علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره سیزدهم، شماره چهار، زمستان ۹۰

مطالعه تأثیر شارژ الکتریکی قطرات آب بر بازده اسکرابر مه پاش در حذف ذرات سیلیس

مجید بیاتیان[1*]

عبدالرحمن بهرامی[2]

رستم گلمحمدی[3]

فرشید قربانی شهنا[4]

تاریخ دریافت:۸۷/۷/۱۵ **تاریخ پذیرش:۸۷/۹/۲۵**

چکیده

یکی از روش های کنترل ذرات، استفاده از شارژ الکتریکی در اسکرابرهای تر (CWS) می باشد. استفاده از این فن آوری از سال ۱۹۷۵ به طور فراگیر آغاز شد. این سیستم ها در جایی کاربرد دارند که بتوان از اسکرابر در جمع آوری آلاینده ها استفاده نمود. در اصل این سیستم فقط بازده جمع آوری را افزایش می دهد و فن آوری جدید برای جمع آوری آلاینده ها نمی باشد. سیلیس از جمله موادی است که در صنایع مختلف کاربرد داشته و کارگران با ذرات آن تماس دارند و خطرناک بودن آن ها برای انسان به اثبات رسیده است.

براین اساس طبق توصیه ACGIH ابتدا سیستم تهویه ای به صورت پایلوت طراحی و نصب گردید. در مرحله بعد با استفاده از یک مبدل برقی DC با ولتاژ ۱۲۷۵ ولت آب باردار شد. سپس با اندازه گیری افت فشار توسط لوله پیتوت و در نظر گرفتن شرایط ایزوکنتیک در هنگام نمونه برداری قطر پروپ نمونه برداری محاسبه شد. نمونه گیری به صورت درختی انجام یافت و با توجه به این که هر آزمایش سه بار تکرار گردید، در کل ۷۲ نمونه گرفته شد. تجزیه نمونه ها به صورت وزنی و تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون آماری Mann' withnny انجام گرفت.

با توجه به اندازه گیری های انجام شده توسط ولت متر و آمپر سنج در حین باردار شدن آب میدانی به بزرگی بیش از $۳*۱۰^{۱۴}$ الکترون ایجاد گردید. با در نظر گرفتن شرایط ایزوکنتیک در حین نمونه برداری قطر پروپ۲ میلی متر شد. نتایج حاصل از آزمایشات نشان

۱- مربی، گروه بهداشت حرفه ای- دانشکده بهداشت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پزشکی تهران *(مسئول مکاتبات).

۲- استاد، گروه بهداشت حرفه ا ی، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی- دانشگاه علوم پزشکی همدان

۳- استادیار، گروه بهداشت حرفه ا ی، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی- دانشگاه علوم پزشکی همدان

۴- مربی،گروه بهداشت حرفه ا ی، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی- دانشگاه علوم پزشکی همدان

Archive of SID

www.SID.ir

داد که: ۱- در یک دبی مشخص مداخله الکتریکی باعث افزایش بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق می شود. در حالی کـه ایـن مداخلـه الکتریکی برروی بازده جمع آوری ذرات غیر قابل استنشاق تأثیر قابل توجهی ندارد.۲- اثر مداخلـه الکتریکـی بـا بـار مثبـت بیشـتر از اثـر مداخله الکتریکی با بار منفی می باشد.۳- با افزایش دبی آب بازده جمع آوری ذرات قابل استنشـاق و غیـر قابـل استنشـاق ذرات سـیلیس افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: شارژ الکتریکی، اسکرابر مه پاش، حذف ذرات سیلیس، بازده.

مقدمه

استفاده از سیستم های تهویه موضعی بـرای جمـع آوری آلودگی های موجود در محیط کار امری رایج می باشد. از طرف دیگر مـواد آلاینـده جمـع آوری شـده توسـط سیسـتم تهویـه بایستی کنترل شـده و هـوای خروجـی از هـواکش بایـد دارای میزان آلودگی کمتر از حد مجـاز ارایـه شـده از سـوی سـازمان حفاظت محیط زیست باشد. امـروزه اسـتفاده و کـاربرد وسـایل تصفیه کننده هوا با توجه به تمرکز سازمان محـیط زیسـت بـر آلودگی هوا و کنترل آن رو به افزایش می باشد.

اکسید سیلیسیم (SiO_2) یا سیلیس ترکیبی شیمیایی است که به صورت خالص و یا به صورت ترکیب در کـانی هـای سیلیکاته وجود داشته و در مجموع ۹۰٪ پوسته جامد زمـین را تشکیل می دهند. نام سیلیس[1] از واژه لاتینSilicis به معنی سنگ سخت، سنگ آتش زنه یـا سـنگ چخمـاق گرفتـه شـده است. سیلیس به عنوان دومین عنصر فراوان در پوسته زمین بـا فراوانی ۲۵٪ می باشد. استنشاق گـرد و غبـار متبلـور سـیلیس آزاد یا کوارتز (دی اکسید سیلسیوم) سبب بیماری مولد فیبروز و تصلب ریه به نام بیماری سیلیکوزیس می گردد. سـیلکوزیس بیماری دارای سیر غیر قابل پیش بینی با عاقبت وخـیم اسـت. سیلیکوزیس دارای پیش آگهی خوبی نبوده و معمـولاً نیمـی از مبتلایان به آن قبل از ۵۵ سالگی می میرند و گروهـی دیگـر از آن ها ناتوان و دیگر قادر به کار نمی باشند. بنابراین با توجه بـه حفظ محیط زیست و کاهش آلودگی آن توسط صـنایع از یـک طـرف و حفـظ سـلامت کارکنـان از طـرف دیگـر اسـتفاده از سیستمی که بتواند آلودگی را با بـازده بـالا جمـع آوری نمایـد امری ضروری می باشد(۱).

