل زمستان و رو به روی دفتر آموزش در فصل پاییز پایین تر به دست آمد. در مورد میزان ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> در شرکت سیمان خاش در مقایسه با استاندارد ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب پایین تر بود، فقط در فصل تابستان در ایستگاه‌های جنب باسکول و جنب تصفیه‌خانه فاضلاب بالاتر از حد مجاز استاندارد به دست آمد. معدل سالیانه ذرات معلق محیطی PM<sub>10</sub> ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب گزارش شده است که

ذراتی به ندرت در غلظت‌های بالا یافت می‌شوند. نگرانی عمده به افزایش این ذرات بیش از حد طبیعی در محیط می‌باشد. ذرات معلق اثرات سوء بر سلامت انسان، مواد، گیاهان و ابنیه می‌گذارند. شدت اثر ذرات معلق بر سلامت انسان به قدرت نفوذ ذرات معلق به داخل دستگاه تنفسی و درجه سمیت آن‌ها بستگی دارد (۱۷).

آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا استاندارد غلظت ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  را به ترتیب ۳۵ و ۱۵ گرم در متر مکعب اعلام شده است (۱۶). در این تحقیق مقادیر ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  شرکت سیمان خاش کمتر از حد مجاز استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا بود. درمورد ذرات معلق محیطی  $PM_{10}$  در ایستگاه‌های مورد مطالعه بالاتر از حد مجاز به دست آمدند. در یک مطالعه در مجتمع سیلیس کوبان از ندریان همدان در ۳ ایستگاه مورد مطالعه محیطی مقادیر ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  بالاتر و ذرات معلق محیطی  $PM_{10}$  پایین‌تر از حد مجاز استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا گزارش شده است (۱۶).

ذرات معلق موجود در هوا با منشأ طبیعی و انسانی، تأثیرات قابل توجهی بر آب و هوا، محیط‌زیست و سلامت انسان دارند (۲۵). سازه‌های بزرگ هم چون کارخانه‌های سیمان که حجم وسیعی از ذرات گرد و غبار را وارد محیط می‌کنند همواره مشکلات مهمی را سبب می‌شوند. بنا براین توجه به میزان آلاینده‌گی این سازه‌ها و استفاده از روش‌های نوین برای کنترل آلودگی ایجاد شده به وسیله آن‌ها مانند بگ فیلتر، بگ هوس، رسوب دهنده‌های الکتروستاتیکی و فیلترهای هیبریدی می‌تواند تا حد زیادی از آسیب‌های زیست محیطی و بهداشتی به خصوص اثرات مضر برای کارکنان این حیطه بکاهد. به طور کلی چنین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت ذرات گرد و غبار به ویژه غبار حاصل از فعالیت صنایع و کاهش کیفیت هوا، اثرات مضر بر روی سلامت انسان در مواجهه طولانی مدت را به دنبال دارد (۲۴).

میزان ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در شرکت سیمان خاش در مقایسه با استاندارد ۲۵ و ۵۰ میکروگرم بر متر مکعب پایین‌تر بود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که ذرات معلق محیطی شرکت سیمان خاش برای تنفس انسان در حد قابل قبول بودند. از جمله مهم‌ترین محدودیت‌ها در اندازه‌گیری ذرات محیطی، وجود طوفان و گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه بود.

تجانس مقبولی با استانداردهای ملی سازمان حفاظت محیط‌زیست دارد (۱۷). برخی ذرات معلق ممکن است حاوی مولکول‌های گازی محرک باشند. افرادی که بخشی از اوقات روزانه خود را در این مکان‌ها می‌گذرانند در خطر آسیب‌های تنفسی ناشی از این گرد و غبار قرار دارند که در صورت استنشاق ممکن است به طور مستقیم روی بافت بدن ایجاد اثرات سوء کنند. این چنین ذراتی اغلب در غلظت‌های بالا یافت نمی‌شوند. شدت اثر ذرات معلق روی بدن انسان به قدرت نفوذ این ذرات در دستگاه تنفسی و میزان سمیت آن‌ها بستگی دارد (۲۴).

