

بررسی مقایسه ای بازده سیکلون ، اسکرابر مه پاش و سیستم تلفیقی سیکلون - اسکرابر در کنترل ذرات سیلیس هوای کارگاه های سنگ کوبی

محسن علی آبادی^{۱*}

mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir

عبدالرحمن بهرامی^۲

فریده گلپابائی^۳

فرشید قربانی^۴

تاریخ پذیرش: ۸۷/۳/۸

تاریخ دریافت: ۸۶/۹/۱۹

✉

هدف از این مطالعه تعیین بازده جمع آوری سیکلون متداول و اسکرابر مه پاش در سیستم های تهویه موضعی راه اندازی شده جهت حذف ذرات سیلیس در کارگاه های سنگ کوبی می باشد. در این مطالعه نمونه برداری ایزو کینتیک گرد و غبار در داخل سیستم تهویه موضعی قبل و بعد از وسایل غبارگیر بر اساس روش شماره ۵ سازمان EPA انجام گرفت و تعیین مقدار نمونه های گرد و غبار جمع آوری شده به روش گراویمتری انجام پذیرفت. نمونه برداری بر مبنای توزیع اندازه ذرات نیز با استفاده از کاسکید آبشاری صورت گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که سیستم تلفیقی سیکلون متداول و اسکرابر، دارای بازده بالایی در تصفیه ذرات جمع آوری شده به وسیله سیستم تهویه موضعی است. میانگین ذرات خروجی از سیستم های تهویه در سیلیس کوبی های درجه ۱ (سیلیس کوبی ها با سیلیس آزاد بالای ۹۵٪) ۴۳ تا 131 mgm^{-3} بوده و در سیلیس کوبی های درجه ۲ (سیلیس کوبی ها با سیلیس آزاد بالای ۸۵٪) ۶۴ تا 127 mgm^{-3} بوده که کمتر از حد مجاز استاندارد توصیه شده سازمان محیط زیست کشور می باشد. بازده سیکلون به تنهایی در حذف ذرات سیلیس ۸۱٪ الی ۹۷٪ بوده است و در شرایطی که سیکلون همراه با اسکرابر استفاده گردد بازده به ۹۲٪ الی ۹۹٪ افزایش می یابد که نقش بسیار موثری در حذف ذرات از هوای کارگاه های سنگ کوبی دارد.

واژه های کلیدی: سیکلون، اسکرابر مه پاش، بازده، کارگاه سنگ کوبی، ذرات سیلیس.

۱- مربی گروه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان* (مسئول مکاتبات).

۲- استاد گروه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان.

۳- استاد گروه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران.

۴- استادیار گروه بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان.

مقدمه

ازجمله مهم ترین صنایعی که کارگران شاغل در آن به دلیل ماهیت فعالیت کاری در مواجهه با گردوغبار سمی حاوی سیلیس آزاد قرار دارند، کارگاه های سنگ کوبی است. در منطقه ای از شهر همدان ۳۲ کارگاه سنگ کوبی وجود دارد که به دو گروه کارگاه های تولید سیلیس درجه یک و درجه دو تقسیم می شود. سیلیس درجه یک، نوع مرغوب تر و حاوی ۹۵٪ سیلیس آزاد می باشد، در صورتی که میزان سیلیس آزاد در محصول نوع درجه دو ۸۰٪ می باشد. لازم به ذکر است که حدود ۵۰۰ نفر در این کارگاه ها به صورت مستقیم و غیر مستقیم شاغل هستند. در فرآیند سنگ کوبی، سنگ های معدن ابتدا توسط تسمه نقاله به قسمت سنگ شکن منتقل شده و عملیات خرد کردن سنگ در چند مرحله صورت می گیرد. پس از آن قطعات سنگ مجدداً وارد دستگاه سنگ شکن دوم شده و در آن جا به قطعات خیلی ریز تبدیل می شود و به دستگاه های غربالگری منتقل می گردد. در این قسمت پودر سیلیس براساس قطرهای دلخواه غربال شده و به انبارهای در نظر گرفته شده منتقل می گردد. طی سال های اخیر انتشار آلاینده ذره ای سیلیس ناشی از فرآیند سنگ کوبی تأثیرات جبران ناپذیری بر سلامت کارگران شاغل در کارگاه ها و محیط زیست منطقه وارد نموده است. مطالعات مختلف، جمع آوری کننده های مختلفی از جمله اسکرابر، سیکلون و فیلترخانه را جهت جمع آوری ذرات سیلیس توصیه نموده اند. در هرحال لازم است که بازده جمع آوری ذرات این وسایل غبار گیر به درستی پیش بینی و تعیین گردد، بدین جهت که عملکرد این وسایل به عوامل مختلف از جمله خصوصیات ذرات آلاینده و جریان گاز و میزان بار ذرات و توزیع اندازه ذرات ورودی و همچنین سرعت جریان طراحی سیستم بستگی دارد (۱ و ۲). در مورد تأثیر ابعاد هندسی سیکلون بر بازده جمع آوری ذرات، مطالعات نشان داده است که کاهش قطر مجرای خروجی هوای سیکلون^۱ نسبت به قطر سیکلون (De/Dc) باعث افزایش بازده جمع آوری ذرات و همچنین افزایش افت فشار می شود (۳).

