مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۳۲ تا ۴۲

مقاله پژوهشی

طراحی، اجرا و ارزیابی سیستم تهویه صنعتی و غبارگیرهای واحد خردایش یک شرکت تولیدی کربورسیلیسیوم

محسن مرادی[۱]، فرشید قربانی شهنا[۲*]، عبدالرحمان بهرامی[۳] ،منصور رضازاده آذری[۴]

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۳

چکیده

زمینه و هدف: سیستم تهویه صنعتی و غبارگیرهای تلفیقی از راهکارهای مؤثر فنی کاهش ذرات منتشره در محیط کار و محیط فرآیندهای معدنی هستند. این مطالعه باهدف طراحی، اجرا و ارزیابی سیستم تهویه موضعی و غبارگیرهای واحد خردایش یک شرکت تولیدی به منظور کاهش انتشار ذرات سیلیس، کک وکربورسیلیسیوم انجام گرفت.

روش بررسی: پس از بررسی میدانی فرایندها و منابع آلودگی، سیستم تهویه موضعی بر اساس استاندارد و راهنماهای موجود، طراحی و اجرا شد. به منظور کنترل ذرات جمع‌آوری شده از چهارسیکلون و طرح جدیدی از اسکرابر استفاده شد. پس از راه‌اندازی سیستم اثربخشی آن در کاهش مواجهه کارکنان، انتشار در داخل محیط کارگاه و کنترل ذرات انتشاریافته در محیط‌زیست مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته ها: نتایج آزمون آماری تفاوت معناداری بین غلظت ذرات در دو حالت خاموش و روشن بودن سیستم تهویه نشان داد (P_{value} <۰/۰۵). طرح سیستم اجراشده به صورت میانگین مواجهه فردی با آلاینده‌ها را ۹۳/۰۱ درصد و انتشار محیطی را ۶۴/۶۴ درصد کاهش داده است. همچنین میانگین بازده جمع‌آوری ذرات توسط سیکلون و اسکرابر مه پاش به ترتیب ۹۴/۲ درصد و ۵۹/۰۵ درصد و به صورت تلفیقی۹۷/۴ درصد بود. نتایج سنجش پارامترهای سیستم تهویه نشانگر تطابق خوب آن‌ها با مقادیر طراحی‌شده بود.

نتیجه گیری: اجرای سیستم تهویه و غبارگیرهای تلفیقی در صنایعی که دارای محدودیت‌های مالی و فنی جهت اصلاح، تغییر فرایند و دستگاه‌ها هستند گزینه مناسبی است. این روش از طرفی با دستیابی به استانداردهای بهداشتی و زیست‌محیطی منجر به رفع مشکلات مربوطه شده و با بازیافت آلاینده و کاهش هزینه استهلاک تجهیزات، اجرای این طرح‌ها را از لحاظ اقتصادی توجیه می‌نماید.

کلیدواژه ها: تهویه موضعی، سیکلون، اسکرابر، کربور سیلیسیوم

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان .

۲*.**(نویسنده مسئول)** دانشیار، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ایران. پست الکترونیک: fghorbani@umsha.ac.ir

۳. استاد، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان.

۴.استاد،دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

مقدمه

آلاینده‌های هوا از نظر ماهیت فیزیکی شامل دو گروه ذرات و گاز و بخار می‌باشند. متناسب با غلظت و سایز ذرات برای انسان، آسیب‌رسان بوده و حتی منجر به افزایش مرگ‌ومیر می‌شوند[۱]. کیفیت هوا نقش مهمی در سلامت انسان دارد. آلودگی هوا باعث افزایش چشمگیری در هزینه‌های پزشکی و مرگ‌ومیر شده و سالانه باعث حدود۸۰۰ هزار مرگ زودرس در سراسر دنیا می‌شود[۲]. ذرات آلاینده بدن انسان را از طریق سه رویکرد تنفسی، پوستی و گوارش به مخاطره می‌اندازند. خطرناک‌ترین رویکرد ورود ذره آلاینده به بدن انسان از طریق مجاری تنفسی است[۳]. گردو غبار، گازها و بخارات سمی عواملی هستند که در اکثر صنایع کم و بیش وجود داشته و باعث بروز عوارض و بیماری های تنفسی می‌گردند. سیلیکوز سر دسته پنوموکونیوزهای توأم با اسکلروز بوده و از استنشاق گردو غبار سیلیس دار به وجود می آید. آنتراکوز به پنوموکونیوز ناشی از گردو غبار زغال اطلاق می‌گردد، ذرات زغال از نظر بیوشیمیایی موادی بی خاصیت و بی اثر هستند و بدین علت تولید فیبروز نکرده و فقط عوارض ناشی از انباشته شدن گردو غبار را به وجود می‌آورند[۴].

یکی از فرایندهای صنعتی که منجر به انتشار ذرات سیلیس و کک و کربورسلیسوم می‌گردد فرایند تولید کربور سیلیسیوم می‌باشد که در این فرایند به علت عملیات خردایش و سرند کردن مقدار زیادی از ذرات در هوا منتشر می‌گردد. عمده تولید و انتشار ذرات در حین خردایش، سرند و انتقال مواد پودری رخ می‌دهد که علاوه بر تهدید سلامت کارکنان این صنعت، سلامت سایر ساکنان و شاغلین حومه این صنعت را نیز در معرض خطر قرار می‌داد. با توجه به اهمیت عوارض غیرقابل‌انکار مواجهه با آلاینده‌های سیلیس و کک در هوای محیط کار که موجبات ناراحتی و اظهار شکایت کارکنان مورد نظر را شده بود، اقدام در جهت کنترل این آلاینده‌ها در محیط کار ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به عدم امکان تغییر در فرایند، ماشین‌آلات و مواد جهت کنترل غبار منتشره، تهویه موضعی محتمل‌ترین اقدام کنترلی برای شرایط موجود تشخیص داده شد. مطالعات مشابه انجام‌شده موید کارایی نصب سیستم تهویه موضعی در کاهش مواجهه فردی و محیطی با آلاینده‌های داخل محیط کار می‌باشد[۵،۶،۷،۸] . همچنین جهت کنترل ذرات خروجی در سیستم تهویه موضعی از پالایش گر تلفیقی سیکلون با راندمان بالا و اسکرابر مه پاش استفاده شد، سیکلونها یکی از تجهیزات متداول برای جداسازی جامدات از جریان گاز(سیالات) هستند. از این وسیله اختصاصاً برای جمع‌آوری آلاینده‌های ذره‌ای شکل استفاده می‌گردد[۹]. اسکرابرهای تر قادر هستند که به بازده حذف بالا برای ذرات و گازها نائل شوند[۱۰] که در این رابطه مطالعات متعدد در صنایع مختلف نشان دادند که در صورت وجود تراکم بسیار بالای ذرات منتشره، می‌توان از سیکلون ها به عنوان پیش غبارگیر و اسکرابر مه پاش به عنوان غبارگیر ثانویه جهت کنترل ذرات با بازده بالا استفاده نمود[۱۱،۱۲،۱۳،۱۴].

