

## هزینه پراکنش گرد و غبار (PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub>) در محوطه کارخانه سیمان دورود و بررسی میزان مواجهه فردی با آن ها

حشمت الله نورمرادی<sup>۱</sup>، یوسف امیدی خانی‌آبادی<sup>۲\*</sup>، غلامرضا گودرزی<sup>۳</sup>، مهدی جوروند<sup>۴</sup>، کمیلا نیک‌مهر<sup>۵</sup>

- (۱) گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران
- (۲) گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران
- (۳) گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بندي شاپور اهواز، اهواز، ایران
- (۴) گروه بهداشت صرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بندي شاپور اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۱

### چکیده

**مقدمه:** گرد و غبار حاصل از تولید سیمان به عنوان یکی از مهم ترین نگرانی های زیست محیطی شناخته می شود. کارخانه سیمان دورود یکی از منابع اصلی انتشار ذرات معلق در شهرستان دورود می باشد. هدف از این مطالعه اندازه گیری میزان گرد و غبار (PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub>) محیط اطراف کارخانه سیمان دورود، بررسی کیفیت هوا از نظر ذرات معلق و مطالعه میزان مواجهه فردی با آن ها می باشد.

**مواد و روش ها:** این پژوهش به صورت توصیفی-تحلیلی انجام گرفته است. نمونه برداری توسط دستگاه Dust Truck TSI 8520 در مدت ۳ ماه بر اساس دستورالعمل EPA صورت گرفت. غلظت PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در ۱۰ ایستگاه مهم از نظر مواجهه با ذرات در محیط اطراف کارخانه سیمان مورد سنجش قرار گرفت. کیفیت هوا با استفاده از شاخص AQI مورد بررسی قرار گرفت و میزان مواجهه فردی با PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> محاسبه شد. اطلاعات هواشناسی ۱۰ ساله شهرستان دورود بررسی گردید و رزیاد آن رسم شد. داده های غلظت PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> توسط نرم افزار SPSS vol.16 و آزمون های آماری ANOVA یک طرفه و T-test آنالیز گردید.

**یافته های پژوهش:** نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که حداقل میانگین غلظت ذرات مشاهده شده برای PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> به ترتیب برابر  $\mu\text{g}/\text{m}^3 ۱۲/۰۲ \pm ۱۲/۰۲$  و  $\mu\text{g}/\text{m}^3 ۳۶/۸ \pm ۲/۱۲$  بوده است. در ۳/۰۶ درصد نمونه های PM<sub>10</sub> کیفیت هوا در محدوده غیر بهداشتی قرار داشت در حالی که در ۱۰۰ درصد موارد کیفیت هوا از نظر PM<sub>2.5</sub> در شرایط خوب قرار داشته است. هم چنین حداقل میزان وزنی-زمانی مواجهه فردی برای PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> به ترتیب  $\mu\text{g}-\text{h}/\text{m}^3 ۴۹۱/۲ - ۶۱۴$  و  $\mu\text{g}-\text{h}/\text{m}^3 ۳۶۸$  به دست آمد.

**بحث و نتیجه گیری:** افزایش غلظت گرد و غبار ناشی از کارخانه سبب انتقال این آلاینده ها (که ممکن است حاوی مواد محرك و خطرونگ باشد) به سمت مرکز شهرستان دورود و مناطق مسکونی می گردد. بنا بر این، توصیه می شود که از سیستم ها و روش های جدید مانند بگ فیلترها، بگ هوس ها و رسوب دهنده های الکتروستاتیکی به منظور کاهش گرد و غبار خروجی از دودکش این صنعت به محیط اطراف استفاده شود.

**واژه های کلیدی:** پراکنش گرد و غبار، کارخانه سیمان، PM<sub>10</sub>، PM<sub>2.5</sub>، مواجهه فردی

\*نویسنده مسئول: گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران

Email:Yusef\_omidi@yahoo.com

## مقدمه

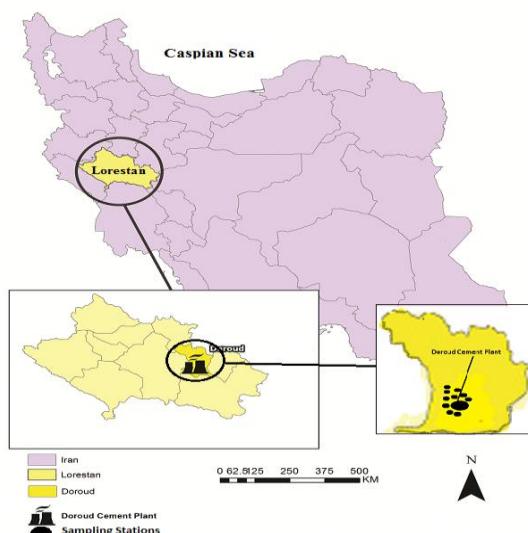
آلودگی هوا یکی از مهم ترین معضلات زیست محیطی در بهداشت جامعه بوده است(۱). صنعتی شدن، شهرسازی و رشد مداوم جمعیت، افزایش آلودگی هوا و محیط زیست را به دنبال داشته است. تماس مزمن با آلاینده های هوا یک مشکل گسترده جهانی می باشد. سازمان جهانی بهداشت (WHO) گزارش داد که سالانه بیش از ۲/۷ میلیون مرگ در رابطه با آلودگی هوا رخ می دهد(۲,۳). ذرات معلق، اصطلاح عمومی گرد و غبار موجود در هوا است و جزء مهم ترین آلاینده ها شناخته می شود که کیفیت هوای بسیاری از شهرهای جهان را تحت تاثیر قرار داده است(۴). ذرات می توانند در دو کلاس شامل ذرات درشت (PM<sub>≤10</sub>) و ذرات ریز (PM<sub>≤2/5</sub>) طبقه بندی گردند(۵,۶). بخش ذرات ریز دارای پتانسیل بالای برای نفوذ به عمق سیستم تنفسی می باشد. مطالعات ایپدیمیولوژی نشان داد که سالانه بیش از ۵۰۰۰ آمریکایی به دلیل بیماری هایی قلبی-عروقی مرتبط با PM<sub>≤2/5</sub> می میرند(۷). هم چنین طی تحقیقاتی که WHO در شهرهای رم و گپنهاک انجام داده بود به این نتیجه رسید که افزایش هر  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در میزان غلظت PM<sub>2.5</sub> سبب افزایش ۱۲ درصد بیماری های قلبی-عروقی و ۱۴ درصد سلطان ریه می شود(۸). ذرات معلق توسط باد منتقل می گردند و به وسیله حرکت توربولانت در اتمسفر پراکنده می گردند(۹). یکی از صنایعی که سبب آلودگی ذرات می گردد، صنعت سیمان می باشد. صنعت سیمان به طور قابل توجهی ذرات معلق (در نتیجه تغذیه مداوم مواد خام به درون کوره دوار) تولید می کند(۷). گرد و غبار حاصل از تولید سیمان، یک پودر قهوه ای رنگ با قطر آثرودينامیکی حدود  $0.05 \text{ }\mu\text{m}$  می باشد(۱۰). این اندازه ذرات سیمان در محدوده تنفسی انسان قرار دارد و لذا قرار گرفتن در معرض این ذرات سبب بروز علائم تنفسی می گردد(۱۱). منبع انتشار غبار کارخانه سیمان به طور عمده آسیاب مواد خام، سیستم کوره، کلینکر و آسیاب سیمان می باشد(۱۲) عامل خطر اصلی در پروسه تولید سیمان، گرد و غباری است که کارگران با آن مواجه می شوند که می توانند سبب اثرات حاد و