اسکرابرها یا غبار گیرهـای تـر از قـدیمی تـرین روش هـای کنترل آلاینده ها هستند (اوایل ۱۹۰۰م). وقتی که ذرات غبـار در تماس با مایع قرار می گیرند به آن چسبیده و غالباً در مـایع نفوذ می کنند. در اثر نیروهایی که باعث راندن ذرات بـه طـرف سطح مایع می شوند، بین غبار و مایع تماس برقرار مـی گـردد. این نیروها ممکن است نیروی حاصل از برخـورد مولکـول هـا ، نیروی گرانشی، گریز از مرکز و غیره باشند(۲).

بازده جداسازی ذرات توسط اسکرابرهای تر معمـولی اغلب برای ذرات زیر میکرونی بسیار پایین است. یک راه ممکن بـرای بهبـود بـازده جمـع آوری ذرات، اسـتفاده از نیروهـای الکتریکی از طریق شارژ ذرات، قطرات آب و یا هر دو می باشـد. اسکرابرهای الکتروسـتاتیک یکـی از مـؤثرترین سیسـتم هـایی هستند که جهت حذف آئروسل ها از جریان گـازی و یـا هـوای محیط از جمله ذرات، دود، باکتری ها و قـارچ هـا در سـایزهای زیر میکرونی استفاده می شوند. درایـن وسـایل ذرات و قطـرات شستشو دهنده بـا بارهـای مخـالف شـارژ مـی شـوند. قطـرات باردارشده همانند الکترودهای جمـع آوری کوچـک موجـود در رسوب دهنده های الکتروستاتیک عمل می کنند. فاصـله ذرات با این جمع آوری کننده ها کوتاه هستند و نیروی جذب کولنی نسبتاً بالاست و باعث می شود ذرات به سمت قطـرات کشـیده شده و برخورد مکانیکی ایجاد گردد. این نـوع اسـکرابرها عیـب ذاتی موجود در اسکرابرهای معمولی که قادر به کنترل ذرات در سایزهای زیر میکرونـی نیسـتند را نـدارد. ایـن نـوع اسـکرابرها دارای بـازده جمـع آوری بـالاتر هسـتند و در مقایسـه بـا اسکرابرهای معمولی نیاز به آب کمتر و افت فشار کمتری دارند

1 - Silicon

Archive of SID

www.SID.ir

و مهم ترین نقص آن ها در کاربرد ایجاد خوردگی در عناصر فلزی از جمله الکترودها می باشد(۳).

همان گونه که گفته شد یکی از روش های کنترل ذرات استفاده از شارژ الکتریکی در اسکرابرهای تر[1] (CWS) می باشد. استفاده از این فن آوری از سال ۱۹۷۵ به طور فراگیر آغاز شد. این سیستم ها در جایی کاربرد دارند که بتوان از اسکرابر در جمع آوری آلاینده ها استفاده نمود. در اصل این سیستم فقط بازده جمع آوری را افزایش می دهد و یک فن آوری جدید برای جمع آوری آلاینده ها محسوب نمی شود. هزینه های کلی بهره برداری و به کار اندازی CWS ها بسیار مشابه با اسکرابرهای تر متداول است با این تفاوت که این وسیله می تواند بازدهی در حدود وسایل رسوب دهنده الکتروستاتیکی داشته باشد. در این سیستم ها شارژ الکتریکی به گونه ای صورت می گیرد که بار عمر کوتاهی داشته باشد به صورتی که در خروجی پایین اسکرابر آلاینده ها و یا قطرات فاقد بار و یا بار کمی باشند(۴).

اولین اقدام موفقیت آمیز از طریق اجرای کنترل ذرات آلاینده در هوا براساس اصول الکتروستاتیک توسط Cottrel (۱۹۰۸) انجام یافت که نتایج تحقیقاتش توسعه استفاده از رسوب دهنده های الکتروستاتیک به عنوان وسایل پالایشگر هوا بود. در اوایل سال ۱۹۴۰ اسکرابرهای مه پاش الکتروستاتیکی، که در آن ذرات آلاینده و قطرات آب دارای قطبیت مخالف بودند، توسط Peni (۱۹۴۴) ارایه شد. او یک اسکرابر مه پاش الکتروستاتیک راکه شامل شارژ کننده ذرات از طریق یک تخلیه هاله ای و شارژ کننده قطرات از طریق یون ایمپکتور یا ساز و کار القاء بود به ثبت رسانید. میزان آب سیستم ۵ گالن به ازای ۱۰۰۰ فوت مکعب هوا بود. یک نازل اسپری کننده متصل به منبع تغذیه برق با ولتاژ ۱۰۰۰۰-۹۰۰۰ ولت باعث باردار شدن آب می شد و ذرات از طریق سیستم کرونا در یک سیلندر فلزی با قطر ۳ اینچ و با ولتاژ ۱۲۵۰۰ ولت باردار می شدند. Peni افزایش بازده جمع آوری ذرات را از ۱۳/۸٪ تا ۴۴/۸٪ در حالتی که ذرات با قطبیت مخالف باردار شده بودند، گزارش کرد(۵). Kati Vaaraslahti (۲۰۰۲) طی مطالعه ای آزمایشی اثر جنس نازل، دبی مایع را در اسکرابر با قطرات آب باردار مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه ابتدا سه نازل از جنس های آهن ضد زنگ، برنج و پلی وینیلیدین فلوراید مورد آزمایش قرار گرفت. این نازل ها در دبی ۷/۵ لیتر بر دقیقه مورد آزمایش شدند. در این آزمایش نازل های با جنس برنج و فولاد ضد زنگ دارای بازده حدوداً یکسانی بوده و مقدار کمی بیشتر از نازل پلی وینیلیدین فلوراید بودند که البته این تفاوت در نتایج قابل انتظار بود. همچنین در این مطالعه بازده شارژ الکتریکی در دبی های ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ لیتر بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده میزان شارژ با سرعت جریان مایع ایجاد شده افزایش می یابد. همچنین اندازه قطرات برروی شارژ مؤثر می باشد. تغییر توزیع اندازه قطرات باعث تغییر توزیع شارژ قطرات می شود و احتمال می رود که کل شارژ در اسپری نیز تغییر یابد. این یک دلیل منطقی برای افزایش شارژ که جریانات با افزایش سرعت مایع افزایش می یابد، است. همچنین Michael (۲۰۰۴) طی مطالعه آزمایشی خود اثر انواع مختلف نازل در نگه داری بار الکتریکی با ولتاژ مختلف را مورد پژوهش قرار داد. او به این نتیجه رسید که نازل های فلزی بهترین بازده را در نگه داری بار الکتریکی دارند(۶).