این مطالعه باهدف طراحی، اجرا و ارزیابی سیستم تهویه موضعی و غبارگیرهای واحد خردایش یک شرکت تولیدی به منظور کنترل ذرات سیلیس، کک وکربورسیلیسیوم منتشره و کاهش مواجهه فردی و محیطی با ذرات انجام گرفت.

روش بررسی

این تحقیق یک مطالعه مداخله‌ای- کاربردی می‌باشد که هدف از آن کنترل آلاینده‌های کک، سیلیس و کربور سیلیسیم در سالن خردایش مد نظر می‌باشد. شرکت تولیدی مورد بررسی در پژوهش حاضر یک شرکت تولید کربورسیلیسیوم می‌باشد که به دلیل استفاده از فنّاوری سنتی، میزان انتشار ذرات مضر در آن بسیار بالا است. طبق بررسی‌های به عمل آمده در این فرآیند، کربورسیلیسیوم که در بدو ورود به صورت کلوخه به داخل فیدر ریخته شده و توسط تسمه‌نقاله به قسمت سنگ‌شکن منتقل می‌شود و عملیات خرد کردن سنگ در چند مرحله صورت می گیرد. در این مرحله به قطعات خیلی ریز تبدیل می‌شود و به دستگاه های سرند منتقل می‌گردد. جهت کنترل ذرات منتشر شده در محیط کار از سیستم تهویه موضعی به روش چند هودی و با رعایت تأمین توازن فشار در شاخه‌های فرعی کانال‌ها بر اساس استانداردهای VS-50-20, VS-50-21, VS-50-22 (جهت نوار نقاله ها) و VS-99-01 (جهت سرندها) مربوط به کمیته تهویه صنعتی ACGIH استفاده گردید[۱۵] همچنین برای کنترل ذرات منتشره برای سنگ‌شکن‌ها از راهنمای طراحی سیستم تهویه مربوط به این دستگاه‌ها استفاده شد[۱۶]. روش محاسبات سیستم تهویه طبق روش فشار سرعت انجام گرفت[۱۷].

طراحی غبارگیرها

سیکلون

گام اول در طراحی سیکلونها ، انتخاب مدل سیکلون با توجه به

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

شرایط موجود بود. در این مطالعه با توجه به غلظت بسیار بالای آلاینده‌های ذره‌ای شکل منتشره در محیط، سیکلون با راندمان بالای مدل استایرمند (Stairmand) انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت[۱۸]. پس از انتخاب مدل سیکلون، تعداد و ابعاد هندسی آن محاسبه شد.

پس از تعیین ابعاد هندسی سیکلون ها لازم است بازده نظریه آن‌ها برای غبارگیری برآورد شود. روش محاسبه بازده سیکلون در طی چند مرحله به شرح زیر انجام شد. در مرحله اول، تعداد دور چرخش مفید سیال در داخل سیکلون از رابطه زیر تعیین گردید[۱]:

رابطه ۲-۱

$$N_e = {}^{1}/_{H}\left(L_b + {}^{L_c}/_{2}\right)$$

N_e: تعداد دور چرخش مفید سیال

H: ارتفاع کانال ورودی به سیکلون بر حسب متر(m)

L_b: ارتفاع قسمت استوانه‌ای سیکلون بر حسب متر(m)

L_c: ارتفاع قسمت مخروطی سیکلون بر حسب متر(m)

در قدم آخر لازم است افت فشار سیکلون ها تعیین شود. برای تعیین افت فشار سیکلون روابط متعددی ارائه‌شده است که در این مطالعه جهت محاسبه میزان افت از فرمول زیر استفاده گردید[۱]:

رابطه ۲-۲

$$\Delta p = \frac{\rho v_i^2 \Delta H}{2}$$

ρ: دانسیته جریان گاز بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg/m^3)

v_i: سرعت جریان هوای ورودی به سیکلون(m/s)

ΔH: پارامتر بدون بعدی است که از فرمول لاپل و شپرد محاسبه شد[۱].

طراحی و محاسبات اسکرابر

با توجه به اینکه سیکلونها قادر به حذف قابل‌توجه ذرات ریز نمی‌باشند، از یک طرح اسکرابر مه پاش اصلاح‌شده، به منظور حذف ذرات ریز بعد از سیکلون استفاده شد. اسکرابر مه پاش از جمله پالایشگرهایی می‌باشد که قابلیت حذف همزمان گازها و ذرات را دارند که البته از لحاظ نظری هرچه قطرات مایع شوینده کوچک‌تر باشند بازده جمع‌آوری این وسیله برای هر دو آلاینده ذره‌ای و گازی شکل بیشتر خواهد بود[۹]. پس از تعیین نوع اسکرابر با توجه به مقدار گذر حجمی هوای عبوری و سرعت جریان هوای عبوری و تعیین سطح مقطع ابعاد هندسی اسکرابر مه پاش تعیین گردید. برای یک برج مه پاش با جریان متقابل با استفاده از رابطه پیشنهادی کالورت، بازده حذف ذرات از رابطه زیر محاسبه می‌شود[۱۰].