عوارض جانبی گردد(۱۳). گرد و غبار حاصل از تولید سیمان به عنوان مهم ترین نگرانی زیست محیطی در رابطه با تولید سیمان شناخته می شود(۳). در سنجش میزان مواجهه هر فرد با یک آلاینده، هوا، محدوده تنفسی شخص مورد نظر جهت بررسی میزان آلاینده های قابل استنشاق در نظر گرفته می شود. میزان مواجهه فردی به غلظت دریافتی یک آلاینده در یک مدت زمان مشخص توسط فرد اشاره دارد(۱۴). ذرات معلق، دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و ازن به عنوان آلاینده های شاخص جهت بررسی کیفیت هوا شناخته می شوند. وجود ذرات معلق در غلظت های بالاتر از حد استاندارد به عنوان یکی از علل اصلی کیفیت نامناسب هوا شناخته می شود(۱۵). در شهرهای صنعتی، افزایش غلظت ذرات معلق حاصل از فعالیت های صنعتی، اثر قابل توجهی در کاهش کیفیت هوا و در نتیجه پیامدهای بهداشتی حاصل از استنشاق آن دارد(۱۰,۱۵). طی مطالعه ای مارکون و همکاران(۲۰۱۴) به ارزیابی بین غلظت PM<sub>10</sub> خروجی از دودکش و غیبت از مدرسه در نزدیکی یک کارخانه سیمان بزرگ در ایتالیا پرداختند. میانگین غلظت PM<sub>10</sub> در دوره نمونه برداری  $34 \mu\text{/m}^3$  به دست آمد. مجریان گزارش گردند که هر افزایش  $2/5 \mu\text{/m}^3$  در میزان PM<sub>10</sub> سبب افزایش معنی دار  $2/5$  درصد در غیبت دانش آموزان از مدرسه می گردد(۱۶). در مطالعه ای دیگر نقاب و چوبینه(۲۰۰۷) با بررسی اثرات مواجهه با ذرات سیمان به این نتیجه رسیدند که رابطه معنی داری بین مواجهه کارگران با ذرات گرد و غبار سیمان و بروز علائم تنفسی وجود دارد(۱۷). ابوهایس و همکاران(۱۹۹۷) نشان دادند که ریسک ابتلاء به بیماری در کارگران در معرض مواجهه با ذرات گرد و غبار سیمان بیش از سایر کارگران می باشد(۱۸). یاکتین و بایرام(۲۰۱۰) در ترکیه نشان دادند که دودکش کارخانه سیمان سهم قابل توجهی در انتشار ذرات گرد و غبار و عناصر جرئی به محیط اطراف کارخانه دارد(۱۹). الماسی و همکاران(۲۰۱۳) میانگین ذرات PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در محیط اطراف کارخانه سیمان سامان کرمانشاه را به ترتیب  $90/37$  و  $27/18$  به دست آورندند(۲۰). عبدالوهاب(۲۱)، باروتیان و همکاران(۲۲)،

## مواد و روش ها

کارخانه سیمان دورود در استان لرستان و در شهرستان دورود قرار دارد. این کارخانه در مرکز شهر و همچوپان با مناطق مسکونی واقع شده است. کارخانه سیمان دورود فعالیت خود را از سال ۱۳۳۸ آغاز کرده است. میزان تولید این کارخانه در سه فاز ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۴۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۵۰۰ تن در روز می باشد(۲۵). شکل شماره ۱ جایگاه کارخانه سیمان دورود در نقشه کشور و نقاط نمونه برداری را نشان می دهد.

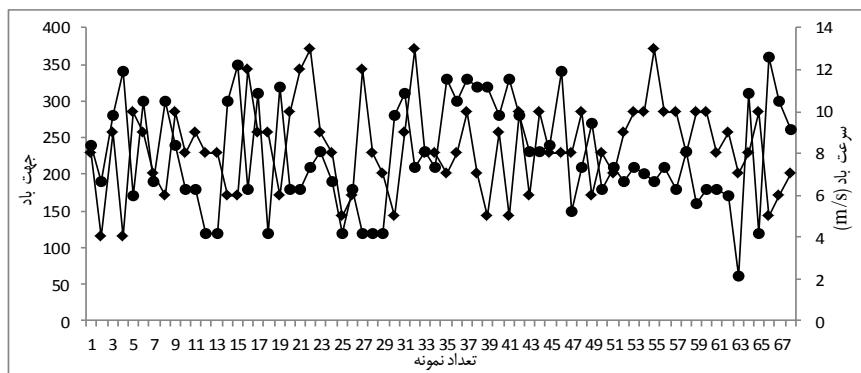
جان و همکاران(۲۳) و غلامی و همکاران(۲۴) نیز مطالعاتی روی گرد و غبار حاصل از تولید سیمان انجام داده اند. با توجه به تحت تاثیر قرار گرفتن جوامع مجاور و کارگران با آلاینده های تولیدی خصوصاً ذرات معلق که ممکن است حاوی عوامل محرك و خطرناک باشند، هدف از این مطالعه سنجش و ارزیابی اثر گرد و غبار خروجی از دودکش کارخانه سیمان دورود بر روی کیفیت هوای مجاور کارخانه سیمان و بررسی میزان مواجهه فردی با این آلاینده ها از نظر  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  می باشد.



