ارزیابی آلودگی هوا ناشی از صنعت سیمان:

مطالعه موردی کارخانه سیمان کرمان

ایمان آقاملایی[۱]، غلامرضا لشکری پور[۲]، محمد غفوری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۱۵ تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۳

چکیده

زمینه و هدف: امروزه آلودگی هوا به‌عنوان یکی از معضلات مهم شهرنشینی و زندگی صنعتی مطرح بوده و زندگی تمام افراد جامعه تحت تأثیر این مسئله قرار گرفته است. صنعت سیمان نیز یکی از صنایع کلیدی در کشورهای در حال توسعه می‌باشد که در اجرای پروژه‌های مختلف کاربرد زیادی دارد. بااین‌وجود این صنعت یکی از صنایع آلوده‌کننده زیست‌محیطی محسوب می‌گردد. در این تحقیق آلودگی زیست‌محیطی کارخانه سیمان کرمان که در حاشیه غربی شهر کرمان قرار دارد مورد بررسی قرار گرفته است.

روش بررسی: برای این منظور جهت تعیین میزان ذارت معلق PM2.5 و PM10 هوای محیط در چهار ضلع کارخانه از دستگاه فتومتر DUST TRAK و از روش BS-EN-12341 استفاده شده است. جهت تعیین ذرات معلق خروجی دودکش‌ها با استفاده از دستگاه گاز سنج بر اساس بخش EPA Metho 2 میزان وزن مولکولی گاز خروجی در مواردی که غبار به همراه گازهای احتراقی وجود دارد محاسبه گردید. جهت بررسی غلظت گازهای خروجی حاصل از احتراق از الکتروفیلتر کوره شماره ۱ ، ۲ و ۳ نیز با دستگاه OPTIMA7 نمونه‌برداری صورت گرفت. لازم به ذکر است که این مطالعه طی سال‌های ۹۲-۸۹ انجام گردیده است.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که حداکثر غلظت ذرات معلق PM2.5 و PM10 متعلق به ضلع جنوبی- مجاور درب ورودی سال ۱۳۸۹ و ضلع شرقی- روبروی دپوی کلینکر سال ۱۳۹۱ و ضلع غربی- روبروی معدن مواد اولیه (آلوویم) سال ۱۳۸۹ می‌باشد که بیش‌ازحد مجاز است.

نتیجه‌گیری: در ارتباط با مواد خروجی از دودکش و غبار محیطی می‌توان گفت که اگرچه غلظت گردوغبار در برخی از سال‌ها بیش از حدود استاندارد می‌باشد ولی در مجموع می‌توان غلظت غبار خروجی و محیط را بخصوص در سال ۹۲ قابل‌قبول ارزیابی کرد.

کلیدواژه‌ها: کارخانه سیمان کرمان، محیط، آلودگی هوا.

مقدمه

یکی از صنایع بزرگ و استراتژیک کشور صنعت سیمان می‌باشد. سیمان به‌عنوان پایه توسعه کشور، در احداث مسکن، پروژه‌های سدسازی، کارخانجات صنعتی، ساختمان‌ها، توسعه راه‌ها و ... نقش اساسی دارد. با افزایش رشد صنعت سیمان، کارخانجات سیمان سهم عمده‌ای در افزایش آلودگی محیط‌زیست را کسب می‌کنند. با توجه به ماهیت صنعت سیمان و ماشین‌آلات مورد استفاده در آن عوامل زیان‌آور متعددی در محیط کار صنایع سیمان چه در مرحله ساخت و چه در مرحله بهره‌برداری سلامتی شاغلین را متأثر می‌سازد [۱]. در این راستا آلودگی هوا از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی این صنعت بشمار می‌رود. آلودگی هوا یکی از پدیده‌های تأثیرگذار بر کیفیت زندگی انسان است که می‌تواند کارایی و سلامت جوامع وسیعی را دچار مشکل کند. برخی از عواملی که سبب ایجاد آلودگی می‌گردند عبارت‌اند از گردوغبار که عمدتاً در مراحلی مانند استخراج، حمل‌ونقل، انبار و آسیاب کردن مواد اولیه و محصول تولید می‌گردد، از مهم‌ترین آلاینده‌های دیگر می‌توان CO_2، CO، SO_2 و NO_x را نام برد که دارای دو منشأ اصلی یعنی واکنش‌های شیمیایی مواد اولیه در اثر حرارت و سوخت مصرفی کارخانه می‌باشند [۲]. با گسترش این صنعت تعداد کارگرانی که به اقتضای شغل در تماس با گرد و غبار سیمان هستند رو به افزایش

۱- (نویسنده مسئول) دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. imaneng189@gmail.com
۲- استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

است. به‌طورکلی تولید سیمان یک فرآیند آلوده‌کننده است و عوامل زیان‌آور متعددی در محیط کار سلامتی شاغلین را متأثر می‌سازد [۳].

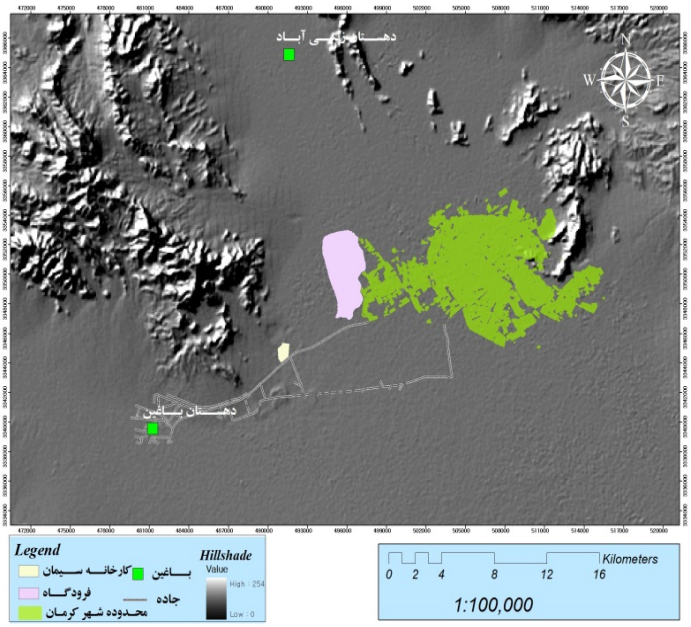
عوارض شغلی ناشی از تماس با گردوغبار سیمان متعدد است و مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از درماتیت، رینیت، آسم شغلی، برونشیت مزمن و سیلیکوزیس [۴]. مطالعات مختلفی در مورد ارزیابی اثرات حاد و مزمن مواجهه با گردوغبار سیمان صورت گر فته است [۵] در تعدادی از مطالعات رابطه معنی‌داری بین تماس با گردوغبار سیمان و علائم تنفسی مزمن و کاهش ظرفیت‌های ریوی مشاهده شده است [۶].