همچنین کاهش قطر انتهای مخروط سیکلون در شرایط خاص باعث افزایش بازده سیکلون می شود (۴). مطالعه تجربی توسط lee و همکاران نشان داد که دبی گاز ورودی نقش اساسی در تعیین بازده سیکلون ایفا می کند و افزایش آن باعث افزایش بازده جمع آوری ذرات می شود (۵). در مورد عملکرد اسکرابرهای تر به ویژه اسکرابر مه پاش^۲ مطالعات نشان داده است که بازده جزئی اسکرابر با افزایش نسبت مایع به گاز افزایش می یابد و همچنین توزیع اندازه ذرات ورودی به اسکرابر در تعیین بازده کلی جمع آوری اسکرابر دارای اهمیت به سزایی است (۶). همچنین افت فشار و بازده اسکرابر دارای ارتباط موثری می باشند به طوری که تحت تأثیر افزایش بازده اسکرابر، افت فشار افزایش می یابد (۷). علی رغم این که مطالعات فراوانی در ارتباط با عملکرد سیکلون و اسکرابر تر به صورت جداگانه در محیط آزمایشگاه بر روی وسایل غبار گیر ساخته شده در مقیاس کوچک در دسترس می باشد، اطلاعات در خصوص عملکرد سیستم تلفیقی سیکلون متداول و اسکرابره مه پاش در جمع آوری ذرات گردوغبار در شرایط واقعی ناپیچ است. از این رو هدف از مطالعه با توجه میدان تحقیقاتی موجود تعیین تأثیر سیکلون به عنوان پیش تصفیه کننده در بهبود عملکرد اسکرابر مه پاش در جمع آوری ذرات آلاینده سیلیس و مقایسه بازده سیکلون، اسکرابر با سیستم تلفیقی سیکلون اسکرابر می باشد.

مواد و روش ها

در این مطالعه با توجه به یکسان بودن شرایط طراحی سیستم های تهویه در کارگاه های سنگ کوبی، وسایل غبار گیر شش سیستم تهویه موضعی در کارگاه های تولید سیلیس درجه ۱ و درجه ۲ مورد مطالعه قرار گرفت. لازم به ذکر است با توجه به نوع فرآیند سنگ کوبی و منابع انتشار آلودگی برای هر کارگاه دو سیستم تهویه موضعی طراحی شده است و به دلیل مشابه بودن تجهیزات و نحوه انتشار آلودگی در منابع انتشار

نمونه برداری ایزوکینتیک ذرات آلاینده در داخل کانال های سیستم تهویه بر اساس روش استاندارد شماره ۵ ارایه شده توسط سازمان EPA^۲ صورت گرفت (۱۰). تعیین تعداد نقاط نمونه برداری در سطح مقطع کانال ها، بر اساس استاندارد BS 3405 صورت گرفت. مطابق با این استاندارد در صورتی که سطح مقطع کانال کمتر از $2/5m^2$ باشد، تعداد نقاط اندازه گیری چهار نقطه و محل دقیق نقاط اندازه گیری در فاصله $0.15D$ و $0.85D$ قطر افقی وعمودی کانال می باشد (۱۱). برای این اساس ۴ نمونه قبل از سیکلون، ۴ نمونه بعد از سیکلون و ۴ نمونه بعد از اسکرابر جهت قضاوت در مورد میزان بار ذرات در هر ایستگاه تعیین شد که برای هر سیستم ۱۲ نمونه و برای کل سیستم های تهویه ۷۲ نمونه تعیین گردید. محل نمونه برداری ایزوکینتیک ذرات در مسیرهای مستقیم کانال و با فاصله مشخص از موانعی مثل زانوها، فن، دمپر که منجر به اختلال در مسیر حرکت یکنواخت جریان هوا می شوند، انتخاب گردید (۱۱). نمونه برداری به دو روش نمونه برداری گردوغبار کل و قابل استنشاق صورت گرفت.

