



## بررسی کارایی اسکرابر ونچوری در جمع آوری گردوغبار هوابرد $Fe_2O_3$ در یک واحد آهن سازی

مهدی جمشیدی راستانی<sup>۱</sup>، فرشید قربانی شهنا<sup>۲</sup>، عبدالرحمن بهرامی<sup>۳</sup>، محسن زارعی<sup>۴</sup>، سمیه حسینی<sup>۵</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۰۱

تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۵/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۸

### چکیده

**زمینه و هدف:** کارخانه‌های فولاد از جمله صنایعی هستند که نقش مهمی را در آلودگی هوا و انتشار آلاینده‌های ذره‌ای به محیط دارند. اسکرابر ونچوری یکی از مهم‌ترین اجزا و پالایشگرهایی است که در سامانه‌های تهویه برای کنترل انتشار آلاینده‌ها به اتمسفر در صنعت فولاد کاربرد زیادی دارد. از طرفی کارایی این وسیله به نحوه کاربری و استفاده از آن بستگی دارد، لذا این مطالعه باهدف تعیین کارایی اسکرابر ونچوری در یک واحد آهن‌سازی انجام شده است.

**روش بررسی:** این مطالعه یک بررسی توصیفی مقطعی است که به‌منظور تعیین کارایی پالایشگر در کنترل اندازه‌های مختلف ذرات انجام شد. نمونه‌برداری بر اساس روش BS ۳۴۰۵، به‌صورت ایزوکینتیک و با دبی  $30 \text{ l/min}$  در مسیر سیستم تهویه قبل و بعد از پالایشگر با استفاده از توالی نمونه‌برداری شامل مجموعه پروب با نمونه‌بردار بادخانه ورودی استاندارد، وسیله نمونه‌گیر و دسته‌بندی‌کننده ذرات بر اساس اندازه (نمونه‌بردار ذرات از نوع برخورد آشپزی چهار مرحله‌ای) که در ادامه آن تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل جریان قرار می‌گیرند، انجام شد. نهایتاً نمونه‌ها با استفاده از روش وزن‌سنجی آنالیز گردید و نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ آنالیز شد.

**یافته‌ها:** سرعت سیال در گلوبی اسکرابر  $71.4 \text{ m/s}$  و نسبت مایع به گاز  $1.12 \text{ l/m}^3$  می‌باشد. میانگین کل غلظت غبار در قبل و بعد از اسکرابر اسکرابر ونچوری به ترتیب  $6857.5 \text{ mg/m}^3$  و  $964 \text{ mg/m}^3$  بود. کارایی کلی اسکرابر  $85.93\%$  تعیین شد. از نظر توزیع اندازه بیشترین کارایی حذف ذرات  $15 \mu\text{m} >$ ،  $4 \mu\text{m} >$  و  $1-4 \mu\text{m}$ ، به ترتیب برابر  $93.2\%$ ،  $90.6\%$ ،  $79.9\%$  و  $30.4\%$  بود. در اثر سائیدگی و نشستی در کانال کشی قبل از پالایشگر، بار گردوغبار ورودی به پالایشگر از  $25.6 \text{ g/m}^3$  برای طراحی به  $6.86 \text{ g/m}^3$  برای وضعیت موجود، کاهش یافته‌است.

**نتیجه‌گیری:** از نتایج چنین استنباط می‌شود با افزایش قطر ذرات کارایی پالایشگر افزایش می‌یابد ولی به علت تغییراتی که در مشخصه‌های پالایشگر به‌ویژه نازل‌های آن ایجاد شده است در مقایسه با مقادیر مطرح برای کارایی اسکرابر ونچوری در حذف ذرات با قطر کمتر از  $1 \mu\text{m}$ ، این پالایشگر کارایی مناسبی ندارد. با توجه به کاهش بار آلاینده ورودی، این پالایشگر حتی برای اندازه‌های بزرگ نیز کارایی لازم را ندارد.

**کلیدواژه‌ها:** پالایشگر گردوغبار، کارایی، اسکرابر ونچوری، صنعت فولاد

### مقدمه

سلامت افراد شاغل صنایع مجاور، محیط‌زیست و حتی اکوسیستم‌های منطقه‌ای را نیز تهدید می‌کنند و متناسب با ماهیت و غلظت‌شان می‌توانند موجب اثر، مسمومیت و حتی مرگ شوند (۶-۱). این صنعت، شامل واحدهای مختلف کاری نظیر واحدهای آماده‌سازی مواد اولیه، آهن‌سازی، فولادسازی، ریخته‌گری و نورد می‌باشد که در واحد آهن‌سازی عمدتاً بیش از دیگر واحدها معضلات زیست‌محیطی دیده می‌شود. با آشکار شدن جنبه‌های مختلف آثار مخرب بهداشتی، زیست‌محیطی و اقتصادی

صنایع فولادسازی علاوه بر کثرت و تنوع آلاینده‌های تولیدی، حجم زیادی از ذرات هوابرد قابل‌دیدن را (از قبیل اکسیدهای فلزی، دوده، دمه‌ها و گردوغبار)، به دلیل ماهیت فرآیندشان و تعدد کوره‌ها به وجود می‌آورند. این صنعت را می‌توان از جمله منابع اصلی تولید آلاینده‌های هوا در نظر گرفت که با داشتن حجم بالایی از آلودگی‌های زیستی، درگیری بیشتری با این مسئله دارند. آلاینده‌های منتشره از این صنعت، علاوه بر تهدید

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات فناوری دانشجویان، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. (نویسنده مسئول)، دانشیار قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان.

fghorbani@umsha.ac.ir

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

۴. کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران، تهران، ایران

۵. کارشناس مهندسی بهداشت حرفه‌ای، شبکه بهداشت عظیم، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران

معضلات محیط‌زیستی می‌باشد. در بررسی اولیه‌ای که در واحد آهن‌سازی شرکت مورد مطالعه صورت گرفت مشخص شد که با توجه به تغییرات صورت گرفته در فرایند و گذشت زمان زیاد (۲۵ سال) از عمر سیستم تهویه و ونچوری اسکرابر بکار گرفته شده در آن، علی‌رغم صرف هزینه‌های زیاد برای کنترل آلاینده‌ها و هزینه انرژی مصرفی آن، ولی در ظاهر، کارایی لازم را در کنترل آلاینده‌های خروجی به اتمسفر نداشته است. از آنجاکه بحث آلودگی هوا از دیدگاه اقتصادی و تبعات ناشی از آن موضوعی است که اخیراً در دنیا جایگاه ویژه‌ای یافته و انجام هرگونه اقدام کنترلی صرفاً بر اساس تحلیل سود - هزینه امکان‌پذیر می‌شود (۲۴). بنابراین از آنجاکه برای نگهداری و تعمیرات این پالایشگر هزینه زیادی صرف می‌شود، افراد شاغل اطراف این واحد از حجم بالای انتشار آلاینده‌های آن شکایت دارند، به منظور تعیین کارایی اسکرابر ونچوری در جمع‌آوری گردوغبار  $Fe_2O_3$  در اندازه‌های مختلف به اتمسفر در راستای بهبود و یا طراحی مجدد بر اساس نتایج آنالیز سائز آلاینده ورودی و خروجی به پالایشگر، این مطالعه صورت گرفته است.

### روش کار

پژوهش حاضر از نوع مطالعات توصیفی - مقطعی و تجربی می‌باشد که بر روی سیستم تهویه مکنده موضعی دریکی از صنایع بزرگ فولاد کشور انجام شد. پایش و ارزیابی کارایی اسکرابر ونچوری در سه بخش شامل ارزیابی مشخصات سخت‌افزاری و ابعادی پالایشگر، اندازه‌گیری و ارزیابی مشخصه‌های عملیاتی پالایشگر و تعیین کارایی جمع‌آوری پالایشگر صورت گرفت. در بخش اول به‌منظور ارزیابی و بازرسی شرایط سخت‌افزاری پالایشگر فهرست بازبینی<sup>۲</sup> تهیه گردید و برای بررسی مشخصات ابعادی پالایشگر، نقشه‌ها و اسناد مربوطه موجود بررسی و با وضعیت موجود مقایسه گردید. در بخش دوم از ابزاری نظیر لوله پیتوت استاندارد،

در صنایع تولید آهن و فولاد در طی دهه‌های اخیر، پیشرفت چشم‌گیری در توسعه و اجرای اقدامات قانونی، فنی و مهندسی به‌منظور کنترل آلاینده‌های آن‌ها حاصل شده است ولی از آنجاکه میزان سود صنایع فولاد در مقایسه با سایر صنایع ناچیز است، این صنایع انگیزه لازم برای اجرای طرح‌های محیط‌زیستی را ندارند (۱۰-۷). لذا کنترل عوامل زیان‌آور شیمیایی محیط کار از جمله پرچالش‌ترین اقدامات پیشگیرانه در این‌گونه صنایع می‌باشد. در این راستا سامانه‌های تهویه مکنده موضعی در صنعت فولاد به عنوان یکی از اقدامات کنترلی فنی مهندسی می‌تواند در دفع آلاینده‌های محیط کار و جلوگیری از انتشار به محیط‌زیست مفید واقع شود (۱۳-۱۱). سیستم تهویه مکنده موضعی<sup>۱</sup> با به‌دام‌اندازی آلاینده‌ها در منبع تولید مانع از رسیدن این آلاینده‌ها به منطقه کاری کارگران شده و علاوه بر کاهش تراکم آلاینده‌ها به زیر حدود مجاز، مانع از انتشار آن‌ها به محیط‌زیست می‌شود (۱۵-۱۴)؛ و حتی ممکن است به دلایلی (و در مواردی) کارایی لازم را نداشته باشد (۱۷-۱۶). یکی از اجزای سیستم تهویه که نقشی بسیار مهم و مؤثر در کنترل آلاینده‌های منتشره به محیط‌زیست دارد، پالایشگر هوا یا جمع‌آوری‌کننده‌های ذرات هوا می‌باشد. در این میان، اسکرابر ونچوری یکی از انواع پالایشگرهای اولیه و اصلی در سیستم تهویه است. اسکرابرهای ونچوری جز پالایشگرهای تر از نوع تماس فاز گازی هستند که از جریان گاز ورودی برای تأمین انرژی تماسی فازهای مایع و گازی استفاده می‌کنند. اسکرابر ونچوری‌ها دارای بیشترین بازده جمع‌آوری ذرات در مقایسه با دیگر سامانه‌های کنترلی تر هستند و می‌توانند پالایش آلاینده‌های ذره‌ای، گازها و بخارات را به‌طور هم‌زمان انجام دهند. همچنین حجم کوچک اسکرابرهای ونچوری در مقایسه با سایر پالایشگرها، موجب مناسب بودن و استفاده از آن‌ها برای صنایع فولاد شده است (۲۳-۱۸). همان‌طور که گفته شد واحد آهن‌سازی در صنایع فولاد یکی از واحدهای دارای

<sup>2</sup> Check list

<sup>1</sup> Local Exhaust Ventilation (LEV)