شکل شماره ۱. جایگاه کارخانه سیمان در نقشه کشور

هنگام نمونه برداری متوجه گردید. بر روی سرعت و جهت باد بوده است و سعی شده است تا نمونه برداری در شرایط جوی آرام و در روزهای مختلف صورت پذیرد. در کل ۶۸ نمونه برای بررسی میزان  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  در ۳ دوره نمونه برداری به صورت هفتگی و به مدت ۳ ماه گرفته شد و میانگین نتایج با استاندارد WHO برای مواجهه روزانه مقایسه گردید. بر طبق رهنمود EPA نمونه برداری در محدوده تنفسی در ارتفاع ۱/۵ متری سطح زمین انجام گرفت(۲۶). اطلاعات مرتبط با جهت و سرعت باد در هر دوره نمونه برداری از ذرات معلق ثبت گردید و داده های حاصله در شکل شماره ۲ ارائه شده است.

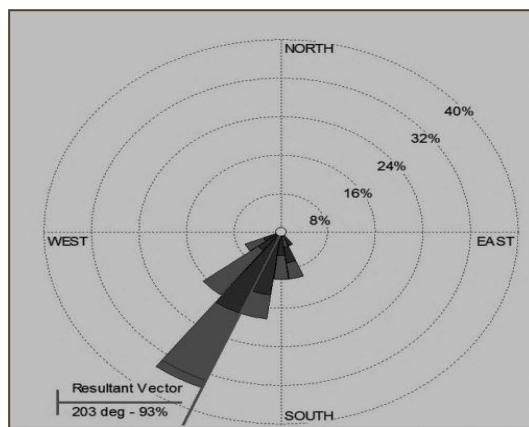
نمونه برداری ذرات معلق: در این مطالعه توصیفی-تحلیلی، سنجش ذرات معلق حاصل از تولید سیمان در محیط اطراف کارخانه انجام گرفت. ایستگاه های نمونه برداری در ۱۰ نقطه ( $S_{10}$  تا  $S_1$ ) اطراف کارخانه سیمان که از نظر مواجهه با ذرات معلق توسط کارگران و دیگر ساکنین منطقه و نیز جهت باد غالب به سمت مرکز شهر بیشتر مورد توجه بودند، در نظر گرفته شدند. به منظور اندازه گیری  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  از Dust Truck Aerosol Monitor TSI 8520 استفاده گردید. نمونه گیری بر اساس دستورالعمل سازمان محیط زیست آمریکا(EPA) انجام گرفت(طبق رهنمود سال ۲۰۰۲ توصیه شده است که هر ماه حداقل ۱۰ نمونه اخذ گردد)(۳). عمدۀ شرایط



شکل شماره ۲. سرعت و جهت باد غالب در زمان نمونه برداری از ذرات معلق

تهیه گردید و سرعت و جهت باد غالب را طریق رسم رز سرعت و جهت باد مشخص گردید. در شکل شماره ۳ رز سرعت و جهت باد در منطقه نمونه برداری ارائه شده است.

برای اکثر مطالعات مرتبط با سنجش ذرات معلق، بررسی اطلاعات هواشناسی حداقل ۵ ساله توصیه گردیده است. بنا بر این اطلاعات هواشناسی ۱۰ ساله شهرستان دورود از ایستگاه هواشناسی این شهرستان



شکل شماره ۳. رز ۵ ساله جهت و سرعت باد در منطقه نمونه برداری

رابطه ۱:

$$I_P = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} (C_P - BP_{LO}) + I_{LO} \quad (1)$$

که در آن  $I_P$  مقدار AQI برای آلاینده مورد نظر (PM) است. مقدار  $C_P$  غلظت واقعی در هوای آزاد،  $BP_{LO}$  و  $BP_{HI}$  به ترتیب حدود بالا و حدود پایین می باشد که غلظت مورد نظر در آن محدوده قرار می گیرد،  $I_{HI}$  و  $I_{LO}$  به ترتیب AQI ارائه شده در جدول شماره ۱ برای  $BP_{LO}$  و  $BP_{HI}$  می باشد (۲۷).

پس از محاسبه میانگین و انحراف معیار گرد و غبار در نمونه های گرفته شده، شاخص کیفیت هوای اطراف کارخانه سیمان دورود لرستان از نظر PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> توسط فرمول AQI (رابطه ۱) که توسط Center for Scientific and Environment ارائه شده است) به دست آمد تا کیفیت هوای محوطه کارخانه سیمان از نظر ذرات معلق توصیف گردد و سپس میزان مواجهه فردی یا مواجهه وزنی-زمانی (Time weighted average) با PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> توسط مدل ارائه شده (رابطه ۲)، محاسبه گردد.

جدول شماره ۱. میزان AQI برای غلظت های مشخصی از آلاینده (PM<sub>2.5</sub>)

PM( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	توصیف	میزان AQI
۰-۵۴	خوب	۰-۵۰
۵۵-۱۵۴	متوسط	۵۱-۱۰۰
۱۵۵-۳۵۴	غیر بهداشتی	۱۰۱-۲۰۰
۳۵۵-۴۲۴	خیلی غیر بهداشتی	۲۰۱-۳۰۰
>۴۲۵	بحاری	>۳۰۰

افزار WRPLOT View Freeware به کار گرفته شد.

### یافته های پژوهش

در این مطالعه در کل ۶۸ نمونه جمع آوری گردید. آنالیزهای آماری حاصل از سنجش ذرات معلق در ایستگاه های اطراف کارخانه سیمان شامل میانگین، انحراف معیار،  $\frac{\text{PM}_{2.5}}{\text{PM}_{10}}$  و نسبت  $\frac{\text{PM}_{2.5}}{\text{PM}_{10}}$  در جدول شماره ۲ ارائه شده است. بر این اساس بیشترین میانگین PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> به ترتیب  $۶۱.۴ \pm ۱۲.۰$  و  $۳۶.۸ \pm ۲.۱$  در ایستگاه شماره ۵ حاصل شده است. هم چنین در ۵ ایستگاه نمونه برداری میانگین مقادیر PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> از مقدار مواجهه روزانه بالاتر بوده است. بالاترین نسبت  $\frac{\text{PM}_{2.5}}{\text{PM}_{10}} = ۰.۷۵۸$  در ایستگاه شماره ۱ حاصل شده است. در شکل شماره ۴ همبستگی بین PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> با یک مقدار  $R^2 > ۰.۳۲$  ارائه گردیده است.