الف- تعیین سرعت جریان هوا

تعیین سرعت جریان هوا جهت ایجاد شرایط نمونه برداری ایزوکینتیک در محل های نمونه برداری با استفاده از مانومتر مورب همراه با لوله پیتوت استاندارد به منظور اندازه گیری فشار سرعت و فشاراستاتیک صورت گرفت. جهت کاهش خطا، اندازه گیری فشار های سرعت واستاتیک در کانال های سیستم تهویه در شرایط خاموشی ماشین آلات سنگ کوبی انجام گرفت. مطابق با استاندارد توصیه شده انجمن تهویه صنعتی سازمان ACGIH^۱ وبا توجه به حداکثر قطر کانال ها ۸۰ سانتی متر، تعداد ۱۰ نقطه در مقطع عرضی کانال جهت اندازه گیری افت فشار تعیین گردید (۸).

ب- نمونه برداری ایزوکینتیک گردوغبار کل

جهت نمونه برداری از پمپ نمونه برداری فردی مدل-224 PCXR3 با دبی پایین ساخت شرکت SKC انگلستان، نگاه دارنده دو بخشی فیلتر مدل Close Face، فیلترهای PVC

آلودگی، میزان حجم هوای مورد نیاز برای سیستم تهویه اول که مربوط به دستگاه های سنگ شکن بوده برابر با CFM ۱۱۰۰۰ و برای سیستم تهویه دوم که مربوط به دستگاه های سرند بوده CFM ۱۸۰۰۰ تعیین شده است. طراحی سیستم های تهویه موضعی بر اساس استاندارد انجمن تهویه صنعتی ACGIH^۱ صورت گرفته است (۸). ابعاد هندسی سیکلون متداول استاندارد لایل مورد استفاده برای سیکلون های سیستم های تهویه ۱ و ۲ کارگاه ها و همچنین ابعاد هندسی اسکرابر ها به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارایه شده است (۹).

جدول ۱- ابعاد هندسی سیکلون های سیستم های تهویه

۱ و ۲ کارگاه های سنگ کوبی

ردیف	ابعاد سیکلون (m)	سیستم تهویه ۱	سیستم تهویه ۲
۱	D _C	۱/۲	۱/۴
۲	a	۰/۶	۰/۷
۳	b	۰/۳	۰/۳۵
۴	H	۴/۸	۵/۶
۵	h	۲/۴	۲/۸
۶	Z	۲/۴	۲/۸
۷	De	۰/۶	۰/۷
۸	B	۰/۳	۰/۳۵

جدول ۲- ابعاد هندسی اسکرابر های سیستم های تهویه

۱ و ۲ کارگاه های سنگ کوبی

ابعاد اسکرابر (m)	سیستم تهویه ۱	سیستم تهویه ۲
قطر اسکرابر	۲	۲/۸
ارتفاع اسکرابر	۵/۱	۷
قطر ورودی هوا	۰/۵۵	۰/۷
قطر خروجی هوا	۰/۵۵	۰/۷

1- American Conference of Governmental Industrial Hygienists

2-Environmental Protection Agency

داده های مطالعه آزمون های آماری One – Way T-test , Anova استفاده شد.

یافته ها و نتایج

الف- اندازه گیری بازده جزئی سیکلون

بازده جمع آوری گردوغبار بر اساس توزیع اندازه ذرات سیکلون های متداول سیستم های تهویه کارگاه های سنگ کوبی درجه ۲ بر اساس روش ذکر شده اندازه گیری گردید و با توجه به نتایج به دست آمده از توزین ذرات در سطوح مختلف دستگاه اندازه گیری، میزان بازده سیکلون در هر محدوده اندازه ای مشخص و به صورت نمودار ۱ ارایه گردید. در این نمودار منحنی بازده جزئی^۲ سیکلون های متداول نشان داده شده است.