رابطه۲-۳

$$E_i = 1 - exp\left[-\frac{1.5V_t\eta_I Z}{d_d\left(V_t - V_g\right)}\right]\left(\frac{L}{G}\right)$$

E_i:بازده جمع‌آوری ذره با اندازه i

V_t:سرعت ته نشینی نهایی قطره$\left(\frac{cm}{s}\right)$

η_I:بازده جمع‌آوری قطره واحد در اثر برخورد (بدون واحد)

Z:ارتفاع اسکرابر(cm)

d_d:قطر قطره(cm)

V_g: سرعت گاز $\left(\frac{cm}{s}\right)$

L/G:نسبت مایع مصرفی به گاز(بدون واحد برای شرایط کاربرد واحدهای یکسان برای جریان مایع و گاز مثلاً واحد$\left(\frac{L}{min}\right)$ برای هر دو جریان گاز و مایع)

بازده جمع‌آوری قطره واحد در اثر برخورد مستقیم (ηI) با رابطه۲-۴- تعیین می‌گردد:

رابطه۲-۴

$$\eta_I = \left(\frac{\Psi I}{\Psi I + 0.35}\right)^2$$

ΨI: پارامتر برخورد اینرسیال که برای ذره با اندازهi از رابطه ۲-۵- محاسبه می‌شود:

رابطه۲-۵

$$\Psi I = \frac{C_c \cdot \rho_p \cdot d_p^2 \cdot v_r}{18 \cdot \mu \cdot d_d}$$

ΨI: پارامتر برخورد اینرسیال (بدون واحد)

C_C: ضریب تصحیح کانیگهام (بدون واحد)

d_p: قطر فیزیکی ذره بر حسب فوت (cm)

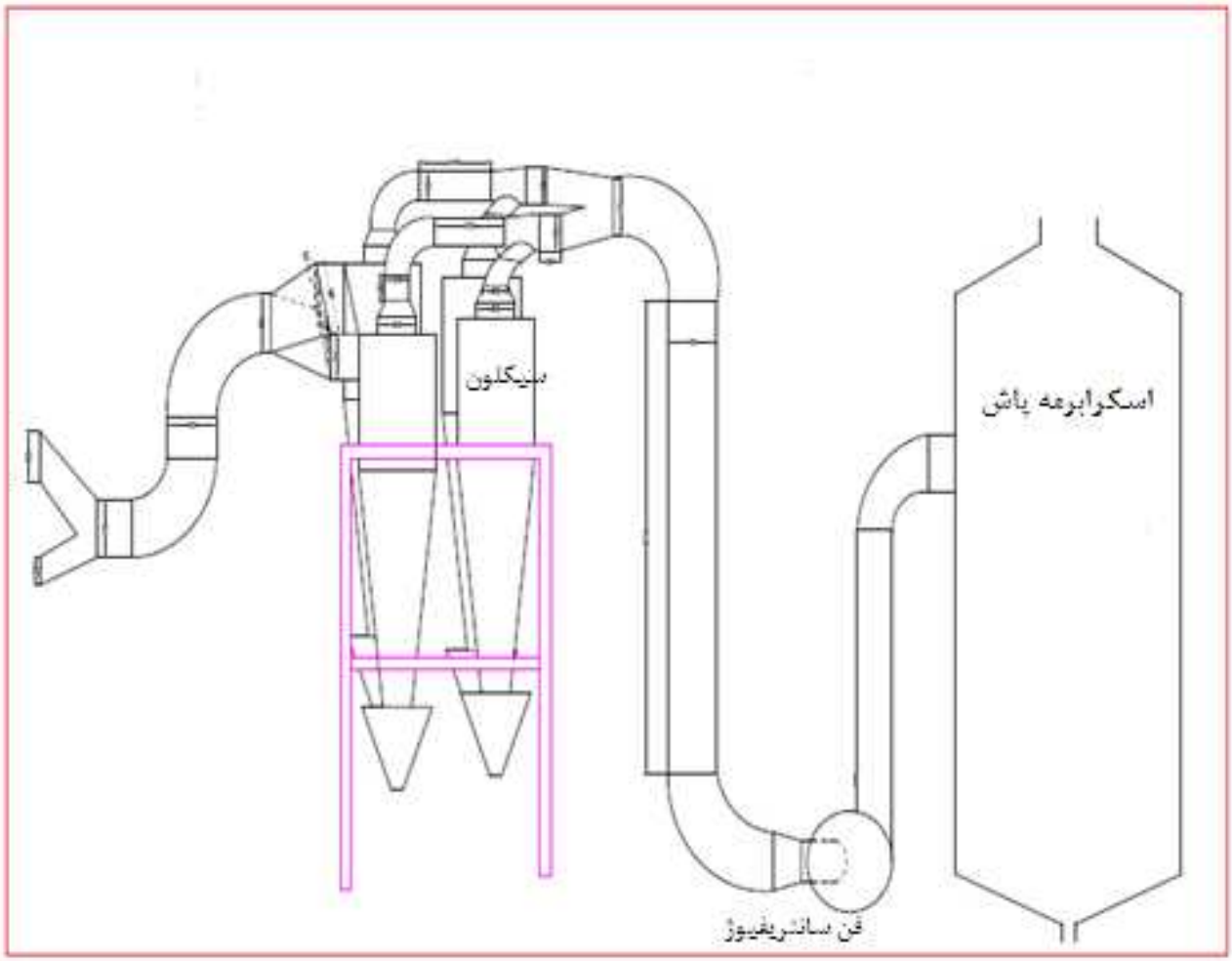
ρ_p: دانسیته ذره$\left(\frac{g}{cm3}\right)$

v_r: سرعت نسبی بین ذره وقطره $\left(\frac{cm}{s}\right)$

μ: ویسکوزیته گاز بر حسب $\left(\frac{g}{cm.s}\right)$

افت فشار اسکرابر مه پاش مانند سایر پالایشگرها یکی از پارامترهای کلیدی در طراحی می‌باشد. برای محاسبه افت فشار مه پاش از جدول مشخصات عملکردی برجهای مه پاش استفاده گردید[۱۰].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]



شکل۱:نمای جانبی از سیستم طراحی‌شده جهت کنترل آلاینده‌های منتشره

ارزیابی عملکرد سیستم

ارزیابی اثربخشی سیستم تهویه موضعی

اثربخش در کاهش مواجهه فردی و انتشار محیطی

طبق بررسی‌های انجام‌شده، در واحد خردایش حداکثر ۴نفر فعالیت می‌کنند که شرایط کاری یکسانی دارند به منظور تعیین میزان مواجهه فردی با ذرات، Sio_2 مطابق با متد NIOSH 7602 (جهت نمونه‌برداری) [۱۹] با دو بار تکرار در دو وضعیت روشن و خاموش بودن سیستم نمونه‌برداری انجام گردید. تعداد ۱۶ نمونه فردی هوا از منطقه تنفسی شاغلین این واحد گرفته شد. به علت اینکه مقدار سیلیس موجود در نمونه تهیه شده با دستگاه اسپکتروفتومتری و پراش اشعه ایکس قابل اندازه گیری نبود از دستگاه FTIR استفاده گردید[۱۹].برای تعیین غلظت کل و ذرات قابل استنشاق هوای کارگاهی، نمونه‌برداری محیطی با استفاده از متد NIOSH0600 صورت گرفت. از قسمتهای مختلف این واحد با استفاده از سیکلون در دو وضعیت روشن و خاموش بودن سیستم تهویه در فاصله ۵۰ سانتی متری از منبع تولید ذرات نمونه‌برداری انجام گرفت. تعداد ۱۲ نمونه‌های هوا در این وضعیت گرفته شد[۱۹].