در پژوهش حاضر میانگین ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در فصل تابستان بالاتر از سایر فصول سال بود ( $P < 0.05$ ) و فصل پاییز نسبت به سه فصل دیگر سال داری کمترین میزان ذرات معلق محیطی بود ( $P < 0.05$ ). غلظت ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در مجتمع سیلیس کوبان از ندریان همدان در فصول تابستان و پاییز از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری داشت ( $P < 0.05$ ) و در فصل پاییز مقادیر بالاتر از فصل تابستان گزارش شده است (۱۶)، که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی ندارد. سنجش‌های محیطی بیانگر اثر قابل توجه محل نمونه‌برداری بر غلظت ذرات معلق در مقایسه با قطر دینامیکی ذره بر حسب میکرون و فصل سال می‌باشد. از طرف دیگر اثرات تقابلی ایستگاه نمونه‌برداری - قطر دینامیکی ذره بر غلظت ذرات معلق قابل توجه است (۱۶).

نتایج مطالعه‌ای در کارخانه سیمان کاوان بوکان نشان داد که با توجه به پایش و کنترل منظم کلیه آلاینده‌ها از جمله ذرات معلق، در اکثریت قریب به اتفاق موارد، میزان ذرات  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  در واحدهای مختلف شامل: بگ فیلتر سنگ شکن، بگ هاوس پری هیتر، الکتروفیلتر گریت کولر، بگ فیلتر شماره یک و شماره دو آسیاب سیمان کمتر از مقادیر استاندارد می‌باشد (۳). غلظت میانگین ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در شرکت سیمان کرمان نیز در مقایسه با معدل سالیانه ذرات معلق محیطی بالاتر گزارش شده است (۱). درمورد ذرات معلق محیطی  $PM_{2.5}$  هم‌خوانی ندارد، اما درخصوص ذرات معلق محیطی  $PM_{10}$  در این تحقیق هم‌خوانی دارد. برخی ذرات معلق ممکن است حاوی مولکول‌های گازی محرک و سوزش‌آور باشند که در صورت استنشاق می‌توانند به طور مستقیم روی بدن اثر سوء بگذارند. قابل ذکر است که چنین

## ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل: عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین هر گونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می کنند.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت محترم کارخانه سیمان خاش اعلام می نمایند. همچنین از مسئولین محترم واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست کارخانه سیمان خاش به دلیل همکاری بی دریغ در مراحل میدانی نیز کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## References