ب - اندازه گیری تراکم گرد و غبار قبل و بعد از وسایل

غبارگیر

نتایج اندازه گیری تراکم گرد و غبار کل و قابل استنشاق قبل و بعد از وسایل غبار گیر سیستم تهویه کارگاه های درجه ۱ و درجه ۲ در جدول ۳ ارایه شده است.

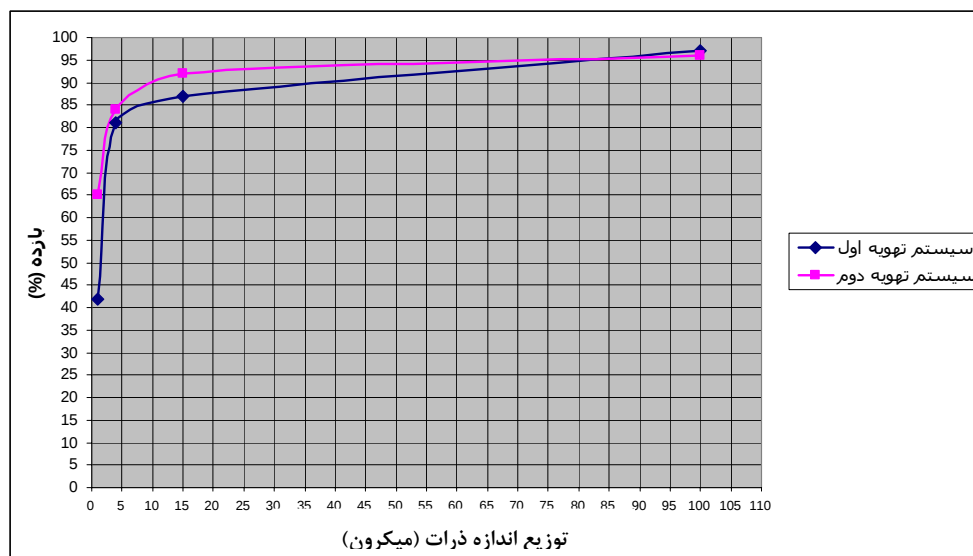
با قطر ۳۷ mm، پراب نمونه بردار با قطر ۲mm استفاده گردید. مدت زمان نمونه برداری جهت تعیین ذرات کل قبل از سیکلون، بعد از سیکلون و بعد از اسکرابر به ترتیب ۲، ۱ و ۵ دقیقه و دبی پمپ نمونه برداری باتوجه به سرعت جریان هوا در کانال و قطر پراب بین ۱/۸-۳/۵ lit/min در نظر گرفته شد.

ج- نمونه برداری ایزو کینتیک گردوغبار قابل استنشاق

جهت نمونه برداری از پمپ نمونه برداری فردی مدل 224-PCXR3، سیکلون نایلونی ۱۰ mm، پراب نمونه بردار با قطر ۲mm، فیلترهای PVC با قطر ۲۵mm استفاده گردید. مدت زمان نمونه برداری قبل از سیکلون، بعد از سیکلون و بعد از اسکرابر به ترتیب ۲، ۳ و ۱۰ دقیقه و دبی پمپ نمونه برداری بین ۱/۸-۲/۵ lit/min در نظر گرفته شد. برای تعیین مدت زمان دقیق نمونه برداری از مدت زمان توصیه شده در مقالات و همچنین پیش آزمون استفاده شد. کلیه فیلتر های نمونه برداری قبل و بعد از انجام نمونه برداری به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتور قرار گرفت. کالیبراسیون پمپ های نمونه برداری در محل با استفاده از روماتر و در دبی های مورد نظر صورت گرفت. نمونه های گردوغبار تهیه شده از کانال های سیستم تهویه به آزمایشگاه منتقل شده و تعیین مقدار آن به روش گراویمتری و با استفاده از ترازوی دیجیتالی Sartorius مدل BP 121S با حساسیت ۰/۱ mg صورت گرفت.