وسایل و تجهیزات مورد استفاده در تحقیق شامل پمپ نمونه‌برداری فردی مدل PCXR 3 -224 ساخت شرکتSKC با دامنه دبی lit/min - ۵/۵ -۰/۵، سیکلون بعلاوه فیلتر های نمونه‌برداریPVC – 37mm با پور سایز ۵ میکرومتر و فیلتر فایبرگلاس، ترازوی دیجیتال با حساست ۰/۰۰۰۱ ±گرم، دستگاه FTIR جهت تعیین درصد سیلیس و متعلقات لازم جهت نمونه‌برداری بود.

اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از نرم‌افزارSPSS 16

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. جهت تحلیل داده‌های مطالعه از آزمون‌های آماریT-test زوجی استفاده شد.

ارزیابی عملکرد سیکلون

از سیکلون برای حذف آلاینده‌های ذره‌ای شکل استفاده می‌شود. در این مطالعه به علت تراکم و تنوع سایزی زیاد ذرات موجود در محیط و در نتیجه دبی مکشی بالا، از چهار سیکلون موازی بهره گرفته شد. برای ارزیابی عملکرد سیکلونهای طراحی‌شده در حذف ذرات، تعداد نقاط نمونه‌برداری با توجه به قطر کانال طراحی‌شده، از متد BS- 3405 استفاده گردید. میزان تراکم وزنی ذرات را در دو ایستگاه قبل و بعد از سیکلون و در هر ایستگاه در ۴ نقطه به روش نمونه‌برداری ایزوکینتیک و به کمک پمپ نمونه‌برداری و فیلتر فایبرگلاس، انجام داده شد. در نهایت بازده سیکلونها در حذف ذرات با استفاده از رابطهٔ زیر برآورد گردید[۹،۲۰].

رابطه ۲-۶

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$

E: بازده سیستم بر حسب درصد (٪)

C_1: تراکم آلاینده قبل از ورودی سیستم (mg/m^3)

C_2: تراکم آلاینده بعد از خروجی سیستم (mg/m^3)

ارزیابی عملکرد اسکرابر مه پاش

در این بررسی از اسکرابر مه پاش طرح جدید جهت حذف ذرات ریز عبوری از سیکلون استفاده گردید [۱۰]. بدین منظور برای محاسبه راندمان عملکرد سیستم اسکرابر مه پاش طراحی‌شده در حذف آلاینده‌های مورد نظر، غلظت ذرات و گازهای ورودی به اسکرابر مه پاش در یک ایستگاه قبل و در یک ایستگاه بعد از اسکرابر مه پاش اندازه‌گیری شد. در هر ایستگاه نیز بر اساس متد BS- 3405 در۴ نقطه اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری ذرات توسط پروب نمونه‌برداری و در شرایط ایزوکینتیک صورت گرفت [۹،۲۰].

یافته‌ها

مشخصات فنی سیکلون

تعیین مدل و ابعاد هندسی سیکلون

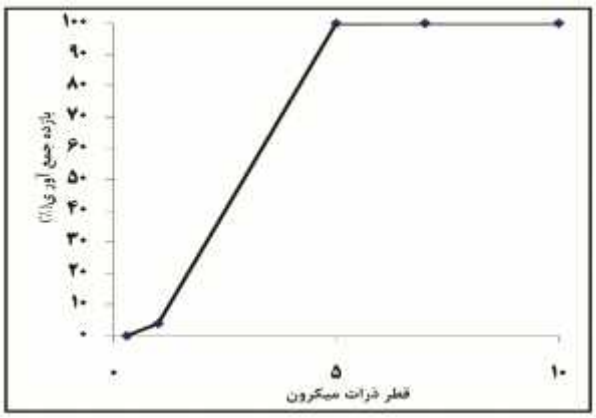
به منظور حصول به ابعاد متناسب قطر سیکلون، دبی کل طراحی‌شده که معادلcfm ۱۷۳۸۲بود به چهار قسمت تقسیم گردید. با توجه به اینکه در این طراحی از چهار سیکلون موازی مدل استایرمند با راندمان بالا استفاده شد دبی جریان عبوری حاوی آلاینده از هر یک سیکلون ها معادلcfm ۴۳۴۵/۵ می‌باشد.

جدول۱: مشخصات فنی سیکلون واحد خردایش

ردیف	پارامتر	ابعاد (m)
۱	D_C	۱/۱۵
۲	a	۰/۵۷
۳	b	۰/۲۳
۴	H	۴/۶
۵	h	۱/۷۲
۶	D_e	۰/۵۷
۷	B	۰/۴۳
۸	S	۰/۵۷
۹	ΔH	۶/۴

بازده جزئی و کلی سیکلون

ابتدا تعداد چرخش مفید جریان در سیکلون با رابطه ۲- ۱ به صورت ۵/۵۴ = Ne محاسبه گردید. سرعت جریان هوای ورودی به سیکلون بر حسب (m/s) نیز با داشتن طول و عرض کانال ورودی به سیکلون و همچنین دبی جریان ورودی به هر سیکلون برابر m/s ۱۵/۶ تعیین گردید افت فشار سیکلون با توجه به رابطه ۲-۲ به صورت برابر با $in.w.g$ ۳/۷۳ تعیین و در نهایت بازده کلی سیکلونها در حذف ذرات با استفاده از رابطه ۲-۷ برابر۹۴/۲٪برآورد گردید. در شکل دو منحنی بازده جزیی سیکلون طراحی‌شده را در واحد خردایش نشان می‌دهد.