مطالعاتی که در خصوص ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه سیمان بر محیط اطراف صورت گرفته است این صنعت را به‌عنوان یک منبع منتشرکننده‌ی مهم گاز دی‌اکسید کربن معرفی می‌کند [۷]. تولید گاز گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن می‌تواند اثر زیادی بر گرم شدن زمین داشته باشد [۸]. انتظار می‌رود که این صنعت برای کاهش انتشاراتش و همچنین شرکت بیشتر در کاهش خطرات ناشی از گرم شدن زمین، تحت فشارهای کنترلی قرار بگیرد [۹]. محققان زیادی با بررسی اثرات زیست‌محیطی کارخانه سیمان، فرایند و انرژی مربوط به انتشار و گزینه‌های کاهش انتشار دی‌اکسید کربن برای صنعت سیمان را مورد بحث و ارزیابی قرار داده‌اند [۱۰،۱۱].

بنابراین صنعت سیمان با تولید آلاینده‌هایی که ذکر آن رفت به‌عنوان یکی از صنایع آلوده‌کننده محیط‌زیست شناخته شده است [۱۲] و هزینه‌های اجتماعی بسیار سنگینی را به لحاظ جبران خسارت‌های فوق بر دولت‌ها تحمیل می‌نماید [۱۳]، بدیهی است که در چنین شرایطی یکی از نگرانی‌های اصلی صنعت سیمان، تأمین منافع زیست‌محیطی و عدم تخریب محیط‌زیست می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی آلودگی هوا ناشی از کارخانه سیمان کرمان می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی و مشخصات کلی کارخانه:

این کارخانه در حاشیه غربی شهر کرمان قرار دارد (شکل ۱). کارخانه سیمان کرمان به‌عنوان اولین تولیدکننده سیمان در منطقه جنوب شرق کشور انواع مختلف سیمان را تولید می‌کند و از جهت تنوع تولید و



شکل ۱- موقعیت کارخانه سیمان کرمان

کیفیت محصول در صدر جدول تولیدکنندگان سیمان کشور می‌باشد. در این کارخانه انواع مختلف سیمان پرتلند نوع دو، نوع پنج، نوع پوزولانی، سیمان چاه نفت کلاس G و سیمان‌های خاص با توجه به تقاضا و نیاز مشتری تولید می‌شود. از معدود کارخانه‌هایی است که قابلیت تولید سیمان‌های خاص از جمله سیمان چاه نفت کلاس G، سیمان‌های با مقاومت فشاری بسیار بالا و کم آلکالی (اکسیدهای قلیایی Na_2O,K_2O کمتر از ۰/۶ درصد) را دارد.

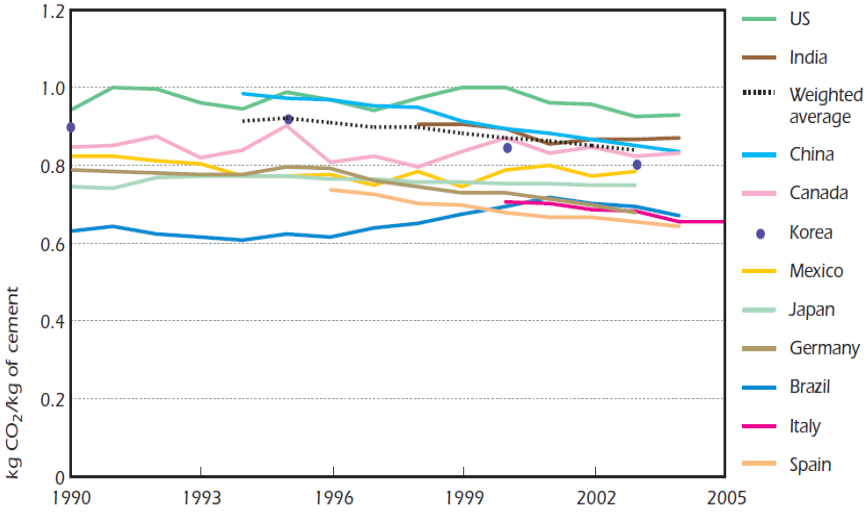
مهم‌ترین آلاینده‌های صنعت سیمان: عمده‌ترین گازهایی که در حین فرایند تولید سیمان تولید می‌شوند عبارت‌اند از دی‌اکسید کربن (CO_2)، مونوکسید کربن (CO)، دی‌اکسید گوگرد (SO_2)، سولفید هیدروژن (H_2S) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x). از فراوان‌ترین و مهم‌ترین اکسیدهای نیتروژن، اکسید نیتروژن (NO) و دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) هستند. به مجموع این دو Nox نیز گفته می‌شود.

یکی از مهم‌ترین گازهای تولیدی در این صنعت گاز CO_2 می‌باشد که در ادامه به تفضیل معرفی می‌شود.

دی‌اکسید کربن (CO_2): همان‌طور که ذکر شد یکی از مهم‌ترین گازها در صنعت سیمان گازCO_2 است. به‌طوری‌که سهم این صنعت در تولید گاز CO_2، ۸ درصد می‌باشد. در تولید سیمان دی‌اکسید کربن از اکسیداسیون کربنات در فرایند تولید کلینکر (دانه‌های حاصل از حرارت دادن به سنگ‌آهک و آلومینیوم سیلیکات که قطر ۲۵-۳ میلی‌متر دارند) تولید می‌شود. این فرایند یکی از فرایندهای اصلی صنعت سیمان و همچنین یکی از بزرگ‌ترین منابع غیر احتراقی انتشار CO_2 است و حدود ۴٪ کل انتشارات دی‌اکسید کربن را در جهان به خود اختصاص داده است. همچنین انتشار CO_2 در طی فرایندهای احتراقی تولید سیمان نیز در همین سطح قرار گرفته و لذا در مجموع ۸ درصد کل انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از تولید سیمان است. با در نظر گرفتن انتشار کربن فرایندی، سهم کشور چین به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان که تنها ۱ درصد تولیدات خود را صادر می‌کند، ۵۷ درصد است و بیشترین سهم در تولید دی‌اکسید کربن در صنعت سیمان را دارا است. بعد از چین، هند با سهم ۵ درصدی در رتبه دوم قرار گرفته و از کشوری که در رتبه‌های بعد از هند قرار گرفته‌اند دارای ۱/۵ الی ۲ درصد کل انتشار هستند و به ترتیب شامل آمریکا، ترکیه، ژاپن، روسیه، برزیل، ایران و ویتنام هستند. با ادامه روند پیوسته و افزایشی تولید سیمان در چین که ناشی از افزایش ۱۱ درصد تولید آن در سال ۲۰۱۱ بود، تولید جهانی سیمان در سال ۲۰۱۱ حدود ۶ درصد افزایش یافت؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که انتشار دی‌اکسید کربن در این صنعت نیز تقریباً به همین میزان افزایش یافته باشد. لذا بر اساس آمار و ارقام موجود، صنعت سیمان از پتانسیل بسیار بالایی برای کنترل و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن بر خوردار است [۱۴].