- 1- Aghamolaii I, Lashkaripour G, Ghafoori M. Assessment of air pollution from cement industry: Case of Kerman Cement Factory. Iran Occupational Health. 2015 Mar 1;12(2): 79-92.
- 2- Al Smadi BM, Al-Zboon KK, Shatnawi KM. Assessment of air pollutants emissions from a cement plant: a case study in Jordan. Jordan journal of civil engineering. 2009 Jan 1;3(3): 265-82.
- 3- Bassmajni B, Azizi F, Daneshvar B, and Ahadi Gh. Monitoring particulate matter PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> on Bokan Cement Co Cavan. International Conference on Agriculture, Environment and Tourism Development, Tabriz, Permanent Secretariat of the Conference, 8 pages. 2015.
- 4- Boudaghpour S, Jadidi A. Investigation of the effect of outlet pollutants of cement production industries around Tehran and approaches to control and eliminate pollutants. International Journal of Physical Sciences. 2009 Sep 30; 4(9): 486-95.
- 5- Abu-Allaban M, Abu-Qudais H. Impact assessment of ambient air quality by cement industry: A case study in Jordan. Aerosol and Air Quality Research. 2011; 11(7): 802-10.
- 6- Sobhanardakani S, Saedi M. Assessment of particulate matter, free silica and toxic gases emissions from Khouzestan Cement Company. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2015 Jun 15; 25(125): 21-31.
- 7- Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. Journal of Medical Toxicology. 2012 Jun 1;8(2): 166-75.
- 8- Kermani M, Arfaeinia H, Nabizade R, Alimohammadi M, Alamolhoda AA, Bahrmasi F, Shahsoni A. Study on Concentration of Particulate Matter with Diameter Less than 10 Microns, Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Related to PM<sub>2.5</sub> in the Ambient Air of Sina Hospital District. Journal of Environmental Health Engineering. 2014; 1(2): 93-103.
- 9- Gupta I, Kumar R. Trends of particulate matter in four cities in India. Atmospheric Environment. 2006 May 1; 40(14): 2552-66.
- 10- Madungwe E, and Mukonzvi T. Assessment of distribution and composition of quarry mine dust: case of Pomona stone quarries, Harare. Atmospheric and Climate Sciences. 2013; 2: 52-59.
- 11- Dabiri, M. Environmental pollution (air, water, soil, noise). Etehad Publishing, eighth edition, 2013; p.400.
- 12- Mohammadyan M, Rokni M, and Yosefinejad R. Occupational exposure to respirable crystalline silica in the Iranian Mazandaran Province industry workers. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology. 2013; 64 (1): 139-143.
- 13- Naddafi K, Hassanvand MS, Yunesian M, Momeniha F, Nabizadeh R, Faridi S, et al. Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran, Iran. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2012; 9(1): 1-7.
- 14- Panyacosit L. A review of particulate matter and health: focus on developing countries. International Institute for Applied Systems Analysis IR-00-005. 2000 May.
- 15- Hassanvand MS, Naddafi K, Faridi S, Arhami M, Nabizadeh R, Sowlat MH, Pourpak Z, Rastkari N, Momeniha F, Kashani H, Gholampour A. Indoor/outdoor relationships of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub> mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory. Atmospheric Environment. 2014 Jan 1; 82: 375-82.
- 16- Sobhanardakani S, and Naeinian J. Investigation of Particulate Particles in the Environmental Environment of the Silicoban Complex of the Andranid Hamadan. Journal of humans and Environment. 2017; 40: 1-11.
- 17- Almasi A, Asadi F, Mohamadi M, Farhadi F, Atafar Z, Khamutian R, Mohamadi A. Survey of Pollutant emissions from stack of Saman cement factory of Kermanshah city from year 2011 to 2012. Journal of Health in the Field. 2013;1(2): 36-43.
- 18- Noorpoor A, Kazemi Shahabi N. Dispersion modeling of air pollutants from the Ilam cement factory stack. Journal of Civil and Environmental Engineering. 2014; 44(1): 37-44.
- 19- McMurphy PH. A review of atmospheric aerosol measurements. Atmospheric Environment. 2000 Jan 1; 34(12-14): 1959-99.
- 20- Ta W, Wang T, Xiao H, Zhu X, Xiao Z. Gaseous and

- particulate air pollution in the Lanzhou Valley, China. *Science of the total environment*. 2004 Mar 29; 320(2-3): 163-76.
- 21- Chaloulakou A, Kassomenos P, Spyrellis N, Demokritou P, Koutrakis P. Measurements of PM10 and PM2. 5 particle concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*. 2003 Feb 1; 37(5): 649-60.
- 22- Breed CA, Arocena JM, Sutherland D. Possible sources of PM10 in Prince George (Canada) as revealed by morphology and in situ chemical composition of particulate. *Atmospheric Environment*. 2002 Apr 1; 36(10): 1721-31.
- 23- Toledo VE, de Almeida Júnior PB, Quiterio SL, Arbilla G, Moreira A, Escaleira V, Moreira JC. Evaluation of levels, sources and distribution of toxic elements in PM10 in a suburban industrial region, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental monitoring and assessment*. 2008 Apr 1; 139(1-3): 49-59.
- 24- Nourmoradi H, Omid Khaniabadi Y, Goudarzi G, Jourvavd M, Nikmehr K. Investigation on the dust dispersion (PM10 and PM2. 5) by Doroud Cement Plant and study of its individual exposure rates. *Scientific journal of ilam university of medical sciences*. 2016 Apr 10; 24(1): 64-75.
- 25- Ehsanzadeh A, Nejadkoorki F, Khodadoostan S. A study on the most important factors affecting the concentration of particulate matter smaller than 10 microns (PM10) using principal component regression. *Journal of Research in Environmental Health*. 2016; 2(2): 154-64.