در ایران از مطالعاتی که در زمینه افزایش بازده اسکرابرها صورت گرفته است می توان طراحی و ساخت اسکرابر دینامیک جدید و آزمایش آن در صنعت سیمان را نام برد. دستگاه در مسیر خروجی الکتروفیلتر یک کارخانه سیمان قرار گرفت و آزمایش های انجام شده با تغییر پارامترهایی مانند هواگذر بین ۲۱۱۲ تا ۶۰۵۰ متر مکعب بر ساعت و غلظت آلاینده ۳۰۰-۲۰۰ میلی گرم بر متر مکعب و دبی مایع ۱۰ تا ۳۱۰ لیتر بر ساعت و با توانایی جداسازی بین ۱۷۰۰-۲۰۰ صورت گرفت و بازده خوبی بین ۹۳-۸۰٪ از خود نشان داد که بسیار مطلوب ارزیابی شد(۷). از کارهای دیگری که در ایران برروی اسکرابرها انجام یافته است می توان ساخت دستگاه اسکرابر برای گرفتن مواد آلاینده (۱۳۸۴)، افزایش بازده جمع

1- Charging Wet Scrubber

Archive of SID

www.SID.ir

آوری به وسیله سیکلون-اسکرابر (۱۳۷۸) را نام برد. اما با توجه به بررسی های صورت گرفته شده در دانشگاه ها و همچنین شرکت های مختلف ارایه خدمات پالایش هوا، تا به حال مطالعه ای در زمینه باردار نمودن قطرات آب برای افزایش بازده اسکرابر مه پاش صورت نگرفته است. به همین دلیل در این مطالعه سعی شده است تا ابتدا اثر شارژ الکتریکی آب با بار مثبت و بار منفی و سپس تأثیر افزایش دبی مایع برروی بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق و غیر قابل استنشاق سیلیس در اسکرابر مه پاش مورد بررسی قرار گیرد.

روش کار

برای انجام آزمایش ها ابتدا یک سیستم تهویه به صورت پایلوت طراحی و ساخته شد. طراحی این سیستم اساس روش فشار سرعت[1] بر طبق توصیه VS-15-01 ارایه شده از سوی سازمان ACGIH برای تعیین هواگذر، سرعت جریان هوا و مشخصه های فنی دیگر سیستم صورت گرفت(۸).

مشخصه اصلی و تعیین کننده برای تعیین ابعاد اسکرابر سرعت جریان هوا و هواگذر سیستم می باشد. از آن جا که پیشنهاد می شود در اسکرابرها سرعت جریان هوا در داخل محفظه ۲۰۰-۲۵۰fpm باشد براساس رابطه $Q=AV$ سطح مقطع اسکرابر و در پی آن با استفاده از رابطه ۱ قطر اسکرابر محاسبه شد.

$$A=\pi d^2/4 \rightarrow d=2\sqrt{(A/\pi)} \quad \text{رابطه ۱}$$

همچنین، چون توصیه می شود ارتفاع اسکرابر ۲/۵-۲ برابر قطر آن باشد، با تعیین قطر اسکرابر با استفاده از رابطه بالا، ارتفاع آن نیز به دست آمد.

از آن جا که محدوده پیشنهادی برای دبی افشانک های اسکرابر مه پاش برابر ۱۵-۵ گالن به ازای هر ۱۰۰۰ فوت مکعب در دقیقه است و هواگذر سیستم ۵۰۸ فوت مکعب بر دقیقه می باشد، بنابراین حداقل و حداکثر دبی آب مورد نیاز برابر ۲/۵۲ و ۷/۶۲ گالن بر دقیقه بوده که به ترتیب ۹/۵۴ و ۲۸/۸۴ لیتر بر دقیقه می باشد. بنابراین برای سیستم مذکور پمپ آبی با دبی ۴۰ لیتر بر دقیقه با ارتفاع آب دهی ۴۰ متر تهیه گردید.