مقدار دی‌اکسید کربن انتشار یافته به ازای یک تن سیمان تولید شده به عواملی چون شدت مصرف انرژی برای تولید کلینکر و سیمان، نسبت کلینکر در سیمان، نوع سوخت مصرفی در کوره و ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای الکتریسیته مصرفی بستگی دارد. کارخانه‌های تولید سیمان از شدت مصرف انرژی و انتشار بالایی به دلیل ماهیت تولید خود برخوردار است. انتشار دی‌اکسید کربن در این صنعت به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم صورت می‌گیرد. منبع اصلی انتشارات مستقیم، کلسیناسیون سنگ‌آهک و تولید کلینکر است و تقریباً ۵۰ درصد کل انتشارات را شامل می‌شود. انتشارات غیرمستقیم ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی اعم از زغال‌سنگ، نفت کوره یا گاز طبیعی در کوره است و در حدود ۴۰ درصد انتشار در بخش سیمان را شامل می‌شود. همچنین الکتریسیته مصرفی ماشین‌الات واحد حمل‌ونقل به‌عنوان دیگر منابع انتشار غیرمستقیم با سهم ۵ تا ۱۰ درصد هستند [۱۵،۱۶].

در شکل (۲) مجموع انتشارات فرایندی و مصرف انرژی در تولید سیمان ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کشورهای چین، آلمان، ایتالیا، کره و اسپانیا کاهش قابل‌توجهی در انتشار دی‌اکسید کربن داشته‌اند. به‌منظور برآورد انتشارات فرایندی ضریب



شکل ۲- مجموع انتشارات فرایندی و مصرف انرژی در تولید سیمان

انتشار استاندارد 0.52 kg CO_2/ton clinker در نسبت کلینکر به سیمان ضرب شده است. لذا مقادیر کاهش انتشار تنها مربوط به کاهش کلینکر مصرفی است و انتشارات مربوط به بهبود فرایند تولید را در برنمی‌گیرد.

این گاز به‌عنوان آلاینده‌ی هوای شاخص نبوده و مشکل چندانی برای سلامت انسان ندارد. دلیل اهمیت آن در توانایی جذب تشعشعات مادون‌قرمز با طول‌موج در لایه‌های پایین‌تر اتمسفر است که می‌تواند باعث افزایش دمای اتمسفر شود. افزایش دمای جهانی حتی در مقیاس یک درجه باعث ذوب کلاهک‌های یخی و یخ‌های قطبی می‌شوند که در نتیجه افزایش سطح آب دریاها موجب زیرآب رفتن شهرهایی با ارتفاع کم می‌شود.

روش بررسی

در این پژوهش میزان ذرات معلق محیطی هوای کارخانه سیمان کرمان در طی سال‌های ۹۲-۸۹ مورد بررسی قرار گرفته است. جهت تعیین میزان ذارت معلق PM2.5 و PM10 هوای کارخانه سیمان کرمان از دستگاه فتومتر DUST TRAK5820 (ساخت کشور آلمان) و بر اساس فتومتری و بر اساس متد BS-EN- ۱۲۳۴۱ استفاده می‌گردد. در این روش دستگاه ابتدا کالیبره گردیده و در ضلع جنوبی- مجاور درب ورودی ضلع غربی- روبروی معدن مواد اولیه، ضلع شمالی- روبروی دپوی ضایعات و در ضلع شرقی- روبروی دپوی کلینکر در ۱/۵ متری از سطح زمین قرار گرفت. سپس فلوی دستگاه تنظیم و در مدت زمان ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری صورت گرفت. با توجه به قابلیت دستگاه میزان حداکثر، حداقل و میانگین ذرات معلق در هوا در واحد حجم مشخص گردید [۱۷].

بعلاوه جهت تعیین ذرات معلق خروجی دودکش‌ها پس از تعیین محل نمونه‌برداری طبق استاندارد EPA Method 1، اقدام به تست نشت‌یابی دستگاه کرده و از عدم نشتی در سیستم اطمینان حاصل می‌شود. در این مرحله فشار استاتیک، دما، سرعت گاز خروجی بر اساس سنجش EPA Method 2 توسط دستگاه تعیین گردیده و با استفاده از دستگاه گاز سنج بر اساس بخش EPA Method 2 میزان وزن مولکولی گاز خروجی در مواردی که غبار به همراه گازهای احتراقی وجود دارد را محاسبه می‌کنیم. سپس اپراتور، نازل متناسب با میزان سرعت اندازه‌گیری را انتخاب کرده که این مرحله یکی از مهم‌ترین مراحل تست به حساب می‌آید. در صورت

عدم انتخاب درست نازل میزان خطا بالا می‌رود. سپس دستگاه فاصله نقاط بر روی قطر داخلی دودکش و زمان لازم جهت نمونه‌برداری را بر اساس استاندارد تعیین می‌نماید. سپس اپراتور فیلتری (فایبر گلاس) که از قبل با شرایط ذکرشده توزین کرده است را روی فیلتر هولدر قرار داده و بر اساس شرایط تعیین شده توسط دستگاه اقدام به اندازه‌گیری نماید. پس از پایان نمونه‌برداری اپراتور حجم گاز خشک مکش شده را ثبت نموده و فیلترها را با حفظ شرایط به محل آزمایشگاه انتقال می‌دهد و پس از رطوبت‌گیری فیلتر، اختلاف وزن فیلتر محاسبه گردیده و میزان ذرات معلق در واحد حجم محاسبه و جهت سنجش از روش گراویمتریک استفاده گردید [۱۷] که در این روش پس از آماده‌سازی فیلتر نسبت به توزین فیلتر با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ اقدام کرده و هر ۶ ساعت عمل توزین ا انجام گردید. در طول هر نوبت توزین اختلاف وزن فیلتر نسبت به نوبت قبلی نباید بیش از ۰/۵mg باشد. سپس فیلترها با استفاده از هولدرهای پلی‌اتیلن که مخصوص این سایز فیلتر بوده به محل آزمون انتقال داده می‌شود. جهت بررسی غلظت گازهای خروجی حاصل از احتراق از الکتروفیلتر کوره شماره ۱، ۲ و ۳ نیز با دستگاه OPTIMA7 از کمپانی MRU آلمان نمونه‌برداری صورت گرفت. نوع سوخت این کوره‌ها از گاز طبیعی می‌باشد. گازهای خروجی این دودکش‌ها به‌صورت ثابت و نوع انتشارشان به‌صورت بالفعل و پیوسته است. در این پژوهش سالیانه ۱۲۰ نمونه برداشت شده است. پس از دسته‌بندی داده‌های برداشت شده طی سال‌های مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار EXCEL تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام گردید.