شکل۳: منحنی بازده اسکرابر مه پاش با قطرهای مختلف در سالن خردایش

مشخصات فنی اسکرابرمه پاش

ابعاد اسکرابر مه پاش:

با در دست داشتن مقدار دبی جریان عبوری از اسکرابر مه پاش (Q) و سرعت جریان هوای عبوری از اسکرابر مه پاش $\left(\frac{ft}{s}\right)$ ۴

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

همچنین میزان افت فشار ناشی از اسکرابر مه پاش بر حسب اینچ آب (in.w.g)۳ ابعاد اسکرابر به شرح جدول دو محاسبه گردید[۱۰].

جدول۲: مشخصات فنی اسکرابر واحد خردایش

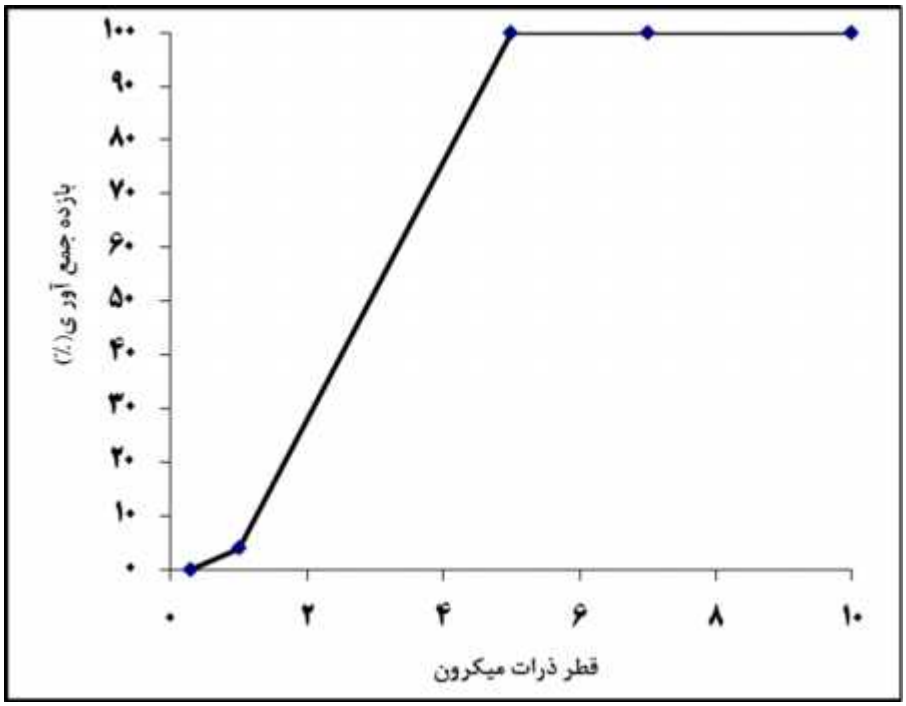
ردیف	پارامتر	ابعاد (*cm*)
۱	قطر	۲۹۲/۶
۲	ارتفاع	۷۳۰

محاسبه بازده اسکرابر مه پاش

جهت محاسبه بازده اسکرابر مه پاش ابتدا باید مقدار شاخص برخورد اینرسی Ψ تعیین مقدار گردد. برای محاسبه شاخص Ψ ابتدا سرعت گاز (V_g) داخل اسکرابر برابر $\frac{cm}{s}$ ۱۲۲/۷ محاسبه گردید. سپس پارامتر برخورد اینرسیال و بازده جمع‌آوری قطره و بازده جمع‌آوری برای قطرهای مختلف با استفاده از رابطه۲-۳ و ۲-۴ و ۲-۵ طبق جدول سه محاسبه گردید.

جدول۳: بازده جمع‌آوری اسکرابر مه پاش در قطرهای مختلف به صورت نظریه

بازده جمع‌آوری اسکرابر مه	بازده جمع‌آوری قطره	پارامتر برخورد اینرسیال	قطر ذره
پاش٪	واحد		(µm)
٪۲/۵۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۳
٪۳/۹۲	۰/۰۰۱۲	۰/۰۱۳	۱
٪۹۹/۹۸	۰/۲۳۳	۰/۳۲۷	۵
٪۹۹/۹۹	۰/۴۱۸	۰/۶۴۲	۷
٪۹۹/۹۹	۰/۶۲۲	۱/۳۱	۱۰



شکل۳: منحنی بازده اسکرابر مه پاش با قطرهای مختلف در سالن خردایش

پس از نتایج اندازه‌گیری ایزوکنتیک راندمان اسکرابر مه پاش به صورت عملی با استفاده از رابطه(۲-۶)۵۹/۰۵ درصد و به صورت تلفیقی(انتشار زیست‌محیطی)۹۷/۴ درصد تعیین گردید.

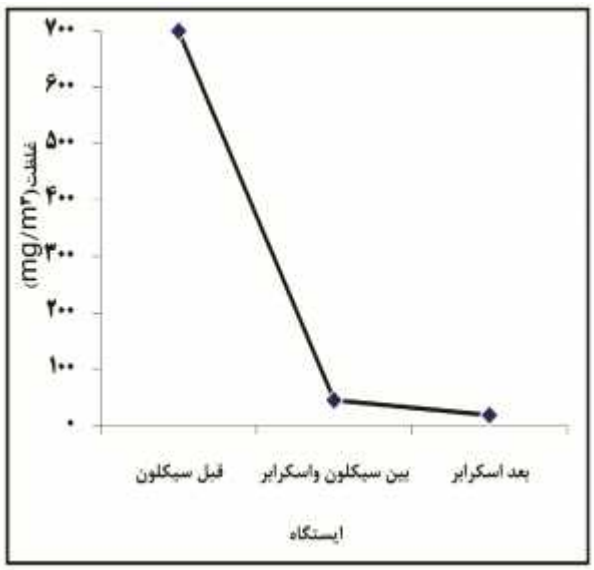
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

مشخصات فنی هواکش

فشار کل، فشار استاتیک هواکش جهت استفاده در سالن خردایش به ترتیب ۱۴/۰۷ in.w.g و ۱۲/۸۵ in.w.g و همچنین توان مورد نیاز هواکش بر حسب اسب بخار برابر ۶۴/۱۳ hp محاسبه گردید. در این مطالعه، بازده مکانیکی هواکش(η) به دلیل اینکه از هواکش سانتریفیوژی استفاده گردید، برابر با ۰/۶ در نظر گرفته شد.