با توجه به این که در سیستم مورد نظر آلاینده ذره می باشد و این ذرات ممکن است برروی پره های هواکش رسوب نموده و آن را از بالانس خارج سازند، از هواکش رادیال استفاده شد(۹). جهت تعیین مشخصات فنی هواکش از نرم افزار fanox استفاده گردید. سپس هواکش مورد نظر طبق مشخصه های فنی به دست آمده ساخته شد.

برای تعیین افت فشار و در نتیجه آن سرعت عملیاتی در سیستم پایلوت از لوله پیتوت استفاده گردید. محل اندازه گیری افت فشار براساس توصیه ارایه شده از سوی EPA تعیین گردید.

برای نمونه برداری ذرات در داخل کانال باید شرایط ایزوکنتیک برقرار باشد. در شرایط ایزوکنتیک سرعت جریان هوای ورودی به نازل پروپ نمونه برداری باید برابر با سرعت جریان هوای داخل کانال باشد. براین اساس با توجه به اندازه گیری افت فشار عملیاتی در سیستم توسط لوله پیتوت و رابطه ۲ سرعت جریان هوا در داخل کانال تعیین گردید. سپس با توجه به این که سرعت در داخل کانال و پروپ نمونه بردار باید یکسان باشد قطر پروپ تعیین شد.

$$V=4005\sqrt{VP} \quad \text{رابطه ۲}$$

برای باردار نمودن آب از یک مولد برق DC استفاده شد. در این مرحله با توجه به این که در سیستم لوله کشی آب نبایستی فلز به کار برده شود، از لوله های پلی اتیلن برای انتقال آب استفاده شد و برای باردار نمودن آب در قسمتی از سیستم لوله کشی از لوله های نیوپایپ استفاده شد. این لوله ها از سه لایه تشکیل شده اند. لایه بیرونی و درونی این لوله ها از جنس پلاستیک و لایه میانی از جنس فلز آلومینیوم می باشد. خصوصیات منحصر به فرد این نوع لوله باعث شد که برای باردار نمودن آب سیستم را به صورت یک خازن ایجاد نماییم. در این حالت آلومینوم موجود در بین دو لایه پلاستیکی لوله به عنوان یک قطب و جریان آب موجود در لوله به عنوان قطب مخالف آن مد نظر قرار گرفت. براین اساس در سیستم یک شیر

1- Velocity Pressure Method Balance System Design

Archive of SID

www.SID.ir

پلاستیکی که مغزی آن از جنس فلز بود به عنوان یک قطب اتصال دهنده به مولد برق در نظر گرفته شد. برای اتصال قطب دیگر دستگاه مولد برق به سیستم لوله کشی در بخشی از سیستم لوله کشی که لوله آن از جنس نیوپایپ بود، لایه رویی آن تراشیده شد و قطب دیگر دستگاه به صفحه آلومینیومی اتصال پیدا نمود. جهت تعیین بارها با استفاده از دستگاه های آمپر سنج و ولت سنج میزان جریان و ولتاژ آب مورد اندازه گیری قرار گرفت. از آن جاکه مقدار بار طبق رابطه زیر به زمان و شدت جریان وابسته است بنابراین می توان نوشت:

$q = I \times t$ رابطه۳

و در نهایت مقدار بار داده شده به آب برابر حاصل تقسیم مقدار q بر بار الکترون می باشد(۱۰)، به عبارت دیگر:

رابطه۴

$$n = \frac{q}{1.6 \times 10^{19}}$$

با توجه به این که هدف این پژوهش تعیین اثر پارامترهای مداخله الکتریکی با بارهای مثبت و منفی قطرات آب و افزایش دبی آب برحذف ذرات قابل استنشاق و غیر قابل استنشاق برای ذرات سیلیس در اسکرابر می باشد، نمونه گیری به صورت درختی انجام یافت و در کل ۷۲ نمونه از داخل کانال (۳۶ نمونه قبل از پالایشگر و ۳۶ نمونه بعد از پالایشگر) گرفته شد. تجزیه نمونه ها به صورت وزنی انجام گرفت و از حاصل ضرب فلوی پمپ نمونه بردار در مدت زمان نمونه برداری حجم هوای عبوری از فیلتر به دست آمد. سپس این دو عدد بر یکدیگر تقسیم شدند و برای این که مقدار غلظت آلاینده براساس mg / m^3 به دست بیاید عدد حاصل را در 10^6 ضرب نمودیم. در نهایت برای تعیین بازده پالایش آلاینده مورد مطالعه توسط اسکرابر از رابطه ۵ استفاده شد(۱۱):

$$R_a = \frac{a \quad b}{a} \times 100$$ رابطه۵

که در آن a غلظت اولیه، b غلظت ثانویه و R_a بازده سیستم می باشد.

برای تعیین این که آیا بازده سیستم در اثر متغیرهای ایجاد شده افزایش یافته یا نه از نرم افزار SPSS و آزمون آماری Mann' withnny استفاده گردید.

نتایج

با توجه به هواگذر و سرعت جریان هوا ارتفاع و قطر اسکرابر به صورت زیر تعیین شدند. همچنین شکل ۱ شمایی از مشخصه های فنی سیستم پایلوت نصب شده را نشان می دهد.