یافته‌ها

نتایج حاصل از غلظت PM2.5 و PM10 در جدول ۱ ارائه شده است. جهت بررسی میزان آلاینده‌ها حداکثر و میانگین غلظت ذرات معلق PM2.5 در هوای محیط با استاندارد مربوط به حداکثر غلظت ۲۴ ساعته $۲۵\mu g/m^3$ و معدل سالیانه این ذرات $۱۰\mu g/m^3$ مقایسه گردید

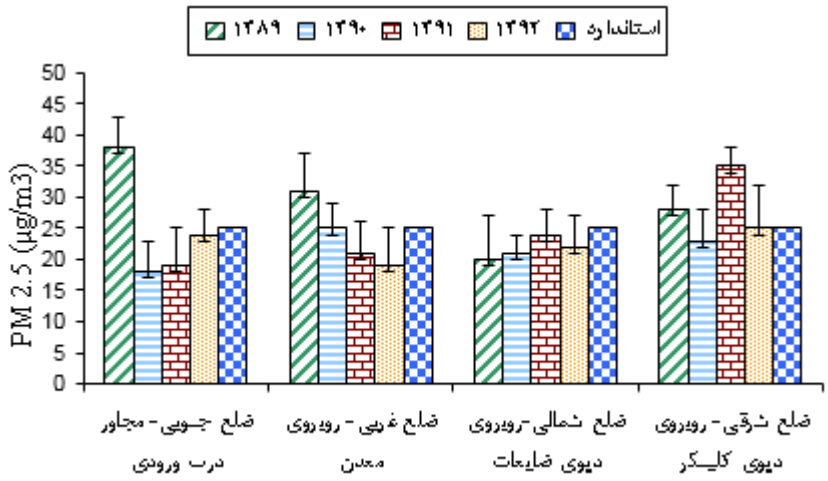
جدول ۱- نتایج پایش ذرات معلق محیطی کارخانه سیمان کرمان با استفاده از دستگاه فتومتر DUST TRAK5820

موقعیت		میزان ذرات معلق محیطی (PM2.5) $\mu g/m^3$			میزان ذرات معلق محیطی (PM10) $\mu g/m^3$			جنس کف
		میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	
ضلع جنوبی- مجاور درب ورودی	۱۳۸۹	۲۶	۱۱	۳۸	۳۹	۲۱	۷۲	آسفالت
	۱۳۹۰	۱۵	۱۰	۱۸	۲۵	۲۲	۳۱	
	۱۳۹۱	۱۴	۱۰	۱۹	۲۵	۲۱	۳۴	
	۱۳۹۲	۱۸	۱۵	۲۴	۳۸	۲۷	۴۵	
ضلع غربی- روبروی معدن	۱۳۸۹	۲۳	۹	۳۱	۳۵	۱۷	۶۳	خاک
	۱۳۹۰	۲۲	۱۷	۲۵	۴۰	۳۴	۴۸	
	۱۳۹۱	۱۹	۱۲	۲۱	۳۹	۳۰	۴۵	
	۱۳۹۲	۱۷	۱۰	۱۹	۲۵	۱۴	۲۷	
ضلع شمالی-روبروی دپوی ضایعات	۱۳۸۹	۱۱	۵	۲۰	۲۳	۱۱	۴۱	خاک
	۱۳۹۰	۱۶	۱۴	۲۱	۲۶	۲۱	۳۶	
	۱۳۹۱	۲۱	۱۶	۲۴	۴۲	۳۳	۴۷	
	۱۳۹۲	۱۴	۱۳	۲۲	۲۰	۱۵	۳۲	
ضلع شرقی- روبروی دپوی کلینکر	۱۳۸۹	۱۳	۸	۲۸	۲۵	۱۳	۴۵	خاک
	۱۳۹۰	۱۸	۱۲	۲۳	۳۷	۳۱	۴۵	
	۱۳۹۱	۳۰	۲۲	۳۵	۳۲	۲۷	۵۸	
	۱۳۹۲	۱۳	۲۱	۲۵	۴۱	۳۲	۴۸	

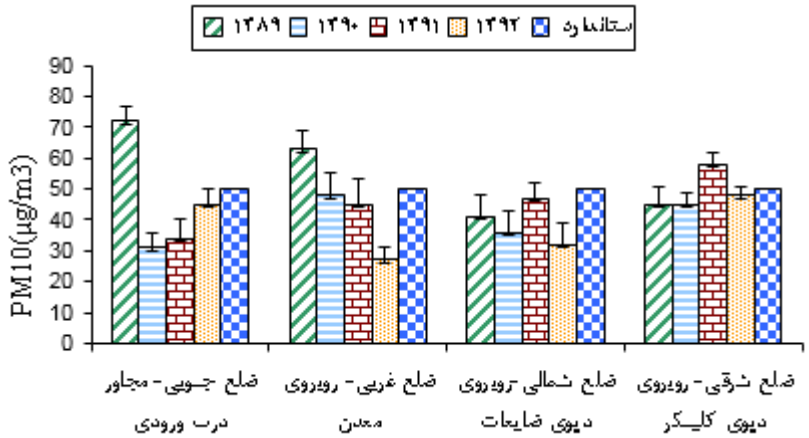
(شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که حداکثر غلظت ذرات معلق PM2.5 به ترتیب متعلق به ضلع جنوبی- مجاور درب ورودی سال ۱۳۸۹، ضلع شرقی- روبروی دپوی کلینکر سال ۱۳۹۱ و ضلع غربی- روبروی معدن سال ۱۳۸۹ می‌باشد که بیش‌ازحد مجاز است. غلظت میانگین ذرات نیز بیش از معدل سالیانه استاندارد در تمامی موقعیت‌های نمونه‌برداری می‌باشد (شکل ۴).

حداکثر غلظت ذرات معلق PM10 نیز به ترتیب در ضلع جنوبی- مجاور درب ورودی سال ۱۳۸۹ و ضلع غربی- روبروی معدن سال ۱۳۸۹ و ضلع شرقی- روبروی دپوی کلینکر سال ۱۳۹۱ می‌باشد که بیش‌ازحد استاندارد سالیانه و حداکثر غلظت ۲۴ ساعته $50\mu g/m^3$ می‌باشد (شکل ۵). غلظت میانگین ذرات نیز بیش از معدل سالیانه استاندارد $20\mu g/m^3$ در تمامی موقعیت‌های نمونه‌برداری می‌باشد (شکل ۶).

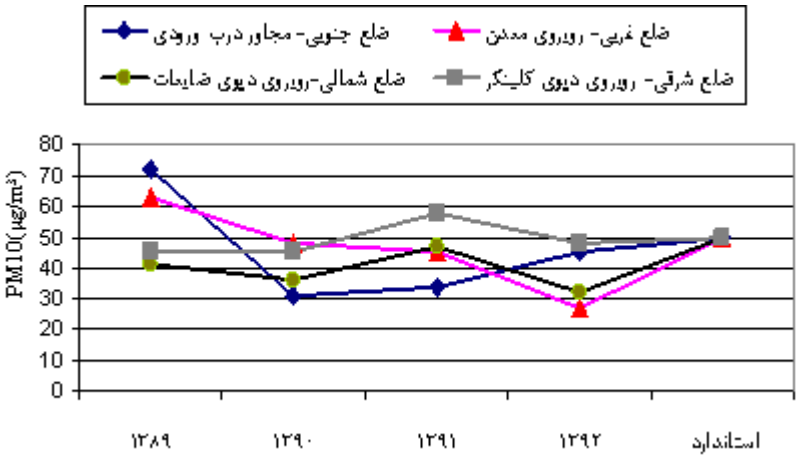
بنابراین حداکثر غلظت ذرات معلق روبروی معدن از سال ۱۳۸۹ تاکنون روندی نزولی داشته به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۲ به کمترین میزان رسیده است. غلظت ذرات معلق در روبروی دپوی ضایعات در تمامی سال‌ها کمتر از میزان استاندارد می‌باشد. بیشترین و کمترین میزان