به روش غیر مستقیم: از آنجاکه اندازه‌گیری فشارها آسانتر و سریعتر از اندازه‌گیری مستقیم سرعت می‌باشد و تغییرات در فشارها با تغییرات در میزان جریان حجمی هوا و تغییرات در مقاومت در برابر جریان مرتبط هستند، لذا برای رفع مشکلات بالقوه، اندازه‌گیری‌های فشار می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای اندازه‌گیری مشخصه‌های عملیاتی سیستم باشند. از آنجاکه بدلیل تغییرات تراکم هوای متحرک جریان در کانال (در اثر تغییرات در کانال) ممکن است جریان یکنواخت نباشد و نتایج متفاوتی را در اندازه‌گیری‌های سرعت و میزان جریان حجمی هوای حجمی در یک صفحه به وجود آورد، لذا اندازه‌گیری فشار سرعت به روش شبکه‌ای ویلسون براساس توصیه‌های روش BS ۳۴۰۵ در نقاط توصیه شده ۱۰ نقطه و به مدت حداقل ۱۰ ثانیه در فضاهای مساوی در سرتاسر هر قطر انجام شد و نتایج آزمایش روی برگه ثبت حرکت پیمایشی در کانال گرد ثبت گردید. در نهایت تعیین سرعت کانال به روش غیر مستقیم با استفاده از لوله پیتوت به همراه مانومتر فشار و محاسبه فشار سرعت، در ادامه با استفاده از فشار سرعت طبق رابطه زیر در هر نقطه محاسبه گردید:

$$V = 174 \sqrt{P_v \frac{(t+460)}{K \times d}}$$

بدلیل اینکه غلظت گردوغبار در کانال بالا بود، اجزای مختلف لوله پیتوت شامل سوراخ‌های مربوط به SP و TP روی لوله پیتوت، (ناف‌های فشار)<sup>۴</sup>، پس از هر بار استفاده با گرفتن هوای فشرده در داخل آن‌ها مجدداً تمیز می‌شدند. به عبارتی پس از اطمینان در خصوص تمیز و سالم بودن مورد استفاده قرار گرفتند. از آنجایی که ابزار مناسبی جهت اندازه‌گیری نرخ میزان جریان حجمی (Q) به طور مستقیم وجود ندارد لذا می‌تواند از متوسط سرعت (به‌دست آمده از تک‌تک اندازه‌گیری‌های) حاصل از روش حرکت پیمایشی متقاطع ضرب در سطح مقطع عبوری جریان ( $Q = V \times A$ ) محاسبه شود.

دستگاه اندازه‌گیری مشخصه‌های تهویه از نوع multi-function KIMO AMI۳۰۰ استفاده شد و در راستای ارزیابی مشخصه‌های عملیاتی پالایشگر، تعیین نسبت مایع به گاز (l/g)، فشار سرعت و سرعت گلویی، افت فشار پالایشگر، میزان جریان حجمی هوای عبوری آن صورت گرفت که برای تعیین نسبت l/g در پالایشگر، از جریان سنج جریان آب مصرفی نصب شده بر روی پالایشگر استفاده گردید و ابعاد دهانه اسکرابر ونچوری در زمان تعمیرات آن اندازه‌گیری و ثبت شد. مقدار افت فشار ناشی از پالایشگر با تفاضل فشار استاتیک اندازه‌گیری شده قبل و بعد از پالایشگر (فشارسنج نصب شده بر دیواره قبل از فن) تعیین گردید.

وقتی نیاز به بررسی کارایی جمع‌آوری پالایشگر سیستم تهویه یا توانایی سیستم در کنترل ذرات در اثر تغییر خصوصیات فیزیکی ذره مثل اندازه ذره می‌باشد، نمونه‌برداری از دودکش به عنوان هدف اولیه بوده و تعیین توزیع اندازه ذرات درون دودکش و کانال بعنوان هدف ثانویه می‌باشد. این در حالی است که در قوانین کنترل انتشار آلاینده اندازه‌گیری و توزیع اندازه ذرات الزامی است، لذا در بخش سوم این مطالعه بررسی کارایی پالایشگر با استفاده از روش ایزوکینتیک و روش BS۳۴۰۵ و به‌صورت خارج کانالی صورت گرفت (۲۶-۲۵). نظر به اینکه بر روی این سیستم از زمان نصب و راه‌اندازی هیچ‌گونه پایشی درخصوص کارایی مشخصه‌های عملکردی صورت نگرفته بود، لذا اندازه‌گیری و پایش مشخصه‌ها در سه بخش لحاظ می‌شود که شامل: الف- تعیین قطر و طول کانال‌ها از طریق پلان و نقشه‌های ساخت سیستم و اندازه‌گیری ابعاد وضعیت موجود کانال‌ها در محل محیط کار<sup>۳</sup> با متر. ب- اندازه‌گیری و محاسبه سطح مقطع کانال‌ها در وضعیت موجود: قابل ذکر است برای افزایش دقت، کانال‌ها به لحاظ گرفتگی بررسی شدند و در صورت داشتن گرفتگی، قطر کانال‌ها با وارد کردن لوله پیتوت در کانال‌ها اندازه قطر تعیین گردید. ج- تعیین سرعت کانال

<sup>4</sup> Pressure Umbilicals

<sup>3</sup> field

Cascade Centripeter جدول ۱ جزئیات ابعاد دهانه‌ها و اوریفیس‌های

مرحله	قطر اوریفیس	مساحت	سرعت هوا در اوریفیس	قطر نازل	توزیع سایز در مراحل ایمپکتور	نوع و تعداد فیلتر
اول	۰/۴	۰/۸۱۲	۶۱۵	۰/۲	< ۱۵ میکرون	1 GF/A(21mm)
دوم	۰/۲	۰/۲۰۳	۲۴۷۰	۰/۱	۴-۱۵ میکرون	1 GF/A or 1millipore AA(21mm)
سوم	۰/۱	۰/۰۵۰۶	۹۸۵۰	۰/۰۵	۱-۴ میکرون	1 GF/A or 1millipore AA(21mm)
چهارم	-	-	-	-	> ۱ میکرون	1 GF/A(60mm) UK در مدل

### اندازه‌گیری فشار استاتیک قبل و بعد از پالایشگر

فشار استاتیک قبل از پالایشگر: برای اینکه اندازه‌گیری فشار استاتیک تحت تاثیر سرعت هوا قرار نگیرد در زاویه عمود بر جهت جریان هوا اندازه‌گیری می‌شود. سوراخ کردن دیواره کانال، با اتصال یک سر شلنگ به مسیر بیرونی لوله پیتوت استاتیک (خروجی جانبی لوله پیتوت) و سر دیگر شلنگ به مانومتر و قرار دادن لوله پیتوت (با سطح مقطع کمتر از ۰/۰۵ سطح مقطع کانال) در مرکز کانال، اندازه‌گیری‌های فشار استاتیک انجام شد برای تعیین مقدار دقیق فشار سرعت و فشار استاتیک) تا حد امکان سعی شد پروب پیتوت به‌طور صحیحی با جریان هوا در یک خط قرار گیرند. سپس افت فشار از یک طرف به طرف دیگر پالایشگر تعیین و با داده‌های طراح مقایسه گردید. برای اندازه‌گیری فشار استاتیک می‌توان از فشار استاتیک وارده بر دیواره کانال نیز استفاده نمود که فشار استاتیک بعد از پالایشگر پس از تمیز کردن فشارسنج نصب شده بر دیواره کانال قبل از فن تعیین گردید (۳۰-۲۷).