د- نمونه برداری براساس توزیع اندازه ذرات

جهت تعیین بازده جزئی سیکلون و ترسیم منحنی بازده عملکرد آن، نمونه برداری قبل و بعد از سیکلون متداول با استفاده از کاسکید آبشاری^۱ ساخت شرکت NEGRETTI کشور انگلستان و با استفاده از فیلترهای فایبرگلاس GF/A با قطر ۲۱mm و قطر ۶۰mm، پمپ نمونه بردار محیطی و پراب نمونه بردار با قطر ۶mm صورت گرفت. مدت زمان نمونه برداری قبل از سیکلون ۳۰ ثانیه، بعد از سیکلون ۱ دقیقه و دبی نمونه برداری ۳۰ lit /min در نظر گرفته شد (۱۲). اطلاعات حاصل از اندازه گیری ها با استفاده از نرم افزار Spss10 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. جهت تحلیل



نمودار ۱- بازده جزئی سیکلون متداول سیستم تهویه اول و دوم کارگاه های سنگ کوبی

جدول ۳- توزیع تراکم گردوغبار کل وقابل استنشاق قبل وبعد از وسایل غبار گیر سیستم های

تهویه کارگاه های سنگ کوبی

نوع کارگاه	ردیف سیستم	قبل از سیکلون		بعد از سیکلون		بعد از اسکرابر	
		گردوغبار کل	گردوغبار قابل استنشاق	گردوغبار کل	گردوغبار قابل استنشاق	گردوغبار کل	گردوغبار قابل استنشاق
کارگاه درجه ۱	سیستم ۱	۵۳۶۱±۲۵۷	۸۵۲±۱۰۲/۴	۳۸۳±۲۷	۲۵۴/۳±۴۷	۱۳۱±۳۰	۸۲±۴
	سیستم ۲	۵۲۱۰±۳۶۸	۱۶۸۴±۵۲	۱۳۵±۱۳	۸۵±۸/۱	۴۳±۱۵	۱۸±۳
کارگاه درجه ۲	سیستم ۱	۱۵۸۷±۲۳۹	۵۸۷/۷±۸۳	۳۰۱±۴۸	۱۴۹±۱۷	۱۲۷±۵۱	۵۸±۱۰/۴
	سیستم ۲	۱۲۹۹±۱۴۷	۴۹۷/۷±۱۶۰	۲۱۳±۳۰	۱۳۸±۲۰	۶۴±۲۸	۴۰±۱۲/۷

ج- اندازه گیری بازده وسایل غبار گیر

بازده وسایل غبارگیر برای جمع آوری گردوغبار کل وقابل استنشاق بر اساس تراکم گردوغبار قبل و بعد از وسایل غبار گیر محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارایه شده

است. نتایج آزمون آماری نشان می دهد که بین بازده جداسازی گرد و غبار کل وسایل غبار گیر سیکلون، اسکرابر و سیستم تلفیقی سیکلون اسکرابر اختلاف معنی داری وجود دارد

($P_{\text{Value}}=0/0002$). همچنین نتایج آزمون آماری نشان می دهد که بین بازده جداسازی گردوغبار قابل استنشاق وسایل غبار گیر سیکلون، اسکرابر و سیستم تلفیقی سیکلون اسکرابر اختلاف معنی داری وجود دارد ($P_{\text{Value}}=0/0003$).

جدول ۴- بازده وسایل غبارگیر برای جمع آوری گردوغبار کل وقابل استنشاق سیستم های تهویه کارگاه های سنگ کوبی

نوع کارگاه	نوع سیستم	سیکلون		اسکرابر مه پاش		سیکلون اسکرابر توام	
		گردوغبار کل	گردوغبار قابل استنشاق	گردوغبار کل	گردوغبار قابل استنشاق	گردوغبار کل	گردوغبار قابل استنشاق
کارگاه سنگ کوبی درجه ۱	سیستم ۱	٪۹۲/۸۵	٪۸۰	٪۶۶/۴۵	٪۶۷/۶	٪۹۷/۶	٪۹۰/۳
	سیستم ۲	٪۹۷/۴	٪۹۴/۹۳	٪۶۸	٪۷۸	٪۹۹/۱	٪۸۹/۹
کارگاه سنگ کوبی درجه ۲	سیستم ۱	٪۸۱	٪۷۴/۶	٪۵۷/۸	٪۶۰/۷	٪۹۲	٪۹۰
	سیستم ۲	٪۸۳/۶	٪۷۲/۳	٪۷۰	٪۷۱	٪۹۵	٪۹۲