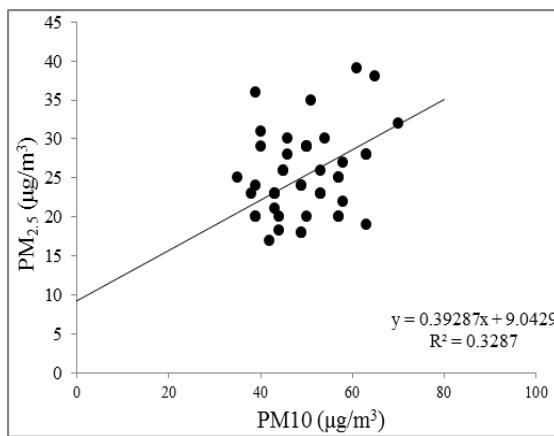
رابطه ۲:

$$E_i = \sum_{k=1}^m C_{ik} T_{ik} \quad (2)$$

در رابطه ۲ مقدار E<sub>i</sub> میزان مواجهه فردی ( $\mu\text{g}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ) و C<sub>ik</sub> غلظت ذرات قابل استنشاق در نقطه مورد نظر. هم چنین T<sub>ik</sub> مدت زمانی است که فرد در معرض ذرات مورد نظر سپری می کند(۲۸). این مدل توسط NAS (The National Academy of Sciences) معرفی گردید و میزان مواجهه استنشاقی را نشان می دهد (۲۹). بر این اساس ما از این معادله جهت بررسی میزان مواجهه فردی با گرد و غبار حاصل از تولید سیمان استفاده کردیم. در این مطالعه از نرم افزار SPSS vol.16 و آنالیزهای آماری T-test و ANOVA یک طرفه جهت ارتباط بین میانگین غلظت آلاینده های PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> استفاده گردید. هم چنین جهت رسم رزباد ۵ ساله شهرستان دورود نرم

جدول شماره ۲. میانگین و انحراف معیار مقادیر PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> - PM<sub>10</sub>، PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> در نمونه های گرفته شده در ایستگاه های اندازه گیری اطراف کارخانه سیمان

استاندارد $\frac{\text{PM}_{2.5}}{\text{PM}_{10}}$	میزان $\frac{\text{PM}_{2.5}}{\text{PM}_{10}}$	میزان PM <sub>2.5</sub> -PM <sub>10</sub>	میزان حد مجاز روزانه	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) انحراف معیار $\pm$ میانگین	میزان حد مجاز روزانه	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) انحراف معیار $\pm$ میانگین	نقاط نمونه برداری
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۷۵۸	۱۰/۲	۲۵	۳۲/۰ $\pm$ ۵/۶۵	۵۰	۴۲/۲ $\pm$ ۴/۹۴	S1
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۳۳۷	۴۰/۱	۲۵	۲۰/۴ $\pm$ ۲/۱۷	۵۰	۶۰/۵ $\pm$ ۲/۰۷	S2
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۵۸۰	۱۶/۸	۲۵	۲۲/۲ $\pm$ ۰/۱۹	۵۰	۴۰/۰ $\pm$ ۲/۵۳	S3
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۵۰۲	۲۲/۴	۲۵	۲۲/۶ $\pm$ ۲/۱۲	۵۰	۴۵/۰ $\pm$ ۸/۴۸	S4
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۵۹۹	۲۴/۶۰	۲۵	۳۶/۸ $\pm$ ۲/۱۲	۵۰	۶۱/۴ $\pm$ ۱۲/۰۲	S5
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۴۸۰	۲۸/۲	۲۵	۲۶/۱ $\pm$ ۰/۷۶	۵۰	۵۴/۳ $\pm$ ۱۴/۸۰	S6
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۶۹۶	۱۵/۴	۲۵	۳۵/۳ $\pm$ ۲/۹۴	۵۰	۵۰/۷ $\pm$ ۱۴/۶۴	S7
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۷۵۴	۹/۱	۲۵	۲۸/۰ $\pm$ ۲۴/۴	۵۰	۳۷/۱ $\pm$ ۲/۵۳	S8
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۴۳۹	۳۱/۱	۲۵	۱۸/۹ $\pm$ ۲/۱۲	۵۰	۴۳/۰ $\pm$ ۱۱/۳	S9
۰/۱۵-۰/۲۱	۰/۶۰	۱۴/۸	۲۵	۳۰ $\pm$ ۰/۷۶	۵۰	۵۰/۰ $\pm$ ۲/۱۲	S10

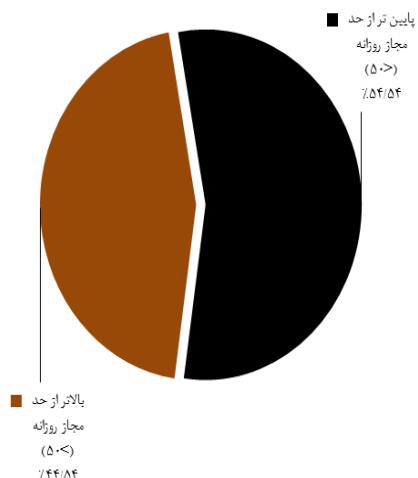
شکل شماره ۴. همبستگی بین غلظت ذرات PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در نمونه های مورد سنجش

توصیف شده است. جدول شماره ۳ مقادیر شاخص کیفیت هوا و میزان مواجهه فردی برای PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> را نشان می دهد. میانگین مواجهه استنشاقی فردی با ذرات معلق با توجه به مدت زمان متوسط بین ۸-۱۰ ساعت کار روزانه در این کارخانه و در معرض قرار گیری کارگرانی که در این مکان ها فعالیت می کنند، به دست آمده است. با توجه به جدول بالاترین میزان مواجهه فردی ۴۹۱/۲-۶۱۴ و ۳۶۸ μg-h/m<sup>3</sup> ۲۹۴/۴ محاسبه شده است. هم چنین شکل شماره ۵ و ۶ به ترتیب نشان دهنده سطح کیفیت هوا از نظر PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> و مقایسه با حدود استاندارد می باشد. با توجه به شکل شماره ۵ تنها در ۳/۰۶ درصد نمونه ها کیفیت هوا از نظر PM<sub>10</sub> در شرایط غیر بهداشتی قرار داشته است در حالی که برای ذرات PM<sub>2.5</sub> محدوده غیر بهداشتی ملاحظه نشده است.