### وسایل و تجهیزات نمونه‌برداری

پمپ محیطی با دبی ۳۰ لیتر بر دقیقه و تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل جریان که از طریق لوله‌های پلاستیکی به واسطه نمونه‌برداری و سپس به پمپ متصل می‌گردند، برای جداسازی ذرات از نمونه‌برداری ذرات از نوع برخوردی- آبخاری چهار مرحله‌ای مدل Cascade Centripeter با میزان جریان حجمی

۳۰۱/min که نقطه برش‌های تعریف شده در جدول ۱ را حاصل می‌کند، لوله‌های رابط قابل انعطاف، دهانه نمونه‌برداری ایزوکینتیک استاندارد با قطرهای متفاوت، ترازوی دیجیتالی Shimadzu مدل ۴۰SM Libror Ael - با حساسیت ۰/۰۰۰۰۱g، فیلتر ۲۱mm GF/A-۲۱، ۶۰mm millipore AA-۲۱ میلی‌متری از فیلترهای (برای تهیه فیلترهای با قطر ۲۱ میلی‌متری از فیلترهای ۲۵ میلی‌متری استفاده گردید و قطر آن‌ها از طریق سمبه تا قطر مطلوب ۲۱ میلی‌متر کوچک شد)، پیچ گوشتی تنظیم میزان جریان حجمی پمپ، دسبکاتور، گیره، پنس. ایمپکتور آبخاری: دو تکنیک‌های عمده جداسازی، حذف و جمع‌آوری ذرات از جریان هوا، صاف کردن<sup>۵</sup> و برخورد می‌باشد و از آنجا که این مطالعه نیازمند انجام یک آنالیز اندازه روی مواد جمع‌آوری شده است، از ایمپکتور آبخاری استفاده شد. اساس کار ایمپکتور آبخاری، پدیده برخورد به سطح جامد بوده و بوسیله جرم ذرات، مشخصات سطح جمع‌آوری و سرعت جریان هوا تعیین می‌شود، که با تعیین غلظت جرمی ذرات در هر اندازه‌ای (دامنه جمع‌آوری اندازه بسته به دانسیته، شکل ذرات و قطر آیرودینامیکی است) که برای تعیین تراکم ذرات و همچنین تعیین اندازه ذرات طراحی شده است (۳۱،۲۵،۱).

از آنجا که نمونه‌برداری قابل اطمینان دودکش نیازمند یک سیستم کاملاً پیچیده از لوازم بوده و جمع‌آوری کسر قابل اعتمادی از ذرات، با توجه به دامنه گسترده شرایط

<sup>5</sup> filtration



انتخاب گردیدند. پشت صافی‌ها شماره‌گذاری صورت گرفت. به‌منظور ثبات وزن اولیه فیلترها قبل از نمونه‌برداری به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتور قرار داده شدند و سپس ثبت وزن اولیه صورت گرفت. توالی واسطه نمونه‌برداری<sup>۷</sup> با توجه به شماره‌گذاری صورت گرفته پشت صافی‌ها آماده شد. اجزای توالی نمونه‌برداری، شامل پروب‌ها و واسطه نمونه‌برداری در یک شرایط تمیز بر مبنای شرایط آزمایشگاهی سر هم و آزمایش شده و پس از بازرسی چشمی اجزای توالی برای اطمینان از عدم وجود هرگونه فرسودگی، پارگی یا سائیدگی یا بخش‌های صدمه دیده آزمایش کامل نشستی صورت گرفت. سپس میزان جریان حجمی توالی توسط گاز متر خشک کالیبره گردید. کیف‌ها و ظروف آبنده مناسب برای حمل واسطه نمونه‌برداری از آزمایشگاه به محل نمونه‌برداری و بالعکس در نظر گرفته شد. شرایط فرایند و زمان توقف تجهیزات فرایندی، بررسی شدند. موافقت و هماهنگی لازم با سرپرست فرایند در مورد نرخ تولیدی که کارخانه و فرایند در روند عملیاتی موظف به رعایت آن بودند صورت گرفت. با تضمین سرپرست فرایند نسبت به آگاهی کارکنان عملیاتی از الزامات و نیازمندی‌های عمل نمونه‌برداری مطابق با سطح تولیدی موافقت شده جهت حفظ پایایی<sup>۸</sup> شرایط نمونه‌برداری، با افراد هماهنگی لازم صورت گرفت تا در صورت بروز هرگونه تغییر یا توقف با گروه نمونه‌بردار تماس برقرار کنند(۲۶). در این مرحله بر اساس روش BS ۳۴۰۵ محل نمونه‌برداری (و سرعت) قبل از پالایشگر و فن در فاصله  $d=90/6cm$  پایین دست زانویی ۴۵ درجه یکی مانده به آخر و  $2d$  بالادست زانویی آخر، در دو قطر و در دو محل انجام شد (۴ نمونه). برای نمونه‌برداری از دودکش نیز  $d=125cm$  پایین دست فن در دو قطر و در دو محل انجام شد. در خروجی سیستم (دودکش) جریان سیکلونی چک شد و نتایج نشان داد که جریان سیکلونی وجود ندارد، سپس تعداد نقاط اندازه‌گیری