نتایج مربوط به اندازه‌گیری غلظت ذرات در ایستگاه‌های مختلف

نمونه‌برداری و تعیین غلظت تراکم وزنی با استفاده از پروب نمونه‌برداری و به روش ایزوکینتیک صورت گرفت. نتایج مربوط به اندازه‌گیری تراکم وزنی ذرات در ایستگاه اول(قبل از سیکلون)، غلظت کل ذرات ورودی به سیکلون را به صورت میانگین mg/m^3 ۷۰۰ نشان داد. اندازه‌گیری غلظت ذرات در ایستگاه دوم (بعد از سیکلون و قبل از اسکرابر مه پاش)، تراکم ذرات را به صورت میانگین mg/m^3 ۴۴/۴ نشان داد. همچنین نتایج اندازه‌گیری‌ها در ایستگاه سوم (بعد از اسکرابرمه پاش)، تراکم ذرات عبوری از اسکرابر مه پاش به صورت میانگین را mg/m^3 ۱۸/۱۸ نشان داد.



شکل۴: منحنی جمع‌آوری ذرات پالایشگرها به صورت تلفیقی در سالن خردایش

همان‌گونه که از منحنی فوق قابل‌مشاهده می‌باشد، تراکم ذرات بعد از نصب و راه‌اندازی سیستم تهویه از مقادیر مجاز زیست‌محیطی ارائه‌شده توسط سازمان محیط‌زیست ایران برای سنگ‌شکن‌ها mg/m^3 ۱۵۰کمتر می‌باشد[۲۱].

جدول۴: نتایج اندازه‌گیری مواجهه با ذرات، قبل و بعد از نصب و راه‌اندازی سیستم

نوع مواجهه	قبل از نصب سیستم		بعد از نصب سیستم		راندمان	P value
	میانگین ذرات(mg/m^3)	انحراف معیار ذرات(mg/m^3)	میانگین ذرات(mg/m^3)	انحراف معیار ذرات(mg/m^3)	درصد	
مواجهه فردی	۴۱/۳	۱/۳	۲/۹۸	۰/۰۱	/۷۸ ٪۹۲	P value<0/001
انتشار محیطی	۲۵/۴	۱/۶	۸/۹۸	۰/۸	/۶۴ ٪۶۴	P value=0/001

همان‌گونه که از جدول فوق قابل‌مشاهده می‌باشد، میزان مواجهه با ذرات قابل تنفس، پس از نصب و راه‌اندازی سیستم تهویه از مقادیر توصیه‌شده ملی و بین‌المللی(mg/m3)۰/۰۲ کمتر می‌باشد. میانگین غلظت ذرات در مواجهه فردی حالت خاموش سیستم ۴۱/۳mg/m3 و در حالت روشن سیستم ۲/۹mg/m3 می‌باشد. همچنین اختلاف معناداری بین میزان غلظت ذرات در حالت‌های خاموش و روشن بودن سیستم تهویه موضعی دیده می‌شود (P<۰/۰۰۱).

بر این اساس میانگین غلظت ذرات در انتشار محیطی حالت خاموش سیستم mg/m^3 ۲۵/۴ و در حالت روش mg/m^3 ۸/۹ می‌باشد. همچنین اختلاف معناداری بین میزان غلظت ذرات در حالت‌های خاموش روشن بودن سیستم تهویه موضعی دیده می‌شود (P=۰/۰۰۱).

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای کنترل ذرات منتشرشده در محیط کار از سیستم تهویه موضعی به روش چند هودی و با رعایت تأمین

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

توازن فشار در شاخه‌های فرعی کانال‌ها بر اساس استانداردهای کمیته تهویه صنعتی ACGIH استفاده گردید. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که غلظت نمونه‌های گرفته‌شده برای ذرات قابل استنشاق ۱۳ تا ۱۴برابر حد مجاز مواجهه شغلی ایران و برای گرد و غبار کل ۳ تا ۴ برابر حد مجاز مواجهه شغلی ایران می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد پس از نصب و راه‌اندازی سیستم ذرات سیلیس با حدود کمتر از حدود مجاز برای $10mg/m^3$ _inhalable و $respirable_3mg/m^3$ در این سالن وجود دارد. نتایج این مطالعه در مقایسه با تحقیقات مشابه انجام‌شده در مورد کنترل ذرات سیلیس مشخص نموده است که اعمال سیستم تهویه موضعی باعث کاهش ۹۲/۷۸٪ مواجهه فردی و کاهش ۶۴/۶۴٪ مواجهه محیطی با ذرات، می‌باشد. در مطالعه‌های مشابه که توسط قربانی و همکاران در سال ۲۰۱۲، کلیپ و ساواس در سال ۲۰۱۰، بهرامی و همکارانش در سال ۲۰۰۸ ثابت نموده‌اند که کنترل ذرات گردو غبار در این صنایع توسط سیستم مکنده موضعی مهم‌ترین و موثرترین راهکار کنترلی می‌باشد[۱۱،۱۲،۱۳،۲۲].

در مطالعه حاضر به دلیل تراکم بالای ذرات و تنوع سایزی نیاز به دبی مکش بالایی بود در نتیجه برای دستیابی به قطر بهینه بدنه سیکلون، به منظور افزایش راندمان جمع‌آوری از سیکلون های موازی استفاده گردید. در این خصوص مطالعه کولیپ و ساواس نیز سودمندی استفاده از سیکلون موازی در حذف ذرات با تراکم بالا را نشان داد[۱۲].

نتایج حاصل از این مطالعه، بازده حذف ذرات گردو غبار کل توسط سیکلون مورد استفاده را ۹۴/۲٪ نشان داد که مطالعه حاضر از این لحاظ با مطالعات مشابه صورت گرفته (قربانی ۹۴٪، کلیپ و ساواس ۹۵٪-۹۰٪ و بهرامی ۹۰٪-۸۸٪)در این زمینه همخوانی دارد. از دلایلی که باعث بالا بردن بازده جمع‌آوری سیکلون شده، می‌توان به نوع و بار آلاینده ورودی، سایز نسبتاً درشت ذرات، بالا بودن بازده مدل سیکلون انتخابی و همچنین دانسیته بالای ذرات اشاره نمود[۱۱،۱۳،۲۲].