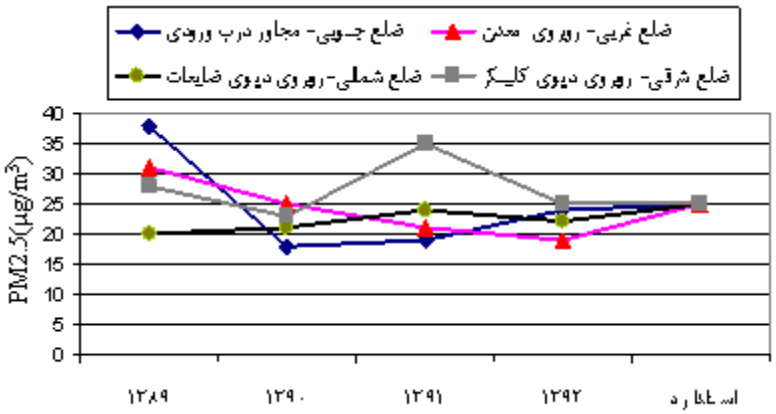
شکل ۳- مقایسه غلظت ذرات معلق محیطی PM2.5 اندازه گیری شده با دستگاه فتومتر DUST TRAK5820 با غلظت استاندارد



شکل ۴- مقایسه غلظت ذرات معلق محیطی PM10 اندازه گیری شده با دستگاه فتومتر DUST TRAK5820 با غلظت استاندارد



شکل ۵- روند تغییرات غلظت ذرات معلق محیطی PM 10 اندازه گیری شده با دستگاه فتومتر DUST TRAK5820 طی سال های ۱۳۹۲-۱۳۸۹



شکل ۶- روند تغییرات غلظت ذرات معلق محیطی PM 2.5 اندازه گیری شده با دستگاه فتومتر DUST TRAK5820 طی سال های ۱۳۹۲-۱۳۸۹

غلظت معلق به ترتیب متعلق به سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ می‌باشد. همچنین حداکثر غلظت ذرات معلق در روبروی دپوی ضایعات متعلق به سال ۱۳۹۱ می‌باشد که بیشتر از حد استاندارد است. بیشترین غلظت روبروی درب ورودی نیز متعلق به سال ۱۳۸۹ می‌باشد که بیشتر از حد استاندارد است.

غبار خروجی: نتایج حاصل از غلظت گردوغبار کوره‌های شماره ۱، ۲ و ۳ و آسیاب خط شماره ۲ و ۳ نیز در جدول (۲) آورده شده است. لازم به ذکر است که استاندارد اولیه و ثانویه برای گردوغبار خروجی از الکتروفیلترها به ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در مترمکعب و استاندارد اولیه و ثانویه برای گردوغبار خروجی از آسیاب‌ها به ترتیب ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در مترمکعب می‌باشد. مقایسه غلظت ذرات معلق خروجی از الکتروفیلترها و آسیاب‌های کارخانه سیمان کرمان با غلظت استاندارد در شکل (۷ و ۸) نشان داده شده است.

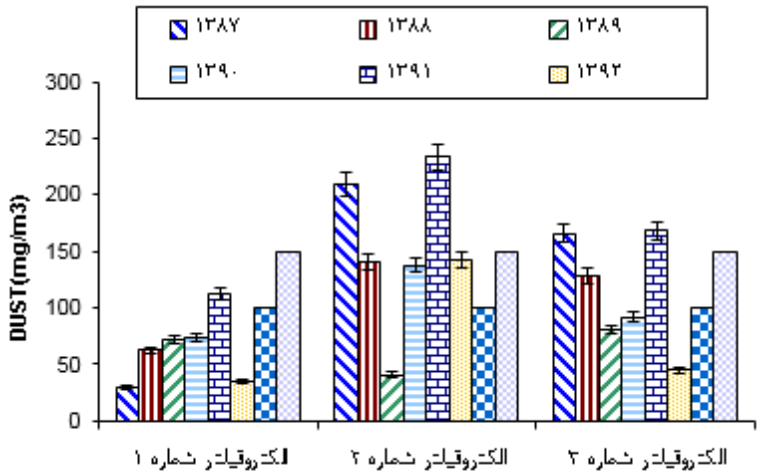
در الکتروفیلتر شماره ۱ غلظت غبار به‌جز سال ۱۳۹۱ در مابقی سال‌ها کمتر از استاندارد اولیه می‌باشد که غلظت غبار در سال ۱۳۹۱ بیشتر از استاندارد اولیه و کمتر از استاندارد ثانویه می‌باشد. در الکتروفیلتر شماره ۲

جدول ۲- نتایج ذرات معلق خروجی از دودکش کارخانه سیمان کرمان ابا استفاده از دستگاه گازسنج براساس بخش EPA Metho 2

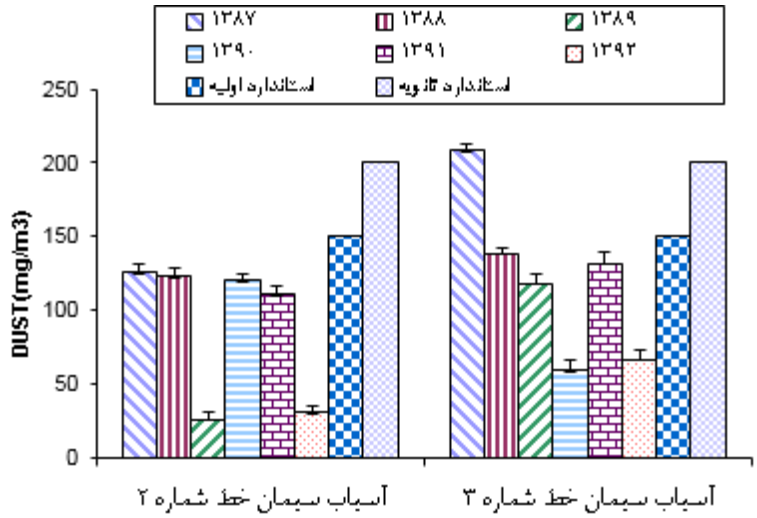
موقعیت محل نمونه برداری		نوع سوخت	دمای محیط(c°)	دمای دودکش(c°)	سرعت (m/s)	مجموع غلظت غبار (mg/m^3)
الکتروفیلتر شماره ۱	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۰	۱۴۸/۱۸	۱۸/۳۶	۲۸/۹
	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۸	۱۴۵	۱۵/۵	۶۲/۳
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۲۲	۱۴۸/۵	۱۱	۷۱/۶
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۷	۱۴۰	۱۴/۲	۷۳/۶۶
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۹	۱۳۱	۱۴/۹	۱۱۱,۹۲
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۴۰	۱۷۰	۱۲/۲	۳۵/۱۴
الکتروفیلتر شماره ۲	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۰	۱۳۴/۹۷	۱۸/۰۷	۲۱۰
	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۸	۱۴۶/۵	۱۵	۱۴۰/۲
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۲۲	۱۵۳/۳۷	۹/۵	۴۰/۶۷
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۷	۱۲۹	۱۵	۱۳۷/۷۱
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۹	۱۴۹	۱۶/۷	۲۳۳,۵۲
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۴۰	۱۶۷	۱۴/۱	۱۴۲/۱۱
الکتروفیلتر شماره ۳	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۰	۱۱۷/۴۶	۳۵/۰۴	۱۶۶
	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۸	۱۲۱/۳	۱۸/۱	۱۲۸/۳۵
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۲۲	۱۳۸	۱۵/۶	۸۰/۲۵
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۷	۱۳۷	۱۶/۳	۹۱/۴
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۹	۱۳۰	۱۷/۱	۱۶۷,۸۷
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۴۰	۱۴۵	۱۶/۹	۴۴/۸۲
آسیاب سیمان خط شماره ۲	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۰	۸۳/۵۸	۵/۴۲	۱۲۶
	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۸	۸۱/۶	۵/۵	۱۲۲/۶۵
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۲۲	۹۷/۰۲	۶/۵	۲۵/۷۶
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۷	۶۲	۱۸/۵	۱۱۹/۷۹
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۹	۴۵	۱۹/۷	۱۱۰,۳۶
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۴۰	۹۵	۱۸/۹	۳۰/۵۱
آسیاب سیمان خط شماره ۳	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۰	۶۵/۵	۱۴/۲	۲۰۸
	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۸	۷۱/۸	۱۳/۹	۱۳۸/۵
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۲۲	۸۳/۹۶	۱۳/۵	۱۱۸/۳
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۷	۶۵	۱۵/۲	۵۹/۱
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۹	۷۱	۱۶/۵	۱۳۱,۷۷
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۴۰	۷۳	۱۶/۱	۶۶/۷۵