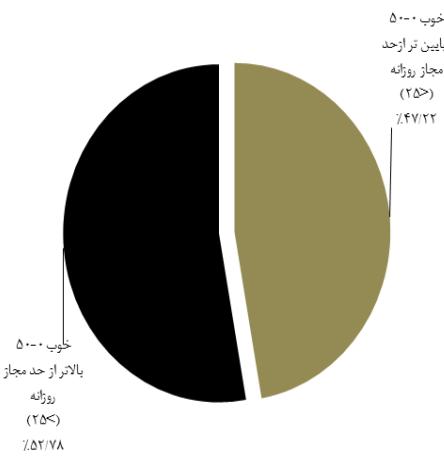
کیفیت هوا از نظر PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> و میانگین مواجهه فردی: بررسی کیفیت هوا محوطه اطراف کارخانه سیمان دورود از نظر PM<sub>10</sub> نشان داد که کیفیت هوا در طول نمونه برداری در ۲۳/۱۵ درصد در محدوده خوب (AQI<۵۰)، ۷۳/۷۹ درصد در محدوده کیفیت متوسط (AQI<۱۰۰) و ۳/۰۶ درصد در محدوده غیر بهداشتی (AQI>۱۰۰) قرار داشته است. هم چنین در ۱۰۰ درصد نمونه ها کیفیت هوا از نظر PM<sub>2.5</sub> در استاندارد میزان مواجهه روزانه WHO ۴۴/۵۴ درصد PM<sub>2.5</sub> و ۵۲/۷۸ درصد نمونه های AQI از محدوده مجاز بالاتر بوده اند. بیشترین مقدار PM<sub>10</sub> در ایستگاه شماره ۵ با مقدار ۱۹۵/۶ برای PM<sub>10</sub> به S<sub>10</sub> و S<sub>9</sub>، S<sub>8</sub>، S<sub>3</sub> در ۴ ایستگاه AQI دست آمد. مقدار PM<sub>2.5</sub> در ۵ ایستگاه S<sub>1</sub>، S<sub>2</sub>، S<sub>3</sub>، S<sub>4</sub>، S<sub>5</sub> هم برای PM<sub>10</sub> و هم برای PM<sub>2.5</sub> در محدوده خوب

جدول شماره ۳. بررسی شاخص کیفیت هوا اطراف کارخانه سیمان برای ذرات معلق و میزان مواجهه فردی (μg-h/m<sup>3</sup>) با آن ها

PM <sub>2.5</sub> میزان مواجهه فردی با μg-h/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> با میزان مواجهه فردی μg-h/m <sup>3</sup>	توصیف کیفیت هوا	AQI PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	توصیف کیفیت هوا	AQI PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	نقاط نمونه برداری
۲۵۶-۳۲۰	۴۴۲-۳۷۷/۶	خوب	۲۵	متوسط	۵۹/۷۶	S1
۱۶۳/۲-۲۰۴	۴۸۴-۶۰۵	خوب	۲۵/۰۱	غیر بهداشتی	۱۵۸/۹	S2
۱۸۵/۶-۲۳۲	۳۲۰-۴۰۰	خوب	۱۰	خوب	۲۱/۶	S3
۱۸۰/۸-۲۲۶	۳۶۰-۴۵۰	خوب	۲۶/۶	متوسط	۸۱	S4
۲۹۴/۴-۳۶۸	۴۹۱/۲-۶۱۴	خوب	۳۰	غیر بهداشتی	۱۹۵/۶	S5
۲۰۸/۸-۲۶۱	۴۳۴/۴-۵۴۳	خوب	۲۱	متوسط	۶۳	S6
۲۸۲/۴-۳۵۳	۴۰۵/۶-۵۰۷	خوب	۳۱/۵	متوسط	۹۸/۶۳	S7
۲۲۴-۲۸۰	۴۹۶/۸-۴۷۱	خوب	۲۵	خوب	۲۱	S8
۱۵۱/۲-۱۸۹	۴۴۴-۴۳۰	خوب	۳۱/۶	خوب	۲۵	S9
۲۴۰-۳۰۰	۴۰۰-۵۰۰	خوب	۵۰	خوب	۲۵	S10



شکل شماره ۵. سطح کیفیت هوا از نظر غلظت ذرات معلق( $PM_{10}$ ) در نمونه های مورد سنجش و مقایسه با محدوده مجاز روزانه( $50\mu g/m^3$ )



شکل شماره ۶. سطح کیفیت هوا از نظر غلظت ذرات معلق( $PM_{2.5}$ ) در نمونه های مورد سنجش و مقایسه با محدوده مجاز روزانه( $25\mu g/m^3$ )

تنفسی در کره گزارش کردند(۲۱). بیشترین میانگین غلظت  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  اندازه گیری شده در ایستگاه های شماره ۱ تا  $S_{10}(10)$  به ترتیب  $61/4 \pm 12/02$  و  $36/8 \pm 2/12$  در ایستگاه شماره ۵ حاصل شده است و این مقدار برای  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  از میزان استاندارد WHO روزانه مواجهه با ذرات معلق رهنمودی توسط متijoaz می باشد. در حالی که در مطالعه الماسی و همکاران بر روی ذرات گرد و غبار محیط اطراف کارخانه سیمان سامان کرمانشاه میانگین اندازه گیری این دو آلاینده از استاندارد پایین تر بوده است(۳۰). حد مجاز مواجهه با ذرات معلق  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  بر طبق رهنمود WHO به ترتیب برابر  $50\mu g/m^3$  و  $25\mu g/m^3$