گاز و جریان که در عمل با آن مواجه هستیم، نیاز اصلی ارزیابی سیستم می‌باشد. لذا از توالی نمونه‌برداری در فرایند تعیین کارایی پالایشگر استفاده می‌گردید که خود شامل دهانه ورودی نمونه‌بردار استاندارد دارای لبه‌های تیز و در اندازه‌های مختلف بوده که بر روی پروب<sup>۶</sup> نمونه‌برداری که بایستی بالادست هر جزئی که می‌تواند در جریان کانال اختلال ایجاد کند قرار داده می‌شود، پروب شبیه لوله پیتوتی است که بعد از آن ایمپکتور آشاری بعنوان واسطه قرار می‌گیرد، از آنجاکه امکان زدن سوراخ‌های بزرگ بر روی کانال سیستم تهویه میسر نیست، از نمونه‌برداری ایزوکینتیک به‌صورت نمونه‌برداری خارج دودکشی (با رعایت عدم تغییرات دما و قرار دادن واسطه نمونه‌برداری در نزدیکترین نقطه به دهانه ورودی نمونه‌بردار) استفاده می‌گردد(۲۵). مزیت اصلی استفاده از این پروب و روش، سادگی قرار گرفتن آن می‌باشد و عیب آن این است که قبل از اینکه نمونه‌برداری شروع شود باید حرکت پیمایشی برای اندازه‌گیری سرعت انجام شود و متعاقباً باید فرض شود که شرایط جریان ثابت باقی می‌ماند(۲۵، ۳۱). قابل ذکر است که پروب به‌منظور قرار گرفتن جهت ورودی دهانه نمونه‌برداری در مقابل مسیر مستقیم عبور جریان هوا در کانال، باید همانند لوله پیتوت مجهز به یک نشانگر جهت باشد و واسطه نمونه‌برداری (ایمپکتور آشاری) که خود باید کمترین مقدار فاصله را با پروب نمونه‌برداری داشته باشد باید بدون هیچ‌گونه نشستی و انسدادی باشد. در این پژوهش با توجه به عدم موافقت شرکت در ایجاد سوراخ‌های بزرگ روی کانال، نمونه‌برداری و کارایی پالایشگر در حذف آلاینده‌ها با انجام نمونه‌برداری ایزوکینتیک به کمک ایمپکتور آشاری در قبل و بعد از افزایش دقت در هر نقطه این عمل سه مرتبه تکرار شد. پس از اطمینان از کیفیت سیلیکاژل داخل دسیکاتور، بر اساس دستور العمل شرکت سازنده ایمپکتور آشاری، فیلترهایی که در (جدول ۱) به آن‌ها اشاره شده است

<sup>7</sup> Media Sampling

<sup>8</sup> Steady

<sup>6</sup> Probe Tube

$$Q = 60 \times V \times \frac{\pi \times d^2}{4 \times 144}$$

V= سرعت کانال یا دودکش برحسب فوت بر ثانیه

d= قطر داخلی پروب نمونه برداری برحسب اینچ

در ادامه با استفاده از کولیس و مته در اندازه مختلف، قطر دهانه ورودی نمونه بردارها و پروب های نمونه برداری انتخاب و تعیین شد. با انتخاب پروب و نصب کامل توالی نمونه برداری پمپ را روشن و روی میزان جریان حجمی مورد نظر تنظیم نموده سپس نمونه برداری به صورت ایزوکینتیک و خارج کانالی با ثبت جزئیات شرایط نمونه برداری و در نظر گرفتن روش استاندارد BS ۳۴۰۵ در مسیر سیستم تهویه قبل و بعد از پالایشگر با واسطه نمونه بردار برخوردی چهار مرحله ای در ۴ نقطه به صورت تجمعی انجام گرفت. قابل ذکر است برای هر سری نمونه برداری نمونه شاهد<sup>۹</sup> که از قبل آماده سازی شده بود استفاده گردید. پس از قرار دادن در پوش بر ورودی و خروجی ایمپکتور آبشاری، اقدامات لازم در خصوص حمل نمونه و ثابت کردن محل آن ها برای حمل صورت گرفت. سپس در راستای آنالیز و جهت تثبیت وزن، همه نمونه های جمع آوری شده قبل از وزن سنجی مجدد، با قرارگیری در شرایط دمایی و رطوبت قبل از نمونه برداری (دسیکاتور) شرایط سازی شدند. قبل از ثبت نتایج در گزارش عملی برای بالابردن دقت مجدداً آنالیز تکرار شد و معادلات مورد استفاده به لحاظ سازگاری با یکدیگر از نظر یکا بررسی شدند و در خاتمه محاسبات نتایج عمل نمونه برداری دقیق و کامل انجام شد (۲۶).

### نتایج نتایج بازرسی سخت افزاری اسکرابر

اسکرابر ونچوری مورد بررسی، فاقد هرگونه نشانگر بوده و متناسب با نوع فرایند انتخاب شده می باشد در بازرسی چشمی پالایشگر مشخص شد که سطح خارجی (دور تا دور گلوبی اسکرابر ونچوری) دارای ساییدگی و خوردگی می باشد و سطح داخلی بدنه اسکرابر در اثر سرعت بالای جریان در گلوبی، سایش و تماس با آب



شکل ۱. خوردگی و ساییدگی سطح خارجی دور تا دور گلوبی ونچوری، عدم بسته بودن همه پیچ های درپچه های دسترسی روی بدنه اسکرابر ونچوری و درزندهای دارای نشی محل افشانک ها.



شکل ۲. افشانک های تغییر شکل یافته ناکارا که آب را بر گلوبی اسپری نمی کنند.