غلظت غبار در تمامی سال‌ها به‌جز سال ۱۳۸۹ بیشتر از استاندارد اولیه می‌باشد بعلاوه غلظت غبار به‌جز سال ۱۳۹۱ کمتر از استاندارد ثانویه است. همچنین غلظت غبار در سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۲ الکتروفیلتر شماره ۳ کمتر از استانداردهای اولیه و ثانویه می‌باشد و تنها در سال ۹۱ بیشتر از استاندارد ثانویه است. در نهایت برطبق روند تغییرات در شکل (۷) بیشترین غلظت غبار متعلق به سال ۹۱ و کمترین میزان آن مربوط به سال‌های ۸۹ و ۹۲ می‌باشد.

غلظت ذرات معلق خروجی از آسیاب شماره ۲ از سال ۸۷ تاکنون کمتر از حد استاندارد اولیه و ثانویه می‌باشد که کمترین مقایر مربوط به سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ است. بعلاوه در آسیاب شماره ۳ نیز غلظت ذارت معلق به‌جز در سال ۱۳۸۷ کمتر از حد استاندارد اولیه می‌باشد. در



شکل ۷- مقایسه غلظت ذرات معلق خروجی از الکتروفیلترهای کارخانه سیمان با غلظت استاندارد



شکل ۸- مقایسه غلظت ذارت معلق خروجی از آسیاب های کارخانه سیمان با غلظت استاندارد

سال ۱۳۸۷ غلظت ذرات خروجی ۲۰۸ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد که از استاندارد ثانویه نیز بیشتر می‌باشد. کمترین میزان ذارت معلق خروجی از این آسیاب متعلق به سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ است. بطورکلی می‌توان میزان ذارت معلق خروجی از این آسیاب‌ها را بخصوص در سال کنونی مطلوب ارزیابی کرد.

گازهای خروجی: نتایج حاصل از گازهای خروجی در جدول (۳) ارائه شده است. مقایسه نشان می‌دهد که در کوره شماره ۳ غلظت مونوکسید کربن به‌صورت قابل‌توجهی بالاتر از حداکثر غلظت ۸ ساعته و یک‌ساعته استاندارد می‌باشد. خوشبختانه غلظت این گاز در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ کاهش یافته است. غلظت این گاز از الکتروفیلتر شماره ۲ در سال ۱۳۹۲ کمتر از

جدول ۳- نتایج غلظت آلاینده ها در دودکش های کارخانه با استفاده از دستگاه OPTIMA7

محل نمونه برداری	سال	نوع سوخت	دمای گاز دودکش	دمای هوای محیط (cº)	CO2 (%)	CO (ppm)	NO (ppm)	NOx (ppm)	NO2 (ppm)	SO2 (ppm)	H2S (ppm)
الکتروفیلتر	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۶۰	۱۰	۵/۷	۱۱	۵۹۲	۵۹۲	۰	۰	۰
شماره ۱	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۱۵۶	۸	۵/۱	۸	۵۶۱	۵۶۳	۲	۰	۰
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۱۴۳/۷	۲۲	۴/۶	۰	۵۳۶	۵۴۵	۹	۰	۶
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۱۴۰	۷	۵/۳	۱۵۲	۶۱	۶۴	۳	۰	۰
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۳۱	۱۹	۳/۷	۱۰۸	۶۶	۶۹	۳	۰	۰
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۱۵۶	۴۰	۴/۷	۱۲	۶۵۱	۶۶۶	۱۵	۰	۰
الکتروفیلتر	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۴۰	۱۰	۵/۶	۱۴۴	۶۶۱	۶۶۱	۰	۰	۰
شماره ۲	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۱۴۵	۸	۵/۴	۲۵	۶۳۴	۶۳۶	۲	۰	۰
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۱۵۵/۳	۲۲	۵/۵	۳۰	۶۲۳	۶۳۲	۹	۰	۱۰
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۱۲۹	۷	۵/۳	۱۲۴	۵۴۸	۷۵۷	۲۷	۰	۰
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۴۹	۱۹	۳/۵	۹۸	۷۶	۸۰	۴	۰	۰
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۱۶۷	۴۰	۴	۷	۶۱۲	۶۲۳	۱۱	۱	۰
الکتروفیلتر	۱۳۸۷	گاز طبیعی	۱۱۰	۱۰	۴/۳	۸۷۹	۱۵۰	۱۵۰	۰	۰	۰
شماره ۳	۱۳۸۸	گاز طبیعی	۱۵۶	۸	۴/۶	۲۸۶	۱۸۹	۲۰۰	۱	۰	۰
	۱۳۸۹	گاز طبیعی	۱۴۰/۶	۲۲	۴/۹	۱۳۸	۳۶۰	۳۶۵	۵	۱	۱۳
	۱۳۹۰	گاز طبیعی	۱۳۷	۷	۵/۲	۱۰۹	۱۹۵	۲۰۵	۱۰	۰	۰
	۱۳۹۱	گاز طبیعی	۱۳۰	۱۹	۱/۸	۵۵	۷	۷	۰	۰	۰
	۱۳۹۲	گاز طبیعی	۱۳۵	۴۰	۴/۵	۸۰	۱۸۷	۱۹۱	۴	۰	۰

حداکثر غلظت ۸ ساعته و یک‌ساعته استاندارد می‌باشد و در سال‌های ۸۸ و ۸۹ کمتر از حداکثر غلظت یک‌ساعته است. بعلاوه غلظت این گاز در الکتروفیلتر شماره ۱ به‌جز سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ کمتر از مقادیر استاندارد ذکر شده می‌باشد؛ بنابراین بیشترین میزان گاز مونوکسید خروجی متعلق به الکتروفیلتر شماره ۳ است که در این سال‌ها غلظت این گاز کاهش یافته است. لازم به ذکر است که غلظت این گاز در تمامی خروجی‌های سال‌های مورد بررسی به‌جز در دودکش شماره ۳ در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ کمتر از استاندارد خروجی می‌باشد (شکل ۹).