بحث و نتیجه گیری

نتایج مطالعه نشان داد که اختلاف معنی دار آماری بین بازده جمع آوری گردوغبار کل سیکلون، اسکرابر های مه پاش و بازده سیستم تلفیقی سیکلون اسکرابر وجود دارد، بدین ترتیب که بازده جمع آوری استفاده از سیکلون اسکرابر به صورت توام بالاتر از بازده جمع آوری سیکلون، اسکرابر به صورت مجزا می باشد. همچنین بین بازده جمع آوری گردوغبار قابل استنشاق وسایل غبار گیر نیز اختلاف معنی داری مشاهده گردید. سیکلون و اسکرابر در سیستم های تهویه فعلی به صورت مکمل عمل نموده و بازده بالایی را ایجاد کرده اند. براین اساس در این نوع کارگاه ها با توجه به منابع خاص انتشار آلودگی و تراکم بسیار بالای آلاینده، استفاده مجزا از این وسایل غبارگیر جهت پالایش هوا در کارگاه ها به ویژه در ارتباط با اسکرابر مه پاش نا مناسب بوده و توصیه نمی شود. نتایج نشان داد سیکلون دارای کارایی و بازده بالاتری نسبت به

اسکرابر مه پاش می باشد و این بازده بالا نشان دهنده نقش موثر سیکلون ها در سیستم های تهویه کارگاه های سنگ کوبی است. البته باتوجه به بالا بودن بار آلودگی استفاده از سیکلون به صورت جداگانه نیز در سیستم های تهویه کارگاه های سنگ کوبی کارایی لازم را نخواهد داشت و مقادیر تراکم آلاینده خروجی از سیکلون بالاتر از حدود مجاز استاندارد زیست محیطی خواهد بود. نتایج نشان داد که در سیستم هایی که بار آلاینده ورودی به اسکرابر افزایش یافته، منجر به کاهش نسبی بازده آن گردیده است. در مطالعه Manfred Wicke نیز تاکید شده است که توزیع اندازه ذرات و میزان بار ذرات ورودی به اسکرابر از جمله عواملی هستند که در تعیین بازده کلی جمع آوری اسکرابر دارای اهمیت به سزایی است (۶). سایر عوامل تاثیر گذار قابل ذکر نسبت حجم مایع به هواگذر، سرعت جریان هوای حاوی آلاینده، تعداد و محل نصب افشانک ها،

های درجه یک و دو، اختلاف چندانی درمیزان بارآلاینده خروجی از سیستم های تهویه در این دو نوع کارگاه وجود ندارد و در واقع استفاده از غبارگیر ها به صورت توام توانسته است محدوده گسترده بار آلاینده ورودی به سیستم تهویه را کنترل نماید. با توجه به نتایج مطالعه استفاده توام سیکلون همراه با اسکرابر مه پاش نقش بسیار موثری را در کاهش آلودگی هوای کارگاه سنگ کوبی داشته است. این غبار گیر ها از جنبه هزینه های نگه داری و ملاحظات مصرف انرژی در طراحی سیستم های تهویه موضعی نیز مقرون به صرفه بوده و بر این اساس استفاده از این وسایل غبار گیر به صورت توام در فرآیند های مختلف تولید فرآورده های معدنی با در نظر گرفتن ملاحظات طراحی پیشنهاد می گردد.

منابع

- 1- Cooper C.D , Alley F.C, 2002, "Air Pollution Control: a Design Approach". Waveland Press, Inc. 3th edition.
- 2- Kim H.T., Jung C.H, Lee K.W., 2001, "Particle Removal Efficiency of Gravitational Wet Scrubber Considering Diffusion, Interception, and Impaction". Environmental Eng Science J, Vol 18 , No .2 ,P: 125-136
- 3- Halasz M.R.T and Massarani G, 2000, "Performance Analysis and Design of Small Diameter Cyclones". Braz. J. Chem. Eng. Vol17, P: 384-389.
- 4- Rongbiaho Xiang, Park S.H. , Lee K.W, 2001, "Effect of Cone Dimension on Cyclone Performance ". J of Aerosol science, Vol 32, P: 549-561.
- 5- Kim H.T., Lee K.W., Kuhman M.R, 2001, "Exploratory Design Modification for Enhancing Cyclone Performance", J. Aerosol Science, Vol 32, P: 1135-1136.