در این مطالعه از اسکرابر مه پاش طرح جدید جهت حذف ذرات ریز عبوری از سیکلون استفاده گردید که متشکل از یک محفظه استوانه‌ای تو خالی دو جداره است که هوا به صورت مماسی از قسمت مرکزی اسکرابر وارد و در این بخش توسط نازل‌های محیطی مایع شوینده باعث گرفته شدن بخشی از ذرات می‌شود. پس از حرکت نزولی جریان هوا، مجدداً از داخل جداره داخلی استوانه‌ای به صورت صعودی به سمت بالا حرکت و در این بخش نیز مایع شوینده توسط نازل‌هایی به صورت شعاعی در داخل محفظه پاشیده می‌شوند در این طرح، اسکرابر جریان هوای با تراکم آلاینده کم را با تمیزترین مایع شوینده مواجه می‌کند[۱۰]. در مطالعه مانفرد ویکی تاکید شده است که توزیع اندازه ذرات و میزان بار ذرات ورودی به اسکرابر از جمله عواملی هستند که در تعیین بازده کلی جمع‌آوری اسکرابر دارای اهمیت به سزایی است سایر عوامل تأثیرگذار قابل‌ذکر نسبت حجم مایع به هوا گذر، سرعت جریان هوای حاوی آلاینده، تعداد و محل نصب افشانک‌ها، محل ورود و خروج آلاینده از اسکرابر می‌باشد که در صورت عدم طراحی مناسب منجر به تغییر در میزان بازده پیش بینی شده می‌گردند[۱۰،۲۳]. در این مطالعه بازده کلی اسکرابر مه پاش ۵۹/۰۵٪ را نشان می‌دهد که مطالعه حاضر از این لحاظ نیز با مطالعات مشابه صورت گرفته همخوانی دارد[۹،۱۱،۲۲].

نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌دار آماری بین بازده جمع‌آوری گردوغبارکل سیکلون، اسکرابر های مه پاش و بازده سیستم تلفیقی سیکلون اسکرابر وجود دارد، بدین ترتیب که بازده جمع‌آوری استفاده از سیکلون اسکرابر به صورت توأم بالاتر از بازده جمع‌آوری سیکلون ، اسکرابر به صورت مجزا می‌باشد. سیکلون و اسکرابر در سیستم های تهویه کنونی به صورت مکمل عمل نموده و بازده بالایی را ایجاد کرده‌اند که در این مطالعه بازده تلفیقی سیکلون واسکرابر مه پاش را ۹۷/۴٪ رانشان می‌دهد. بر این اساس در این کارگاه با توجه به منابع خاص انتشارآلودگی و تراکم بسیار بالای ذرات، استفاده مجزا و جداگانه از این وسایل غبارگیر جهت پالایش هوا نامناسب بوده و توصیه نمی‌شود. نتایج نشان داد سیکلون دارای کارایی و بازده بالاتری نسبت به اسکرابر مه پاش می‌باشد و این بازده بالا نشان‌دهنده نقش موثر سیکلون ها در سیستم های تهویه است. بر این اساس مشخص گردید که اسکرابر مه پاش مورد استفاده در سیستم های تهویه کارگاه‌ها در شرایط کارکرد صحیح سیکلون(به عنوان پیش تصفیه‌کننده) می‌تواند بازده لازم جهت حذف ذرات عبور نموده از سیکلون را تا رسیدن به حد مجاز استاندارد داشته باشد.

نتایج بررسی منحنی بازده جزیی سیکلون با راندمان مدل استایرمند سیستم های تهویه نشان داد که دارای بازده بالایی می‌باشند که از علل مهم آن می‌توان به بالا بودن میزان تراکم ذرات ورودی اشاره نمود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان بار ورودی به سیکلون، میزان کارایی آن افزایش می‌یابد. مطالعه وانگ و همکاران درسال ۲۰۰۲ نیز نشان داد که میزان بازده

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

جمع‌آوری سیکلون به صورت فوق‌العاده به بار ذرات ورودی بستگی دارد[۲۴].

با توجه به نتایج بازده جمع‌آوری بالای سیکلون که نقش بسیار موثری را در کاهش آلودگی هوای محیط کار و محیط‌زیست داشت، این پالایش گر توانسته ماهیانه حداقل سی تن ذرات را در هاپر بازیافت نماید و به چرخه فروش بازگرداند که ارزش اقتصادی معادل سیصد میلیون ریال را به همراه داشته و هزینه‌های مربوط به طراحی ساخت و اجرای این طرح را در ماه‌های اول جبران نماید این امر نشان‌دهنده این است که غبارگیرها از جنبه هزینه‌های نگه‌داری و ملاحظات مصرف انرژی در طراحی سیستم های تهویه موضعی نیز مقرون به صرفه بوده و بر این اساس استفاده از این وسایل غبارگیر به صورت توأم با اسکرابر مه پاش در فرآیند تولید با در نظر گرفتن ملاحظات طراحی پیشنهاد می‌گردد.انتظار می رود پروژه حاضر گام موثری در کاربردی نمودن علوم دانشگاهی در حل معضلات بهداشتی و زیست‌محیطی این صنعت بوده و با بازیافت آلاینده‌ها، توجیه اقتصادی مناسبی برای این طرح فراهم شود.

تشکر و قدردانی

از مدیران، کارکنان شرکت تولیدی کربور سیلیسیوم که جهت اجرای این پژوهش همکاری لازم را با ما داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داریم. این مقاله حاصل از پایان‌نامه با عنوان" طراحی، اجرا و ارزیابی سیستم تهویه صنعتی و غبارگیرهای واحد خردایش یک شرکت تولیدی کربورسیلیسیوم" در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای(شماره طرح ۹۳۰۲۲۲۶۵۲) که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی همدان اجراشده است.

منابع

1. Lawrence k. Wang p, pe , dee, norman c. Pereira p, yung-tse hung p. Handbook of environmental engineering air pollution control engineering. Humana press inc; 2004

2. Curtis Luke RW, Smith-Willis Patricia, Fenyves Ervin, Pan Yaqin. . Adverse health effects of outdoor air pollutants. Environment International. 2006; 32:815-30.