$Q=AV$

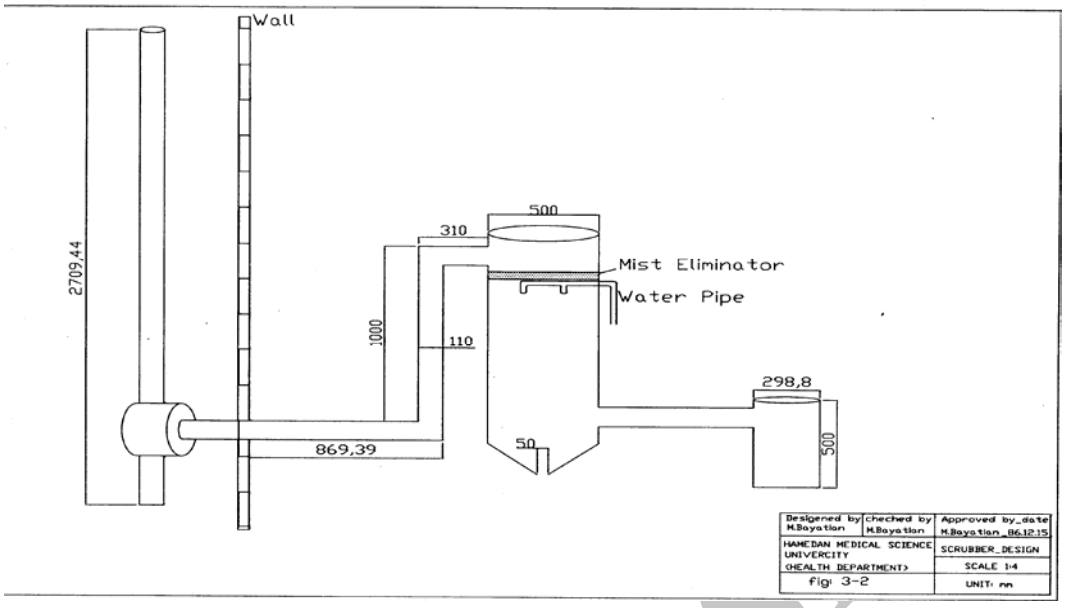
$508= 240A$

$A= 2/11ft^2$

$d= 1/64ft = 0.5\ m$

$h= 2/5 \times 0/5= 1/24\ m$

Archive of SID



شکل۱- مشخصه های فنی سیستم پایلوت

بعد از نصب سیستم و استفاده از افشانه ها به دلیل افت فشار ناشی از آن ها طبق محاسبات و آزمایش های صورت گرفته، حداکثر دبی آب حدود ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه شد. طبق این نتایج دبی های مورد نظر برای این آزمایش ۲۰/۳ و ۱۱/۴ لیتر بر دقیقه انتخاب گردید. با اندازه گیری افت فشار توسط لوله پیتو و با استفاده از رابطه ۲ سرعت جریان عملیاتی در داخل کانال ۲۲۰۰ فوت بر دقیقه بوده که در شرایط ایزوکنتیک این پارامتر باید در داخل کانال و پروپ نمونه برداری یکسان باشد، بنابراین سرعت در داخل پروپ ۲۲۰۰ فـوت بر دقیقـه می شود. از طرف دیگر چون برای نمونه برداری از پمپی با فلوی ۲ لیتر بر دقیقه استفاده شد، قطر پروپ نمونه برداری برابر می شود با:

$V= 2200\ fpm \times 0/3048 = 670/57\ m/min$

$A= 2/982 \times 10^{-6}$

$d= 2\ mm$

با اندازه گیری توسط دستگاه آمپر سنج مشخص شـد که میزان جریانی را که آب می کشد $4/82 \times 10^{-7}$ آمپر است و دستگاه ولت سنج ولتاژ ۱۲۷۵ ولـت را نشـان داد. چـون زمـان نمونه برداری در سیستم ۱۲۰ ثانیه بود، بنابراین میزان بار ایجاد شده در این مدت زمان برابر است با:

$q= 4/84 \times 10^{-7} \times 120 = 4/81 \times 10^{-5}\ c$

و تعداد الکترون ایجاد شده در این مدت زمان برابر است با:

$$n = \frac{4.81\times10^{-5}}{1.6\times10^{-19}} = 3\times10^{14}$$

بعد از تعیین مشخصات اسکرابر و میزان دبی آب و بار قطرات آزمایش ها برروی تعیین بازده پالایش هوا انجام شد. جدول ۱ نشان دهنده غلظت ذرات قابل استنشاق (قطر آئرودینامیکی کوچک تر از ۲میکرون) و غیر قابل استنشاق (قطر آئرودینامیکی بزرگ تر از ۲میکرون) سیلیس قبل و بعد از پالایشگر و بازده پالایشگر بوده و جدول ۲ نشان دهنده نتایج به دست آمده از آزمون فرضیه صورت گرفته بین متغیرهای مورد مطالعه می باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- میانگین ذرات قابل استنشاق و غیر قابل استنشاق ذرات سیلیس قبل و بعد از پالایشگر در اثر پارامترهای مورد آزمایش

آلاینده	شاخص	عدم مداخله الکتریکی		مداخله الکتریکی با بار مثبت		مداخله الکتریکی با بار منفی	
		میانگین غلظت آلاینده ها قبل از پالایشگر (mg/m^3)	میانگین غلظت آلاینده ها بعد از پالایشگر (mg/m^3)	بازده (درصد)	میانگین غلظت آلاینده ها قبل از پالایشگر (mg/m^3)	میانگین غلظت آلاینده ها بعد از پالایشگر (mg/m^3)	بازده (درصد)
ذرات قابل استنشاق سیلیس	دبی ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه	۳۴۷ ±۲۷/۱	۱۳۸ ± ۱۲/۳	۶۰/۳۳	۳۲۸ ± ۱۹/۷	۱۱۴ ± ۹/۳	۶۵/۳
	دبی ۱۱/۴ لیتر بر دقیقه	۳۲۴ ± ۳۲/۶	۱۶۱ ± ۱۵/۶	۵۷/۲۷	۳۴۰ ± ۱۸/۳	۱۳۶±۱۲/۵	۶۰
ذرات غیر قابل استنشاق سیلیس	دبی ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه	۳۱۸ ± ۲۱/۳	۲۳ ± ۴/۱	۹۳	۳۲۶ ± ۳۰/۱	۲۹ ± ۳	۹۱
	دبی ۱۱/۴ لیتر بر دقیقه	۳۲۷ ± ۲۲/۸	۳۲۷ ± ۲۲/۸	۹۰	۳۱۴± ۲۸	۶۳ ± ۴/۲	۸۸