محل ورود و خروج آلاینده از اسکرابر می باشد که در صورت عدم طراحی مناسب منجر به تغییر در میزان بازده پیش بینی شده می گردند. بر این اساس مشخص گردید که اسکرابر مه پاش مورد استفاده در سیستم های تهویه کارگاه ها در شرایط کارکرد صحیح سیکلون به عنوان پیش تصفیه کننده می تواند بازده لازم جهت حذف ذرات عبور نموده از سیکلون را تا رسیدن به حد مجاز استاندارد داشته باشد. نتایج بررسی منحنی بازده جزیی سیکلون متداول سیستم های تهویه نشان داد که این سیکلون ها علی رغم این که از نوع متداول هستند دارای بازده بالایی می باشند که از علل مهم آن می توان 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 می یابد. مطالعه Wang و همکاران در سال ۲۰۰۲ نیز نشان داد که میزان بازده جمع آوری سیکلون به صورت فوق العاده به بار ذرات ورودی بستگی دارد. (۹) در مطالعه Wang L. در سال ۲۰۰۴ در مورد طراحی سیکلون، بازده کلی سیکلون طراحی شده بر اساس مدل لاپل برابر با ۹۶٪ گزارش گردید که در مقایسه با بازده پیش بینی شده مدل لاپل ۸۶/۶٪ برای سیکلون استاندارد 2D2D مقدار بالاتری به دست آمده است. (۱۳) نتایج مطالعه حاضر نیز در مورد محدوده بازده سیکلون های متداول در سیستم های تهویه کارگاه ها نشان دهنده بالا بودن بازده جمع آوری سیکلون طراحی شده بر اساس این مدل می باشد و این به دلیل عوامل مختلف تاثیر گذار در بازده جمع آوری از جمله نوع و بار آلاینده ورودی می باشد. همچنین مطالعه Wang و همکاران نشان داد که در مقایسه کارایی طرح های مختلف 2D2D ارایه شده از سیکلون ها، سیکلون های 1D3D (Parnell1979) و 2D2D (Lapple1939) موثرترین سیکلون ها از لحاظ بازده جمع آوری ذرات با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرون هستند (۹). مطالعه حاضر نیز نشان دهنده کارایی بالای سیکلون طراحی شده بر اساس مدل 2D2D لاپل می باشد. بررسی نتایج نشان می دهد علی رغم تفاوت قابل ملاحظه در بار آلاینده ورودی به سیستم های تهویه در کارگاه

- Engng. Intl., Volume IV. Manuscript No. BC02002
- 10- EPA. 1997, "Determination of Particulated Matter Emissions from Stationary Sources", Air Resource Board; California, Method No 5:1-33.
- 11- Clarke Andrew G, 1998, "Industrial Air Pollution Monitoring". Champman and Hall .London. First edition.
- 12- Hounam. R f, Sherwood R J, 1975, the Cacade Centripeter: A Device for Determinng the Concentration and Size Distribution of Aerosols. Am. Ind. Hyg. Assoc. J, Vol 26, P: 122-131.
- 13- Wang L, 2004, "Theoretical Study of Cyclone Design", Doctor of Philosophy, Texaz A& M University, Chapter V, P: 46-61.
- 6- Wicke Manfred, 1970, "Collection Efficiency and Operation Behavior of Wet Scrubber", Second International clean Air Congress of APPA.
- 7- Hesketh Howard. E, 1974, "Fine Particle Collection Efficiency Related to Pressure Drop, Scrubbant and Particle Properties". j of Air Pollution Control Association , Vol 24, No.10, P: 156-161
- 8- ACGIH, 2001, "Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice". Committee of Industrial Ventilation, ACGIH Publications, Cincinnati, 24th Edition.
- 9- Wang, L., Parnell C.B. and Shaw B.W., 2002, "Study of the Cyclone Fractional Efficiency Curves", Agr.