3. Lipman M. Environmental Toxicant:Human exposures andtheir health effects., editor: wiley; 2009

4.GHazae s, Disease and complications of labor .TEHRAN University of Medical Sciences and Health Services. 1997:50-70.

5.Garkaz majid, Ghorbani Farshid . Mohammad Javad Assari, Javad Faradmal,Application of Local Exhaust Ventilation System and Hybrid Collectors for Control of Air Pollutants in Alloy Steel Company. ioh.iums, 2013

6.RM JAMSHIDI, SF GHORBANI, A BAHRAMI. Evaluation of Local Exhaust Ventilation Efficiency to control emissions of Fe2O3 Dust in Ambient Air of the Oxide Screen Unit in steel industry.Journal of Knowledge & Health 2015; Vol 9, No 4

7. Shakibaei, Nazila. Reducing Workers' Exposures to Chemicals and Dust in Nail Salons Using Local Exhaust Ventilation Systems. Diss. University of Washington, 2014.

8. Ifelola, E. O., and D. J. Afu. "Development of an Integrated Dust Collector and Local Exhaust Ventilation System for Controlling Industrial Mine Dust."Advanced Materials Research. Vol. 824. 2013.

9. Ali abadi M. Comparison of performance of conventional cyclones, scrubbers mist and combined use controling of silica particles in air monitoring sites stamping Azndryan Hamedan: Hamadan University of Medical Sciences, School of Public Health; 2006.

10. Ghorbani Shahna Farshid. design and application of scrubbers for air pollution contorol: fanavaran; 2012.12,P 118-128.

11. Ghorbani Shahna. F, Bahrami. A.R, Farasati. F. Application of Local Exhaust Ventilation System and Integrated Collectors for Control of Air Pollutants in Mining Company. Industrial Health. 2012;50:450–7

12. Kolip A, Savas AF. Energy and exergy analyses of a parallel flow, four stage cyclone precalciner type cement plant. International Journal of the Physical Sciences. 2010;5(7):114763

13. Bahrami A, Ghorbani F, Mahjub H, Golbabei F, Aliabadi M. Application of traditional cyclone with spray scrubber to remove airborne silica particles emitted from stone-crushing factories. Industrial health. 2009; 47(4):436-42.

14. World Health Organization (WHO). Evaluation of Exposure to Airborne Particle in the Work Environment. WHO Offset Publication No. 80.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

Geneva. 1984
15. ACGIH. Industrial ventillation, A manual of Recommended Practice. USA: U.S Department of Labor 1998.
16. Vinit Mody and Raj Jakhete.dust contorolDust_Control_Handbook. Published In the United States of America by Noyes Publications .1998
17. Jafari. M. J. Industrial Ventilation. 3 th ed. Tehran: Fadak; 2008.
18. Theodore L. air pollution control equipment calculation. John wiley&sons, INC, Publication. Hoboken, New Jersey. 2008; Vol 1
19. US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), NIOSH Manual of Analytical Methods- Method No. 7602- Method No. 600
WWW.CDC-NIOSH publication product – NIOSH manual of Analytical method
20. Measurement of Particulate Including Grit Published February 1, by BSI Standard(British (Standards Institution). BS 3405. 1989.
21. National Standards Department of the Environment The amount of particulate matter discharged from the chimneys of factories size of 10 micrometers according to 1995 Law on the Prevention of Air Pollution Act 3 Iran's Majlis
22.Bahrami AR, Mahjub M, Qorbani F, Aliabadi M, Barqi M .Determination of Exposure to Respirable Quartz in the Stone Crushing Units at Azendarian-West of Iran2008
23. Wicke Manfred “Collection Efficiency and Operation Behavior of Wet Scrubber”, Second International clean Air Congress of APPA.1970
24. Wang, L., Parnell C.B. and Shaw B.W “Study of the Cyclone Fractional Efficiency

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]

Research Article

Design, Implementation & Assessment of Local Exhaust Ventilation System and dust collectors for crushing unit

Mohsen Moradi [1], Farshid Ghorbani Shahna [2 *], Abdulrahman Bahrami[3], Mansour Reza Zadeh Azeri [4]

Received: 17 July 2015 Accepted: 25 August 2015

Abstract

Background & objective: Industrial ventilation systems and dust collectors are effective solutions to reduce particulate emissions in the workplace and environmental in mineral processes. In this study, Local Exhaust Ventilation System and dust collectors for control of emitted silica, coke, silicon carbide dusts from crushing unit was designed and evaluated.

Methods: : Local Exhaust ventilation system based on standards and guides was designed and implemented after field study of the processes and sources of air pollutants. A set comprised of the four parallel cyclones (Stairmand model) and a new design of the scrubber had been used for dust control. After set-up of systems, its effectiveness in reducing the exposure of workers in the workshops and dust collecting were assessed.

Results: Test results were significant differences between the concentration of particles in both on and off the ventilation system revealed ($P < 0.05$). The system has been implemented as means of personal exposure to pollutants and environmental emissions were reduced 93.01% and 64.64%, respectively. Also, alone and integrated collection efficiency of cyclone and scrubber, were 94.2%, 59.05% and 97.4%, respectively. The results show good agreement with the values of the parameters ventilation system was designed.

Conclusion: Implementation of integrated dust collectors is a good option in industries that have the financial and technical constraints to improve change processes and devices. This method with attainment to health and environmental standards not only can be resolve of the pollution problems, but also will be economically justified of such projects with reduction of depreciation expense and dust recycling.

Keywords: Local exhaust ventilation, Cyclone, Scrubber, Silicon carbide

Please cite this article as: Moradi M[1], Ghorbani Shahna F[2*]. Bahrami A[3]. Reza Zadeh Azeri M[4]. Design, Implementation & Assessment of Local Exhaust Ventilation System and dust collectors for crushing unit. *Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2015; 2(2):32-42.*

1. Msc Student of Industrial Hygiene Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan, Iran
Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
2.*(Corresponding author) Associate Professor, Center of Excellence in Occupational Health and Health Sciences Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: fghorbani@umsha.ac.ir
3. Professor, Center of Excellence in Occupational Health and Health Sciences Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
4. Professor , Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, School of Public Health, Department of Occupational Health Engineering, Tehran, Iran.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-15]