www.SID.ir

جدول۲- بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق و غیر قابل استنشاق ذرات سیلیس

آلاینده	شاخص	عدم مداخله الکتریکی	مداخله الکتریکی با بار مثبت	مداخله الکتریکی با بار منفی
ذرات قابل استنشاق سیلیس	دبی ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه	٪۶۰/۳۳	٪۶۵/۳	٪۶۱/۳۳
	دبی۱۱/۴لیتر بر دقیقه	٪۵۰/۲۷	٪۶۰	٪۶۰
	P-Value	۰/۰۰۲	۰/۰۵	۰/۵
ذرات غیرقابل استنشاق سیلیس	دبی ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه	٪۹۱	٪۹۴	٪۹۱
	دبی۱۱/۴لیتر بر دقیقه	٪۹۰	٪۸۸	٪۸۹
	P-Value	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۱۲۷

در دبی ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه با باردار نمودن قطرات آب بازده جمع آوری ذرات افزایش پیدا کرده است. از طرف دیگر بین میانگین نتایج به دست آمده اختلاف معنی دار ($P <$ ۰/۰۵) مشاهده شد. به عبارت دیگر مداخله الکتریکی باعث افزایش بازده شده است.

با مقایسه بازده به دست آمده از عدم مداخله الکتریکی و مداخله الکتریکی با بار مثبت مشخص شد که بین میانگین نتایج به دست آمده در باردار نمودن مثبت قطرات آب اختلاف معنی دار($P <$ ۰/۰۵) وجود دارد و این مداخله باعث افزایش بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق سیلیس شده است.

از طرف دیگر بازده جمع آوری ذرات در مداخله الکتریکی با بار مثبت در مقایسه با مداخله الکتریکی با بار منفی مقدار بیشتری را نشان می دهد. همچنین بین میانگین نتایج به دست آمده تفاوت معنی دار ($P <$ ۰/۰۵) مشاهده شد. یعنی مداخله الکتریکی با بار مثبت تأثیر بیشتری در مقایسه با مداخله الکتریکی با بار منفی برروی بازده دارد.

در دبی ۱۱/۴ لیتر بر دقیقه بازده جمع آوری ذرات با مداخله الکتریکی با بار مثبت افزایش یافته است که میان میانگین نتایج به دست آمده تفاوت معنی دار ($P <$ ۰/۰۵) مشاهده گردید. یعنی مداخله الکتریکی با بار مثبت باعث افزایش بازده شده است. همچنین مداخله الکتریکی با بار منفی باعث افزایش بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق سیلیس شده است ($P <$ ۰/۰۵) و بازده جمع آوری ذرات سیلیس در دوحالت مداخله الکتریکی با بار مثبت و مداخله الکتریکی با بار منفی تفاوتی با یکدیگر ندارند.

با افزایش دبی و در حالت عدم مداخله الکتریکی و مداخله الکتریکی با بار مثبت بازده جمع آوری افزایش یافته است و با توجه به مقدار P-Value به دست آمده از آزمون آماری بین میانگین بازده جمع آوری ذرات تفاوت معنی دار ($P>$۰/۰۵) مشاهده شد. در مداخله الکتریکی با بار منفی با افزایش دبی افزایش بازده مشاهده شد ولی این افزایش دبی معنی دار ($P>$۰/۰۵) نمی باشد.

طبق جدول۲مداخله الکتریکی با بار مثبت در دبی ۲۰/۳ لیتر بردقیقه باعث افزایش بازده شده است ولی بین میانگین نتایج به دست آمده از بازده جمع آوری ذرات غیر قابل استنشاق سیلیس اختلاف معنی دار ($P>$۰/۰۵) مشاهده نشد و بازده جمع آوری ذرات با ایجاد مداخله الکتریکی با بار منفی افزایشی نیافته است.

همچنین بین نتایج به دست آمده از مداخله الکتریکی با بار منفی و مداخله الکتریکی با بار مثبت تفاوت معنی داری ($P>$۰/۰۵) وجود ندارد. به عبارت دیگر در ذرات غیر قابل استنشاق سیلیس و دبی ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه نوع بار الکتریکی قطرات آب تأثیری برروی بازده ندارد.

بازده جمع آوری ذرات غیر قابل استنشاق آلاینده های مورد مطالعه در دبی ۱۱/۴ لیتر بر دقیقه در مداخله الکتریکی با بار مثبت انجام گرفته شد افزایش یافت که این تفاوت معنی دار ($P>$۰/۰۵) نبود. بین میانگین نتایج به دست

Archive of SID

www.SID.ir

آمده از بازده جمع آوری ذرات در مداخله الکتریکی با بار منفی و مداخله الکتریکی با بار مثبت اختلاف معنی داری (P>۰/۰۵)مشاهده نشد. به عبارت دیگر مداخله الکتریکی با بار مثبت و با بار منفی در دبی ۱۱/۴ لیتر بر دقیقه دارای نتایج مشابه هم می باشند.