سرعت در کانال قبل از پالایشگر ۱۰ نقطه و در دودکش ۱۶ نقطه تعیین گردید (۲۸، ۱). در ادامه اطلاعات حاصل از اندازه گیری سرعت ثبت گردید. مقادیر سرعت که از قبل در محل های مورد نظر اندازه گیری شده بود بعنوان سرعت در پروب نمونه برداری ایزوکینتیک در نظر گرفته شدند. با توجه به در نظر گرفتن میزان جریان حجمی لازم توصیه شده در ایمپکتور آبشاری برای توزیع اندازه بعنوان میزان جریان حجمی در پروب ایزوکینتیک و سرعت اندازه گیری شده در کانال و دودکش، برای انتخاب سطح مقطع و قطر دهانه ورودی نمونه بردار نمونه برداری ایزوکینتیک از رابطه زیر استفاده گردید.

<sup>9</sup> Blanks

جدول ۲. نتایج بررسی مشخصه‌های عملکردی پالایشگر (اطلاعات اسکرابر ونچوری)

مشخصه	پاسخ	مشخصه	پاسخ	مشخصه	پاسخ
شماره تجهیز	SR-MF41	کشور سازنده	ژاپن	مشخصه	HV-125 ES
نوع گرد و غبار	گردوغبار اکساید	فشار آب تامینی(حداقل)	$2\text{kg/cm}^2.G$	جرم گردوغبار	$25.6\text{g/m}^3$

جدول ۳. مقایسه مشخصه‌های طراحی و موجود پالایشگر

مشخصه	طراحی	موجود	مشخصه	طراحی	موجود
ظرفیت(دبی)	$65300\text{ m}^3/\text{h}$	$55180\text{ m}^3/\text{h}$	دمای گاز	$39^\circ\text{C}$	$30^\circ\text{C}$
فشار استاتیک ورودی ونچوری	( $38400\text{ cfm}$ )	( $32460\text{ cfm}$ )	ابعاد گلولی ونچوری	$1000 \times 300$	$930 \times 230$
فشار استاتیک خروجی ونچوری	-	$363\text{ mm H}_2\text{O}$	جرم گردوغبار قبل از پالایشگر	$25.6\text{g/m}^3$	$6.86\text{g/m}^3$
افت فشار کل ناشی از ونچوری	$400\text{ mm H}_2\text{O}$	$800\text{ mm H}_2\text{O}$	جرم گردوغبار جمع‌آوری شده	$1670\text{ kg/h}$	$285\text{ kg/h}$
سرعت هوا در گلولی ونچوری	$11890\text{ fpm}$	$14050\text{ fpm}$	مقدار آب تامینی (طراحی)	$70\text{ m}^3/\text{h}$	$62\text{ m}^3/\text{h}$
نسبت مایع به گاز	$1.071/\text{m}^3$	$1.121/\text{m}^3$	قطر معادل گلولی ونچوری	$574\text{ mm}$	$493\text{ mm}$
	( $667\text{ gal}/1000\text{ ft}^3$ )	( $7\text{ gal}/1000\text{ ft}^3$ )			

ماهی یکبار انجام می‌شوند. آلاینده خروجی از دودکش و پالایشگر توسط واحد محیط‌زیست مجتمع سالیانه بررسی می‌گردد ولی دیگر عوامل اعم از افت فشار پالایشگر، میزان جریان حجمی عبوری، تغییرات کمی یا اضافه بار آلاینده و کارایی سیستم مورد بررسی قرار نمی‌گیرند. یاتاقان‌های پمپ آب این وسیله یا تجهیزات نیز مطابق یاتاقان‌های فن دارای برنامه تعمیر و نگهداری و فاقد مشکل فنی مناسبی بودند. پسماند حوضچه اولیه پس‌اب اسکرابر ونچوری به‌طور هفتگی تخلیه می‌شود که الزامات ایمنی و بهداشت مناسبی برای کارکنان این کار اعمال نمی‌شود. از مطالب عنوان شده چنین بر می‌آید که وضعیت کلی اسکرابر ونچوری مناسب نمی‌باشد و نیاز به برنامه مناسب برای تعمیرات نگهداری دارد.

### نتایج ارزیابی اطلاعات و مشخصه‌های عملیاتی اسکرابر ونچوری

اطلاعات اسکرابر ونچوری جدول (۲) و مقایسه مشخصه‌های طراحی و موجود پالایشگر جدول (۳) آورده شده است.

دچار ساییدگی و خوردگی شده و وصله‌های زده شده بر سطح داخلی گویای این است که آسیب تا به سطح بیرونی نیز ادامه یافته است. بعلاوه عدم بسته بودن همه پیچ‌های دریچه‌های دسترسی روی بدنه اسکرابر ونچوری و محل افشانه‌های آب، درزبندهای<sup>۱۰</sup> این اجزا دارای نشتی بودند شکل ۱. در بازدیدی که به همراه گروه تعمیرات از داخل اسکرابر ونچوری و گلولی آن بعمل آمد، مشاهده شد حداقل به ضخامت ۳ cm بر چهار طرف دیواره اسکرابر ونچوری مواد فرایندی نشسته است که به گفته واحد تعمیرات هر ۳-۴ ماه یکبار تمیزکاری می‌گردد. میزان جریان حجمی آب تامینی برای پالایشگر توسط فلومتر که برای این کار تعبیه شده بررسی می‌شود. افشانک‌های پاشنده آب در گلولی تغییر شکل یافته‌اند و آب را بر گلولی اسپری نمی‌کنند شکل ۲.