## بحث و نتیجه گیری

بررسی غلظت آلاینده ها و تعیین کیفیت هوای حاصل فعالیت یک صنعت به منظور پایش مداوم و اثرات آن روی جوامع مجاور و کارگرانی که در محل مشغول به کار می باشند از اولویت برخوردار می باشد(۲۴). با توجه به نوع فعالیت صنایع، تغییرات PM تحت تاثیر نوع و مقدار تولید و مدت زمان فعالیت در صنعت مورد نظر دارد. بنا بر این تغییرات غلظت  $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$  در فصول مختلف و شرایط متفاوت هواشناسی می تواند افزایش یا کاهش یابد(۲۳). وون و همکاران یک ارتباط اماری قابل توجهی بین غلظت گرد و غبار و میزان مرگ و میر به علت بیماری های قلبی-عروقی و

در محوطه کارخانه سبب انتقال این آلاینده‌ها(که ممکن است حاوی مواد محرک و خطرناک باشد) به سمت مرکز شهرستان دورود و مناطق مسکونی می‌گردد. با بررسی AQI هوای اطراف کارخانه سیمان، نتایج نشان دهنده سالم بودن نسبی هوا از نظر ذرات معلق دارد(AQI<100). زیرا در ۹۶/۹۴ درصد نمونه‌ها میزان AQI کمتر از ۱۰۰ بوده است و تنها در ۳/۰۶ AQI>150) قرار داشته است. با توجه به جدول شماره ۳ و اشکال شماره ۵ و ۶ بالاترین مقدار AQI در ایستگاه شماره ۵ با مقدار ۱۹۵/۶ برای PM<sub>10</sub> و در ایستگاه شماره ۱۰ با مقدار ۵۰ برای PM<sub>2.5</sub> حاصل شده است. تنها در دو ایستگاه S<sub>2</sub> و S<sub>5</sub> مقدار PM<sub>10</sub> در شرایط غیر بهداشتی بر این کسانی که در این دو ایستگاه مشغول به فعالیت در زمان‌های طولانی هستند بیشتر در معرض آسیب‌های بهداشتی هستند. در حالی که در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی میزان AQI برای PM<sub>2.5</sub> در شرایط بهداشتی خوب قرار داشته است.

اگر داده‌های حاصل از این مطالعه بیانگر میزان مواجهه برای کارگرانی باشد که روزانه به طور متوسط بین ۸ تا ۱۰ ساعت در محل کار خود حضور دارند و به نحوی با ذرات معلق در تماس می‌باشند، لذا لازم است تا میانگین وزنی-زمانی(TWA) یا مواجهه فردی برای آن‌ها محاسبه گردد. در این مطالعه بر طبق جدول شماره ۳ حداکثر میزان مواجهه فردی در ایستگاه شماره ۵ برای PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> به ترتیب ۴۹۱/۲-۶۱۴ و ۳۶۸ µg-h/m<sup>3</sup> به دست آمد که از این نظر کارگران مشغول فعالیت در این ایستگاه درای بیشترین مواجهه با ذرات معلق می‌باشند. در مطالعه حسین زاده و همکاران در شهر همدان میزان مواجهه فردی برای ذرات PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> به ترتیب ۵۲۴/۷۹ و ۳۸۶ µg-h/m<sup>3</sup> و مطابقت دارد(۳۴). این میزان مواجهه وزنی-زمانی به صورت استنشاقی می‌تواند در طولانی مدت سبب مخاطرات جدی بهداشتی برای کارگران در معرض گرد و غبار در این کارخانه و افرادی که در این محوطه فعالیت می‌کنند، گردد. این مطالعه به منظور بررسی

می‌باشد. بر این اساس میانگین PM<sub>10</sub> در ۵ ایستگاه S<sub>2</sub>، S<sub>5</sub>، S<sub>6</sub>، S<sub>7</sub> و S<sub>10</sub> و میانگین PM<sub>2.5</sub> در ایستگاه‌های S<sub>1</sub>، S<sub>5</sub>، S<sub>6</sub>، S<sub>7</sub> و S<sub>8</sub> از رهنمود WHO بالاتر بوده است. حداکثر میانگین PM<sub>10</sub> در این مطالعه کمتر از نتایج مطالعه احرامپوش و امینی پور در یزد با حداکثر میزان ۴۳۰ µg/m<sup>3</sup> می‌باشد(۳۱). باروتیان و همکاران طی مطالعه‌ای روی کارخانه سیمان کرمان میانگین ۳۸۰ µg/m<sup>3</sup> در پایین دست جهت باد را میزان PM<sub>10</sub> در پایین دست آوردند که از میانگین سالیانه WHO با مقدار ۲۶۰ µg/m<sup>3</sup> و نتایج حاصل از این مطالعه بالاتر بوده است(۲۲).

بر اساس آنالیز آماری Independent Sample T-test اختلاف میانگین مقادیر PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> در ایستگاه‌های نمونه برداری معنادار نبود(P>0.05). هم‌چنین آنالیز واریانس یک طرفه برای میانگین PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> در هر ایستگاه نشان داد که میزان تفاوت مقادیر PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub> معنادار نبود است(P>0.05). بنا بر این در هر ایستگاه سنجش گرد و غبار، افزایش غلظت PM<sub>10</sub> بر غلظت PM<sub>2.5</sub> اثر گذار نمی‌باشد.

ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون دارای پتانسیل بالایی در نفوذ به اعمق ریه و اثرات تنفسی و قلبی-عروقی می‌باشند. در این مطالعه حداکثر میزان PM<sub>2.5</sub> بالاتر از میانگین PM<sub>2.5</sub> اندازه گیری شده در مطالعه اگانتوک و همکاران در روستاهای مجاور کارخانه سیمان در نیجریه با مقدار ۱۱ µg/m<sup>3</sup> بوده است(۳۲). با توجه به جدول شماره ۲ مقدار ۲ در محدوده ۰/۷۸-۰/۴۳۹ PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> به دست آمده است. در کلیه موارد میزان PM<sub>10</sub> از استاندارد EPA با مقدار ۰/۲۵-۰/۱۵ میزان PM<sub>2.5</sub> را نشان می‌دهد بخش زیادی از PM<sub>10</sub> را تشکیل می‌دهد. در حالی که در مطالعه شارما و همکاران بر روی کارخانه سیمان در هند این نسبت ۰/۴۸-۰/۲۷ می‌باشد(۳۳) که پایین تر از نتایج به دست آمده حاصل از این مطالعه می‌باشد.