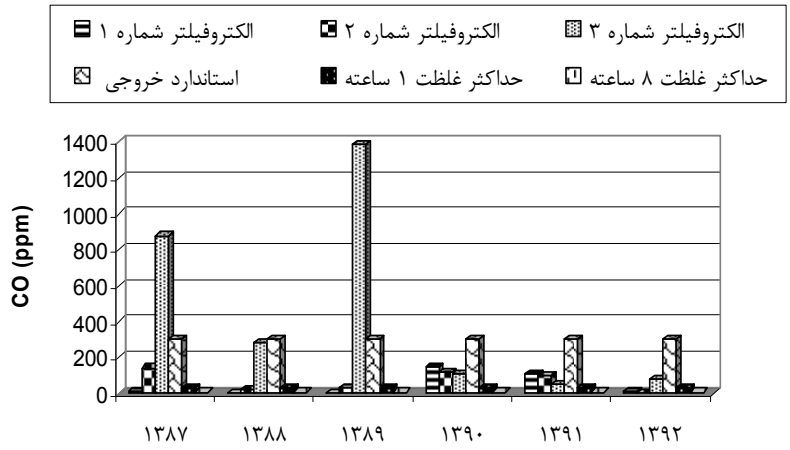
غلظت دی‌اکسید نیتروژن در تمامی سال‌ها به‌جز سال ۱۳۸۷ بیشتر از غلظت استاندارد سالیانه می‌باشد (شکل ۱۰). بعلاوه بیشترین میزان آلودگی این گاز مربوط به الکتروفیلترهای شماره ۲ و ۱ است.

با توجه به اینکه در کارخانه سیمان کرمان از گاز طبیعی استفاده می‌گردد لذا کاهش گاز دی‌اکسید گوگرد قابل توجه می‌باشد که از خوردگی الکتروفیلترها و کوره نیز جلوگیری می‌کند. غلظت این گاز در کل کمتر از حد استاندارد حداکثر غلظت ۲۴ ساعته است و تنها در الکتروفیلتر شماره ۳ در سال ۸۹ و الکتروفیلتر ۲ در سال ۹۲ بیشتر از حد استاندارد بوده است (شکل ۱۱).

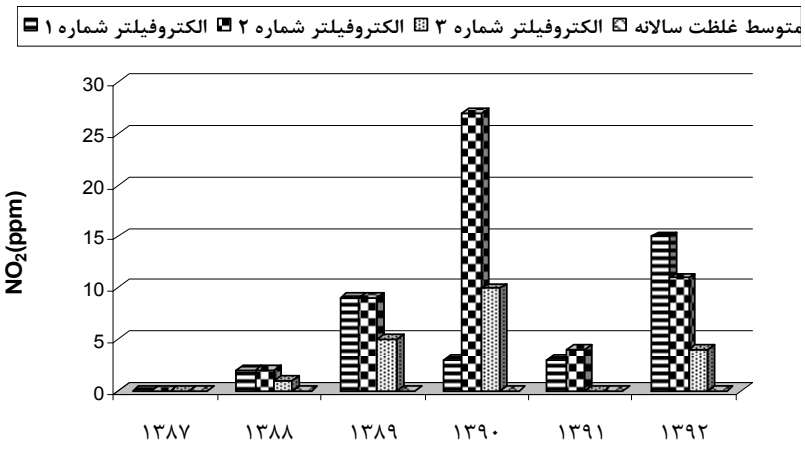
بر طبق شکل (۱۲) حداکثر و حداقل غلظت دی‌اکسید کربن به ترتیب مربوط به الکتروفیلتر شماره ۱ در سال ۱۳۸۷ با ۵/۷٪ و الکتروفیلتر شماره ۳ در سال ۱۳۹۱ با ۱/۸٪ است. همچنین الکتروفیلترهای ۱ و ۲ آلودگی بیشتری نسبت به الکتروفیلتر ۳ ایجاد می‌کنند. کمترین میزان گاز دی‌اکسید کربن آزاد شده نیز مربوط به سال ۱۳۹۱ است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج گازها و ذرات معلق خروجی این کارخانه نشان



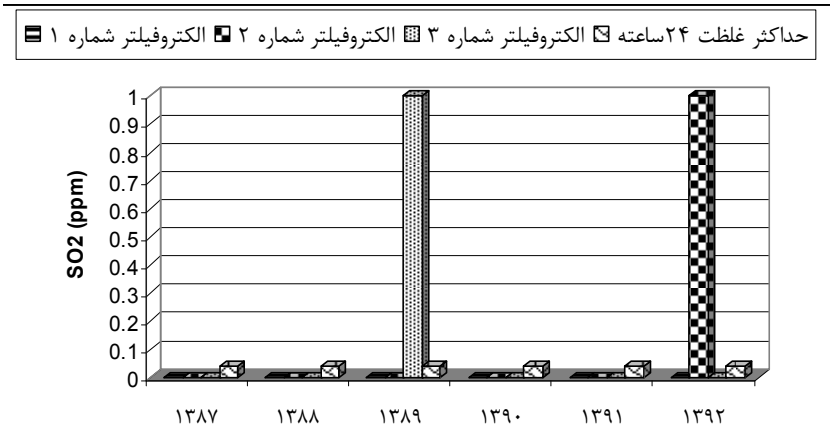
شکل ۹- مقایسه غلظت گاز مونوکسیدکربن خروجی از دودکش های کارخانه سیمان اندازه گیری شده با دستگاه OPTIMA7 با غلظت استاندارد



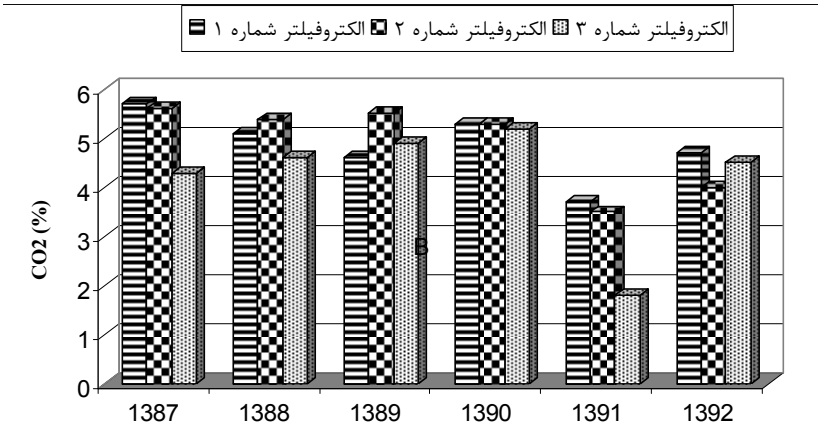
شکل۱۰- مقایسه غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن خروجی از دودکش‌های کارخانه سیمان سیمان اندازه گیری شده با دستگاه OPTIMA7 با غلظت استاندارد