از طرف دیگر با افزایش دبی در عدم مداخله الکتریکی و مداخله الکتریکی با بار مثبت بازده جمع آوری ذرات افزایش می یابد که با توجه به آزمون آماری بین میانگین نتایج تفاوت معنی دار(P <۰/۰۵) وجود دارد. یعنی افزایش دبی باعث افزایش بازده می شود. در مداخله الکتریکی با بار منفی بازده سیستم به میزان کمی افزایش یافته است و بین میانگین نتایج به دست آمده اختلاف معنی داری (P>۰/۰۵) مشاهده نشد.

بحث و نتیجه گیری

یکی از روش های نوینی که امروزه برای افزایش بازده اسکرابر مطرح شده است، استفاده از نیروی الکتریسیته می باشد. استفاده از نیروی الکتریسیته و یا همان شارژ الکتریکی در کنترل آلودگی هوا در اسکرابر ها در سه وضعیت به شرح زیر صورت می پذیرد: ۱- باردار نمودن ذرات ۲-باردار نمودن قطرات آب ۳-باردار نمودن قطرات آب و ذرات به صورت توأم بایکدیگر، که ذرات و قطرات دارای بارالکتریکی مخالف هم می باشند. در این حالت حداکثر بازده جمع آوری ذرات توسط اسکرابر الکتروستاتیک ایجاد خواهد شد.

در دبی ۲۰/۳ لیتر بر دقیقه با مداخله الکتریکی، بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق افزایش یافته است. همچنین با افزایش دبی نیز بازده افزایشی بیشتر از خود نشان داده است. علت این افزایش بیشتر بازده در نتیجه تحقیقات Byrne گزارش شده است. Byrne در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که تعداد یون های تولید شده در واحد ثانیه با افزایش سرعت جریان مایع افزایش می یابد(۶). بنابراین می توان گفت این افزایش تعداد یون ها در واحد ثانیه باعث افزایش بیشتر بازده جمع آوری ذرات شده است.

با افزایش دبی و همچنین مداخله الکتریکی با بار مثبت برروی قطرات آب بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق سیلیس افزایش یافته است. هنگامی که قطرات آب در مداخله الکتریکی با بار منفی قرار گرفتند تفاوت معناداری بین نتایج مشاهده نشد. در نتیجه می توان گفت عامل اصلی در افزایش بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق همین بار مثبت قطرات آب است.

همچنین Bertinat در سال ۱۹۷۸ طی مطالعه ای افزایش بازده جمع آوری ذرات را با باردار نمودن قطرات آب گزارش نمود که نتایج به دست آمده از مطالعه مذکور نیز همانند نتایج به دست آمده از این مطالعه می باشد(۸).

در این جا دو عامل باعث افزایش بازده جمع آوری شده است. عامل اول همان افزایش دبی و عامل دوم قطرات باردار شده می باشد. از آن جا که قطرات آب با بار مثبت در اطراف خود میدان همنامی را ایجاد می کنند، در هنگام پاشش آن ها برروی آلاینده ها یک میدان بزرگی با بیش از ۳×۱۰^{۱۴} (با توجه به اندازه گیری های صورت گرفته شده) الکترون ایجاد شده است که می تواند برروی مسیر حرکت اولیه ذرات تأثیر گذاشته و مسیر حرکت ذرات را تابع مسیر حرکت خود قرار دهد و چون مسیر حرکت قطرات روبه پایین و در خلاف جهت جریان هواگذر است، آلاینده از جریان هوا خارج شده و در نهایت از سیستم خارج می شود. در نتیجه این عمل علاوه بر افزایش بازده توسط افزایش دبی، بازده در اثر مداخله الکتریکی با بار مثبت نیز افزایش یافته است.

البته تعیین این که چرا قطرات آب با بار مثبت دارای اثر بیشتری برروی افزایش بازده جمع آوری ذرات است به فاکتورهای متفاوتی از جمله ولتاژ برق و قطر قطرات آب بستگی دارد. به عنوان مثال Byrne طی مطالعات خود به این نتیجه رسید که برای افزایش بازده و مؤثر بودن مداخله الکتریکی قطرات آب با قطر بیشتر از ۴۰ میکرون باید به آب بار مثبت و برای قطرات کوچک تر از ۰/۰۰۴ میکرون باید به آب بار منفی داده شود(۶).

Archive of SID

www.SID.ir

با افزایش دبی آب بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق و غیر قابل استنشاق سیلیس افزایش یافته است. با افزایش دبی آب تماس قطرات آب با آلاینده نیز بیشتر شده و دلیل افزایش بازده جمع آوری ذرات، افزایش تماس ذرات با قطرات آب می باشد. از طرف دیگر با افزایش دبی قطر قطرات آب خارج شده از افشانه ها کوچک تر شده و در نتیجه سطح تماس ذرات با قطرات آب افزایش می یابد. بنابراین می توان گفت که با افزایش دبی مایع اولاً مقدار آبی که برروی ذرات پاشیده می شود بیشتر شده و ثانیاً قطر قطرات کوچک تر می شود. Janas و Mason طبق تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که هنگامی که قطر قطرات مایع اسپری شده کاهش یابد بازده جمع آوری ذرات افزایش می یابد (۶). که هر دو عامل باعث افزایش بازده می شوند.