از آنجاکه آب تامینی به‌طور درست تصفیه نمی‌شود، (به خاطر لجن بالای آب تامینی حتی گرفتگی افشانک‌های تغییر شکل یافته نیز به‌طور مداوم یا مکرر اتفاق می‌افتد) و عمل رفع گرفتگی افشانک‌ها به‌طور متوسط سه

<sup>10</sup> gaskets

جدول ۴ نتایج اندازه‌گیری غلظت آلاینده عبوری داخل کانال قبل و بعد از پالایشگر (دودکش)

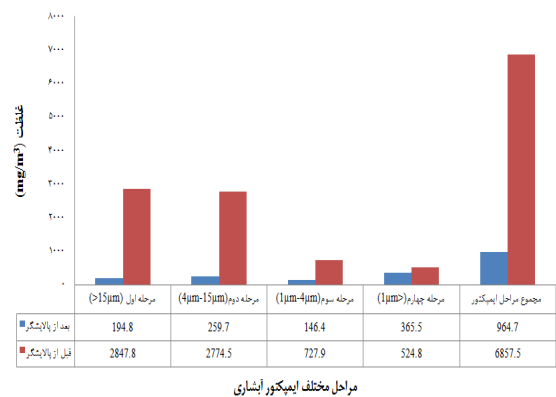
مراحل ایمپکتور آبخاری		قبل از پالایشگر		بعد از پالایشگر			
حداکثر - حداقل (mg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار ± متوسط (mg/m <sup>3</sup> )	حداکثر - حداقل (mg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار ± متوسط (mg/m <sup>3</sup> )	حداکثر - حداقل (mg/m <sup>3</sup> )	انحراف معیار ± متوسط (mg/m <sup>3</sup> )		
مرحله اول ایمپکتور (<15µm)	۱۹۲۸٫۶-۳۷۱۶٫۳	۲۸۴۷٫۸±۸۹۲٫۵	۱۹۴٫۸±۹۴٫۹	مرحله دوم ایمپکتور (4µm-15µm)	۱۹۸۶٫۵-۳۵۰۱٫۶	۲۷۷۴٫۵±۷۶۴٫۷	۲۵۹٫۷±۱۲۵٫۶
مرحله سوم ایمپکتور (1µm-4µm)	۴۶۷٫۳-۹۳۵٫۴	۷۲۷٫۹±۲۳۷٫۵	۱۴۶٫۴±۸۷٫۴	مرحله چهارم ایمپکتور (<1µm)	۱۸۹٫۶-۸۲۷٫۸	۵۲۴٫۸±۳۲۱٫۲	۳۶۵٫۵±۱۵۳٫۴
مجموع مراحل ایمپکتور	۴۶۷۸٫۸-۸۹۶۹٫۶	۶۸۵۷٫۵±۲۱۴۱٫۷	۹۶۴٫۷±۳۰۵٫۳				

مقادیر  $2847.8 \text{ mg/m}^3$  و  $194.8 \text{ mg/m}^3$  به خود اختصاص می‌دهند. بیشترین کارایی حذف برای ذرات با اندازه  $<15 \mu\text{m}$  و مقدار  $93.2\%$  می‌باشد و کمترین مقدار کارایی را ذرات با اندازه  $>15 \mu\text{m}$  و با مقدار  $30.4\%$  به خود اختصاص می‌دهند. قابل ذکر است که در کل پالایشگر کارایی در حدود  $85.93\%$  را تامین می‌کند. مقادیر کارایی حذف اندازه‌های مختلف آلاینده توسط پالایشگر در نمودار ۲ آورده شده است.

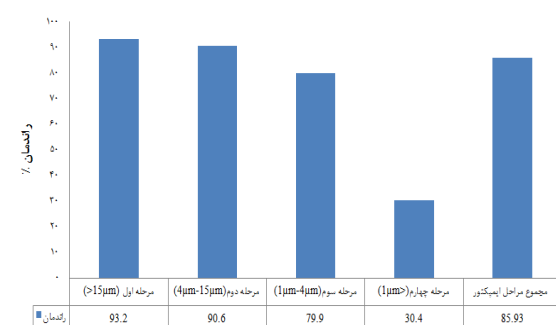
نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد میانگین غلظت گردوغبار در قبل از اسکرابر و نچجوری  $6857.5 \text{ mg/m}^3$  می‌باشد که بررسی توزیع اندازه توسط ایمپکتور نشان می‌دهد  $524.8\%$  آنرا ذرات با اندازه  $<1 \mu\text{m}$  میکرون ( $524.8 \text{ mg/m}^3$ )،  $365.5\%$  ذرات را اندازه  $1-4 \mu\text{m}$  میکرون ( $365.5 \text{ mg/m}^3$ )،  $146.4\%$  ذرات بین  $4-15 \mu\text{m}$  میکرون ( $146.4 \text{ mg/m}^3$ ) و  $194.8\%$  ذرات  $>15 \mu\text{m}$  میکرون ( $194.8 \text{ mg/m}^3$ ) تشکیل می‌دهند.

نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد میانگین غلظت گردوغبار در بعد از اسکرابر و نچجوری  $2847.8 \text{ mg/m}^3$  می‌باشد که بررسی توزیع اندازه توسط ایمپکتور نشان می‌دهد  $727.9\%$  آنرا ذرات با اندازه  $<1 \mu\text{m}$  میکرون ( $727.9 \text{ mg/m}^3$ )،  $467.3\%$  ذرات بین  $1-4 \mu\text{m}$  میکرون ( $467.3 \text{ mg/m}^3$ )،  $259.7\%$  ذرات  $4-15 \mu\text{m}$  میکرون ( $259.7 \text{ mg/m}^3$ ) و  $194.8\%$  ذرات  $>15 \mu\text{m}$  میکرون ( $194.8 \text{ mg/m}^3$ ) تشکیل می‌دهند. نتایج آزمون آماری t-test تفاوت معنی‌داری را بین غلظت آلاینده در اندازه‌های مختلف قبل و بعد از اسکرابر و نچجوری نشان می‌دهد.

نتایج غلظت آلاینده عبوری داخل کانال قبل از پالایشگر و داخل دودکش (بعد از پالایشگر) در جدول (۴) و مقایسه غلظت گردوغبار در قبل و بعد از پالایشگر در نمودار ۱ آورده شده است. بیشترین غلظت به ترتیب در قبل و بعد از پالایشگر را ذرات  $<15 \mu\text{m}$  و  $<1 \mu\text{m}$  با



نمودار ۱. مقایسه میانگین غلظت گردوغبار قبل و بعد از پالایشگر در بخش‌های مختلف نمونه‌بردار برخوری چهار مرحله‌ای



نمودار ۲. کارایی حذف سایزهای مختلف آلاینده توسط پالایشگر

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد میزان جریان حجمی، ابعاد گلوبی، مقدار آب تامینی، جرم گردوغبار قبل از پالایشگر و جرم گردوغبار جمع‌آوری شده در زمان طراحی نسبت به وضعیت موجود کاهش داشته و مقدار افت فشار به‌واسطه اسکرابر و نچوری، نسبت مایع به گاز و سرعت گلوبی در وضعیت طراحی نسبت به موجود افزایش داشته است.