می‌دهد که حداکثر غلظت ذرات معلق PM2.5 به ترتیب متعلق به ضلع جنوبی- مجاور درب ورودی سال ۱۳۸۹، ضلع شرقی- روبروی دپوی کلینکر سال ۱۳۹۱ و ضلع غربی- روبروی معدن سال ۱۳۸۹ می‌باشد که بیش‌ازحد مجاز است. غلظت میانگین ذرات نیز بیش از معدل سالیانه استاندارد در تمامی موقعیت‌های نمونه‌برداری می‌باشد. حداکثر غلظت ذرات معلق PM10 نیز به ترتیب در ضلع جنوبی- مجاور درب ورودی سال ۱۳۸۹ و ضلع غربی- روبروی معدن سال ۱۳۸۹ و ضلع شرقی- روبروی دپوی کلینکر سال ۱۳۹۱ می‌باشد که بیش‌ازحد استاندارد سالیانه و حداکثر غلظت ۲۴ ساعته (50µg/m3) می‌باشد. در ارتباط با ذارت خروجی از دودکش و غبار محیطی می‌توان گفت که اگرچه غلظت گردوغبار در برخی از سال‌ها بیش از حدود استاندارد می‌باشد ولی در مجموع می‌توان غلظت غبار خروجی و محیط را بخصوص در سال ۹۲ قابل‌قبول ارزیابی کرد.

در مورد گازها نیز غلظت گاز مونوکسید کربن خروجی از سال ۹۰ تاکنون کمتر از حد استاندارد خروجی از دودکش‌ها می‌باشد بعلاوه در سال ۹۲ غلظت گاز



شکل ۱۱- مقایسه غلظت گاز دی اکسید گوگرد خروجی از دودکش های کارخانه سیمان سیمان اندازه گیری شده با دستگاه OPTIMA7 با غلظت استاندارد



شکل ۱۲- تغییرات غلظت مونواکسید کربن کارخانه سیمان سیمان اندازه گیری شده با دستگاه OPTIMA7 در طی سال های ۱۳۹۲-۱۳۸۷

خروجی به‌صورت قابل‌توجهی کاهش یافته است و غلظت در الکتروفیلترهای ۱ و ۲ کمتر از حداکثر غلظت یک‌ساعته این گاز می‌باشد. غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن بیشتر از حد استاندارد و غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد را می‌توان مطلوب دانست. لذا می‌توان با بهره‌گیری از جدیدترین تکنولوژی‌های روز دنیا و استقرار فیلترهای هیبریدی، جت فیلترها و غیره گردوغبار دودکش‌های آسیاب مواد، کوره‌ها و آسیاب‌های سیمان را به‌طور چشمگیری کاهش داد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب قدرانی خود را از مجموعه کارخانه سیمان کرمان به خاطر همکاری در انجام این پژوهش اعلام می‌نمایند.

منابع

1. Rasoli S, Khatibzadeh S, Seifolahzadeh A. Air pollution in the cement industry. the first specialized seminars environment and color, Tehran. 2003:1-10. [Persain]

2. Abbasi J, Salari M. Environmental pollution of cement industry, Mining engineering student

conference. 2006:1-10. [Persain]

3. Merenu IA, Mojiminiyi FBO, Njoku CH, Ibrahim MTO. The effect of chronic cement dust exposure on lung function of cement factory workers in Sokoto, Nigeria. African Gournal of Biomedical research. 2007;(10):139- 43.

4. Mwaiselage J, Bratveit M, Moen BE, Mashalla Y. Respiratory symptoms and chronic obstructive pulmonary disease among cement factory workers. Scand J Work Environ Health. 2005;(31):316-23.

5. Fell AKM, Notø H, Skogstad M, Nordby KC, Eduard W, Svendsen MV, et al. A cross-shift study of lung function, exhaled nitric oxide and inflammatory markers in blood in Norwegian cement production workers. Occup Environ Med. 2011;(68):799-805.

6. 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.

7. Atari M, Gharabi A. Sustainable thinking in order to reduce greenhouse gas emissions in the cement industry. Second international conference on health, safety and environment, Tehran. 2009;1-11. [Persain]

8. Bahri MM. Carbon dioxide emissions and climate change. Cement research center, university of science and technology of Iran. 2010;1-9. [Persain]

9. Ghader marzi F, Radmanesh F. Impact of cement consumption on air pollution and reduce this pollution, Fourth conference of environmental engineering, Tehran. 2010:1-7. [Persain]

10. Chen C, Habert G, Bouzidi Y, Jullien A. Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation Journal of Cleaner Production. 2010;(18):478-485.

11. Ganeshalingam R, Paramasivam P, Nathan GK. An evaluation of theories and a design method of fibre cement composites. International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete. 1981;(3):103-114.

12. Alia MB, Saidura R, Hossain MS. A review on emission analysis in cement industries, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011;(15):2252–2261.

13. Madadi H, Ashraf zadeh MR. Modeling of air Pollutants emissions from Hormozgan cement factory, Third national conference on safety engineering and management, HSE, Tehran. 2009:1-8. [Persain]

14. Jos GJO, Greet JM, Jeroen AHWP. Trends in global CO2 emissions, 2012 report. PBL Netherlands Enviromental Assesment Agency, 2012.

15. Rubenstein M. Emissions frome the cement industry, The Earth Institute. Columbia University, 2006.

16. Leia Y, Zhangc Q, Nielsenb C, Hea K. An inventory of primary air pollutants and CO2 emissions from cement production in China 1990–2020, Atmospheric Environment. 2011;(45):147–154.

17. Gokhale Sh. Air Pollution Sampling and Analysis, Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Guwahati– 781039, Assam, India. 2009. pp 16-26.

Assessment of air pollution from cement industry: Case of Kerman Cement Factory

I. Aghamolaii[1], Gh. Lashkaripour[2], M. Ghafoori[3]

Received: 2014/08/06 Revised: 2015/04/03 Accepted: 2015/05/03

Abstract

Background and aims: Nowadays, air pollution is considered as one of the most important problems of urbanization and industrial life and all members of the society is affected by this problem. Cement industry is one of the key industries in developing countries with wide application in various projects. However, the industry is considered as one of the industry's environmental pollutants. In this study, environmental pollution of Kerman Cement Factory, which is located on the Western border of the city of Kerman was studied.

Methods: For this purpose, photometer instrument DUST TRAK and Method BS-EN-12341 were used to determine the amount of suspended PM2.5 and PM10 of ambient air at the four sides of the factory. To determine the aerosol outlet flue gas monitoring system based on EPA Metho 2 was used and the amount of exhaust gas molecular weight was calculated. To evaluation the concentration of exhaust gases of combustion sampling was from the furnace electro number 1, 2 and 3 by device OPTIMA7. This study was carried out from 2010 to 2013.

Results: The results showed exceeded of maximum concentration of suspended particles of PM2.5 and PM10 in the south side- near the entrance in year 1389, East side- opposite the depot clinker in year 1391 and in the West side- opposite to mine raw materials door in year 1389.

Conclusion: In regard with emission of flue and environmental dust it can be said that the concentration of dust has been over standards in some years, but the total concentrations of output and environmental dust were acceptable, especially in the year 1392.

Keywords: Kerman Cement Factory, Environment, Air pollution.

1. **(Corresponding author)** PhD student, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. imaneng189@gmail.com
2. Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.