Kati Varaslahti (۲۰۰۲) که طی مطالعه ای آزمایشی اثر جنس نازل و دبی مایع را در اسکرابر با قطرات آب باردار مورد بررسی قرار داد، در مطالعات خود بازده جمع آوری ذرات را در سه دبی ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ لیتر بر دقیقه تعیین نمود. وی طبق آزمایش های خود به این نتیجه رسید که با افزایش دبی آب بازده جمع آوری ذرات افزایش می یابد.

تمام نتایج به دست آمده از مقایسه پارامترهای مورد مطالعه حاکی از آن است که با مداخله الکتریکی بازده افزایش می یابد که علت اصلی افزایش بازده بار الکتریکی مثبت است. همچنین با افزایش دبی بازده نیز افزایش می یابد. البته ذکر این نکته نیز ضروری است که با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون های آماری مداخله الکتریکی برای ذرات غیر قابل استنشاق در ولتاژ مورد مطالعه دارای اثر کمی می باشد که همان طور که در قبل گفته شد با افزایش دبی مایع می توان آن را جبران نمود.

با توجه به بحث صورت گرفته شده در بالا، به طور کلی نتایج زیر به دست آمد:

۱- در یک دبی مشخص مداخله الکتریکی (با ولتاژ مورد آزمایش در این مطالعه) باعث افزایش بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق می شود. در حالی که این مداخله الکتریکی برروی بازده جمع آوری ذرات غیر قابل استنشاق تأثیر قابل توجهی ندارد.

علت به دست آمدن این نتیجه شاید استفاده از ولتاژ پایین باشد. برای تعیین اثر مداخله الکتریکی برروی بازده جمع آوری ذرات غیر قابل استنشاق می توان از انجام آزمایش در ولتاژهای بالا استفاده نمود. همان گونه که قبلاً ذکر شد میدان الکتریکی ایجاد شده در این مطالعه شاید نتواند برروی ذرات غیر قابل استنشاق تأثیر داشته باشد و فقط آزمایش در ولتاژ بالاتر می تواند این نکته مبهم را روشن سازد.

۲- اثر مداخله الکتریکی با بار مثبت بیشتر از اثر مداخله الکتریکی با بار منفی می باشد که البته ممکن است این نتیجه تنها در مورد مطالعه حاضر صحیح باشد.

۳- با افزایش دبی آب بازده جمع آوری ذرات قابل استنشاق و غیر قابل استنشاق سیلیس افزایش می یابد. دلیل این امر افزایش سطح تماس قطرات آب با آلاینده می باشد که باعث افزایش بازده سیستم شده است.

پیشنهادها

۱. انجام آزمایش در ولتاژ های بالاتر (به عنوان مثال ولتاژ ۱۰ کیلو ولت)

۲. از آن جا که برای اتصال مبدل برقی به سیستم از خازن استوانه ای استفاده شد (لوله آب رسان به صورت خازن در آورده شد.) و ظرفیت خازن استوانه ای طبق رابطه زیر به طول استوانه خازن به صورت مستقیم وابسته است، با افزایش طول لوله می توان مقدار بار تولیدی را نیز بیشتر نمود.

$$q = CV$$

$$C = 2\pi\varepsilon_0 \frac{L}{\ln(b/a)}$$

بنابراین یک راه دیگر برای بهبود اثر بخشی اتصال مبدل برقی به سیستم استفاده از لوله های با طول زیاد می باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

۳. بررسی شارژ الکتریکی قطرات آب اسکرابر مه پاش بر روی بازده جمع آوری آلاینده های گازی با ولتاژ مورد مطالعه.

۴. بررسی شارژ الکتریکی قطرات آب اسکرابر مه پاش بر روی بازده جمع آوری آلاینده های گازی با ولتاژهای بالاتر.

منابع

1. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. 1998. Silica. 770. Issue : 98-4 November,
2. Noel de Nevers,2004, *Air Pollution Control Engineering*. ISBN: 964-350-747-5
3. William A.Burgess, Michael J.Ellenbecker, Robert D. Treiman, 2004, *Ventilation For Control of the Work Environment*, Second Edition,
4. Lawrence K Wang, Norman C Pereira, Yung Tse Hung. 2004, *Air Pollution Control Engineering*, ISBN: 1-58829-161-8.
5. Polat.M; 2004, *Droplet Charging for Wet Scrubber, Air & Waste Manage.* Assoc. No54; Page 3-7
6. Kati Vaaralati; Ari Laitinen. 2002, *Spray Charging of Droplets in a Wet Scrubber, Air & Waste Manage*. Assoc. No52; Page 175-180.

۷. تاجیک، م. ۱۳۸۱، طراحی و ساخت اسکرابر دینامیک جدید و تست آن در صنعت سیمان. پایان نامه دکتری در رشته مهندسی شیمی. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۸. متین، ا. ۱۳۷۱راهنمای طراحی و محاسبات سیستم های تهویه صنعتی، انتشارات سبحان، چاپ اول

9. Ralph G.Culham, P.Eng, *Fan Reference Guide*, 4 th Edition, 2001

۱۰. هالیدی.د، رزنیک.ر، واکر.ج،۱۳۸۱، مبانی فیزیک، جلد دوم: الکتریسیته و مغناطیس، انتشارات اشراقی، ویرایش پنجم، چاپ دوم

۱۱. بهرامی،ع.۱۳۷۸، نمونه برداری و تجزیه آلاینده ها در هوا، انتشارات فن آوران، جلد اول، چاپ اول

Archive of SID

www.SID.ir