با توجه به شکل شماره ۳(رزیاد ۵ ساله شهرستان دورود) و با توجه به این که جهت باد غالب از سمت جنوب غربی کارخانه سیمان می‌وزد و این کارخانه نیز در محدوده شهرستان دورود و همچوar با مناطق مسکونی واقع شده است لذا افزایش غلظت گرد و غبار

مهمنی را سبب می شوند. بنا بر این توجه به میزان آلایندگی این سازه ها و استفاده از روش های نوین برای کنترل آلودگی ایجاد شده به وسیله آن ها مانند بگ فیلتر، بگ هوس، رسوب دهنده های الکتروستاتیکی و فیلترهای هیبریدی می تواند تا حد زیادی از آسیب های زیست محیطی و بهداشتی خصوصاً اثرات مضر برای کارکنان این حیطه بکاهد. به طور کلی چنین می توان 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.

### سپاسگزاری

این مطالعه حاصل قسمتی از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه علوم پزشکی لرستان می باشد. نویسندهای این مقاله برخود لازم می دانند به دلیل فراهم کردن شرایط مناسب همکاری در اجرای این تحقیق مراتب تقدیر و تشکر خود را از مسئول محیط زیست کارخانه سیمان دورود آقای مهندس حسینی ابراز نمایند.

غلظت ذرات معلق( $PM_{10}$  و  $PM_{2.5}$ ) در محیط اطراف کارخانه سیمان دورود انجام گرفت. کیفیت هوا مرتبط با ذرات معلق سنجیده شده و نیز میزان مواجهه فردی با آن ها به دست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد که فناوری کنترل آلاینده های خروجی کارخانه سیمان دورود جهت کنترل گرد و غبار از کارایی نسبتاً مطلوبی برخوردار می باشد زیرا نتایج داده های مورد آنالیز تقارب و تجانس نسبتاً مقبولی با استاندارد WHO و شاخص کیفیت هوا دارا می باشد(۳۰، ۳۵).

برخی ذرات معلق ممکن است حاوی ملکول های گازی محرك باشند. افرادی که بخشی از اوقات روزانه خود را در این مکان ها می گذرانند در خطر آسیب های تنفسی ناشی از این گرد و غبار قرار دارند که در صورت استنشاق ممکن است مستقیماً روی بافت بدن ایجاد اثرات سوء کنند. این چنین ذراتی معمولاً در غلظت های بالا یافت نمی شوند. شدت اثر ذرات معلق روی بدن انسان به قدرت نفوذ این ذرات در دستگاه تنفسی و میزان سمیت آن ها بستگی دارد. سازه های بزرگ هم چون کارخانجات سیمان که حجم وسیعی از ذرات گرد و غبار را وارد محیط می کنند همواره مشکلات

### References

- Perez P, Reyes J. An integrated neural network model for PM<sub>10</sub> forecasting. *Atmos Environ* 2006;40:2845-51.
- Nourmoradi H, Goudarzi G, Daryanoosh SM, Omidkhaniabadi F, Jourvand M, Omidkhaniabadi Y. Health impacts of particulate matter in air by AirQ model in Khorramabad city Iran. *J Bas Res Med Sci* 2015; 2:44-52.
- Daryanoosh SM, Goudarzi G, Omidkhaniabadi Y, Armin H, Bassiri H, Khaniabadi FO. Effect of exposure to PM<sub>10</sub> on cardiovascular diseases hospitalizations in Ahvaz Khorramabad and Ilam Iran During 2014. *IJHSE* 2016;3:428-33.
- Taiwo AM, Harrison RM, Shi Z. A review of receptor modelling of industrially emitted particulate matter. *Atmos Environ* 2014;97:109-20.
- Nourmoradi H, Omidkhaniabadi Y, Goudarzi G, Daryanoosh SM, Khoshgoftar M, Omidkhaniabadi F, et al. Air quality and health risks associated with exposure to particulate matter: A cross sectional study in Khorramabad Iran. *Health Scope* 2016; 22:144-9.
- Ghermandi G, Fabbi S, Zaccanti M, Bigi A, Teggi S. Micro-scale simulation of atmospheric emissions from power plant stacks in the Po Valley. *APR* 2015;6:6-11.
- Abril GA, Wannaz ED, Mateos AC, Pignata ML. Biomonitoring of airborne particulate matter emitted from a cement plant and comparison with dispersion modelling results. *Atmos Environ* 2014;82: 154-63.
- Yazdanparast T, Salehpour S, Masjedi MR, Azin SA, Seyedmehdi SM, Boyes E, et al. Air pollution: the knowledge and ideas of students in Tehran-Iran, and a comparison with other countries. *Acta Med Iran* 2013;51:487-93.
- Isikli B, Demir T, Akar T, Berber A, Urer S, Kalyoncu C, et al. Cadmium exposure from the cement dust emissions a

- field study in a rural residence. *Chemosphere* 2006;63:1546-52.
10. Mohebbi A, Baroutian S. A detailed investigation of particulate dispersion from Kerman cement plant. *Iran J Chem Chem Eng* 2006;3:65-74.
11. Engelbrecht J, Joubert J, Harmse J, Hongoro C. Optimising a fall out dust monitoring sampling programme at a cement manufacturing plant in South Africa. *Afr J Environ Sci Technol* 2013;7:128-39.
12. Mwaiselage J, Bratveit M, Moen B, Mashalla Y. Cement dust exposure and ventilator function impairment an exposure response study. *J Occup Environ Med* 2004;46:658-67.
13. Mwaiselage J, Bratveit M, Moen B, Yost M. Variability in dust exposure in a cement factory in Tanzania. *Ann Occup Hyg* 2005;49:511-9.
14. Kulkarni M, Patil R. Monitoring of daily integrated exposure of outdoor workers to respirable particulate matter in an urban region of India. *Environ Monit Assess* 1999;56:46-129.
15. Hoseinzadeh E, Samarghandy M, Ghorbani Shahna F, Roshanaei G, Jafari J. [Rate of suspended particulate distribution (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and TSP) in Hamadan main intercity bus stations and its exposure rate]. *J Health Sys Res* 2013;8:1245-549. (Persian)
16. Marcona A, Pesce G, Girardi P, Marchetti P, Blengio G, Sappadin SZ, et al. Association between PM<sub>10</sub> concentrations and school absences in proximity of a cement plant in northern Italy. *Int J Hyg Environ Health* 2014;217:386-91.
17. Neghab M, Choobineh A. [Work related respiratory symptoms and ventilatory disorders among employees of a cement industry in Shiraz, Iran]. *J Occup Health* 2007;49:273-8. (Persian)
18. AbuDhaise B, Rabi A, Zwairy M, Hader A, Qaderi S. Pulmonary manifestations in cement workers in Jordan. *Int J Occup Med Environ Health* 1997;10:417-28.
19. Yatkin S, Bayram A. TSP, PM depositions, and trace elements in the vicinity of a cement Plant and their source apportionments using chemical mass balance model in Izmir, Turkey. *Environ Monit Assess* 2010;167:125-41.
20. Almasi A, Asadi F, Mohamadi M, Farhadi F, Atafar Z, Khamutian R, et al. [Survey of Pollutant emissions from stack of Saman cement factory of Kermanshah city from year 2011 to 2012]. *J Health Field* 2013;1:36-44. (Persian)
21. Abdulwahab S. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecol Model* 2006;195:338-48.
22. Baroutian S, Mohebi A, Goharrizi SA. Measuring and modeling particulate dispersion a case study of Kerman cement plant. *J Hazard Mater* 2006;136:468-74.
23. Ujoh F, Ifatimehin OO, Kwabe ID. Estimating plume emission rate and dispersion pattern from a cement plant at Yandev Central Nigeria. *Res Environ* 2014;4:115-38.
24. Kakoli H, Gholami A, Ghasemkhani M. [Survey of exposure to cement dust and its effects on respiratory function in worker of a cement complex]. *O foghe danesh* 2012;18:60-6. (Persian)
25. Ahmed HO, Abdullah AA. Dust exposure and respiratory symptoms among cement factory workers in the United Arab Emirates. *Ind Health* 2012;50:214-22.
26. Goudarzi G, Shirmardi M, Khodarahmi F, Hashemishahraki A, Alavi N, Ankali KA, et al. Particulate matter and bacteria characteristics of the Middle East Dust (MED) storms over Ahvaz Iran. *Aerobiologia* 2014;30:52-9.
27. Goyal P. Flexibility in estimating air quality index: a case study of delhi. *Glob J Flex Sys Manag* 2001;2:39-44.
28. Kulkarni M, Patil R. Monitoring of daily integrated exposure of outdoor workers to respirable particulate matter in an urban region of India. *Environ Monit Assess* 1999;56:129-46.
29. Demetrios J, Watson J, DAbreton P, Scire J, Zhu T, Klein W, et al. Chapter three methodology of exposure modeling. *Chemosphere* 2002;49:923-46.
30. Almasi A, Moradi M, Sharifi K, Abbasi S. [Seasonal variation in air quality of Kermanshah city in terms of PM<sub>10</sub> Concentration over a four-year period (2008-2011)]. *J Health Sanit* 2014;5:149-58. (Persian)
31. Ehrampoosh M, Aminipoor M. Determin of some pollutant in Yazd city. *J*

- Shaheed Sadoughi Univ Med Sci 1999;7:27-32.
32. Olusegon O, Abidemi A, Harold A. Impact of cement factory operations on air quality and human health in Ewekoro local government area South-Western Nigeria. *Int J Environ Stud* 2012;1:1-12.
33. Rajnikant S, Pervez S. Seasonal variation of PM10 and SPM levels in ambient air around a cement plant. *JSIR* 2003;62:827-33.
34. Hoseinzadeh E, Samarghandi M, Ghorbani Shahna F, Chavoshi E. Isoconcentration mapping of particulate matter in Hamedan intercity bus stations. *Water Environ J* 2012;27:1-7.
35. Shahsavani A1, Naddafi K, Jaafarzadeh Haghhighifard N, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, et al. Characterization of ionic composition of TSP and PM10 during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz Iran. *Environ Monit Assess* 2012;11:22-9.



## Investigation on the Dust Dispersion (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) by Doroud Cement Plant and Study of Its Individual Exposure Rates

Nourmoradi H<sup>1</sup>, Omidikhanabadi Y<sup>2\*</sup>, Goudarzi G<sup>3</sup>, Jourvand M<sup>2</sup>, Nikmehr K<sup>4</sup>

(Received: December 22, 2014)

Accepted: September 14, 2015)

### Abstract

**Introduction:** Dust originated from cement production is one of the most important environmental problems. Doroud Cement Plant is one of pollutant industries in Doroud Township. The aim of this study was to survey the dust amounts measuring (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), air quality investigation in terms of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> and compute of individual exposure rate.

**Materials & methods:** In this analytical-description study, Dust Truck Model TSI 8520 was used for the sampling of particulate matter. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations were evaluated in 10 sampling stations in surrounding of cement plant according to the EPA guideline. These stations were important in terms of exposure with dust. The data was analyzed by SPSS-16.0 software and statistics tests of One-way ANOVA and T-test.

**Findings:** The results of this study showed that the maximum concentration of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> was 61.4±12.02 µg/m<sup>3</sup> and 36.8±2.12 µg/m<sup>3</sup>, respectively. In 3.06 % of the samples of PM<sub>10</sub>, the air quality was in unhealthy state and 100 % of the samples of PM<sub>2.5</sub>, the air quality were reported to be in good condition. In addition, the amounts of personal exposure with PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> were in the range of 491.2-614 µg-h/m<sup>3</sup> and 294.4-368 µg-h/m<sup>3</sup>, respectively.

**Discussion & Conclusions:** Increase of dust concentration from the plant stack has been transferred the irritant and hazardous pollutants to the Doroud Township and residential areas. Therefore, it is recommended that novel methods such as Bag Filters, Bag Houses and Electrostatic Precipitators (ESP) should be used to reduce the dust from stack.

**Keywords:** Dust Dispersion, Cement Plant, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Individual exposure

1. Dept of Environmental Health, Faculty of Health, Ilam University of Medical Sciences, Ilam, Iran

2. Dept of Environmental Health, Faculty of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran

3. Dept of Environmental Health, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

4. Dept of Occupational Health, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

\*Corresponding author Email: Yusef\_omidi@yahoo.com