برای کاهش میزان جریان حجمی می‌توان به دلایلی همچون تغییر دمای سیال عبوری، سایش پره‌های فن، نشستن گردوغبار بر روی پره‌های فن، عدم ساخت دقیق پره‌های فن مطابق با طرح اصلی فن را ذکر نمود. دلیل کاهش ابعاد دهانه گلوبی نشستن و رسوب آلاینده در گلوبی اسکرابر و نچوری می‌باشد. از آنجاکه در کانال کشی سیستم تهویه مذکور، نقاط دارای ساییدگی و نشستی زیاد دیده می‌شد، لذا بجای اینکه هوای حاوی آلاینده از منابع منتشر کننده آلاینده جمع‌آوری گردد، از محل‌های دارای نشستی و فاقد آلاینده (یعنی هوای تمیز) به سیستم تهویه مذکور وارد می‌گردد، بنابراین غلظت آلاینده حتی با در نظر گرفتن کاهش میزان جریان حجمی، همچنان در قبل از اسکرابر و نچوری کاهش یافته است. با توجه به کم شدن ابعاد دهانه اسکرابر و نچوری، متعاقباً سرعت گلوبی افزایش می‌یابد و از آنجاکه افت ناشی از اسکرابر و نچوری وابسته به ابعاد دهانه و سرعت در گلوبی می‌باشد، این مشخصه نیز افزایش یافته است. برای افزایش راندامان اسکرابر و نچوری باید آب تامینی و تزریقی در گلوبی اسکرابر و نچوری توسط افشانک‌ها تمیز و خود فاقد کثیفی باشد، از آنجاکه آب تامینی برای این پالایشگر به‌طور کامل تصفیه و تمیز نمی‌شود، این مسئله خود منجر به گرفتگی افشانک‌های اسکرابر و نچوری و افزایش مقاومت در آن‌ها می‌شود، بنابراین نازل‌های گلوبی اسکرابر و نچوری را باز کرده‌اند که این مسئله خود باعث کاهش افت فشار و افزایش میزان جریان حجمی آب تامینی می‌گردد.

در مطالعه‌ای آزمایشگاهی که چون‌جین تاسی و همکارانش انجام دادند؛ نرخ کل جریان عبوری از طریق اسکرابر و نچوری در  $180 \text{ l/min}$  با استفاده از یک

اوریفیس متر ثابت شده بود و سرعت گلوبی  $38.22 \text{ m/s}$  محاسبه شد. نسبت جریان به نرخ میزان جریان جرمی هوای خشک یا (نسبت آمیختن)  $0.09$  و نسبت مایع به گاز به ترتیب  $1.17 \text{ l/m}^3$ ،  $1/5$  و  $1/8$  بود. به‌طوری که مایع اسکرابر به‌طور مماسی در گلوبی اسکرابر و نچوری تزریق شده و میزان میزان جریان حجمی با روتامتر کنترل می‌شد. گاز آلاینده خروجی در محفظه واکنش  $c$  ( $20 \pm 250$ ) اندازه‌گیری شد. وقتی ذرات  $SiO_2$  اندازه‌شان بیشتر از  $0.1$  میکرون بود کارایی حذف، با افت فشار ( $15.4 \pm 2.4$ ) سانتی‌متر آب، با نسبت مایع به گاز  $1.51 \text{ l/m}^3$ ،  $90\% - 80\%$  بود. در ادامه تاثیر افت فشار، نسبت مایع به گاز و مقدار گاز  $SiH_4$  روی حذف ذرات ریز در آن مطالعه بررسی شد و نتایج آزمایش حداکثر کارایی حذف ذرات را برای ذرات با اندازه  $487$  نانومتر نشان دادند که بیش از اسکرابرهای قدیمی و سستی بود. کارایی آن برای حالتی با  $1\% SiH_4$ ، نسبت مایع به گاز  $1$  لیتر بر دقیقه و میزان جریان حجمی عبوری  $1/17$  لیتر بر متر مکعب  $96\%$  بود ( $32$ ). نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که کارایی کلی اسکرابر و نچوری  $85\%$  می‌باشد، ولی مصرف انرژی در سیستم مورد مطالعه با افت  $44$  سانتیمتر آب (نزدیک به سه برابر مطالعه فوق) می‌باشد، سرعت گلوبی در اسکرابر مورد مطالعه  $71/4 \text{ m/s}$  (نزدیک به دو برابر سرعت گلوبی اسکرابر و نچوری مطالعه فوق)، میزان جریان حجمی به ترتیب با مقادیر  $1200 \text{ l/min}$  و  $1033$  برای طراحی و وضعیت موجود (بیش از  $5/7$  برابر برای وضعیت موجود در مقایسه با مطالعه فوق) و نسبت مایع به گاز  $1.12 \text{ l/m}^3$ ، لذا می‌توان عنوان کرد که با توجه به این مشخصه‌ها اسکرابر و نچوری بکار رفته در واحد سرنده اکساید<sup>۱۱</sup> نسبت به اسکرابر و نچوری مطالعه فوق کارایی لازم را ندارد. شاید یکی از دلایل تفاوت نتایج مطالعه چون‌جین تاسی با مطالعه حاضر را بتوان، بعلا مقایسه یک اسکرابر آزمایشگاهی (تحت کنترل بودن مشخصه‌های مؤثر در کارایی اسکرابر در آزمایشگاه) و یک اسکرابر در محیط کار به کار رفته با

<sup>11</sup> Screen oxide

طول عمر ۲۰ ساله عنوان کرد.

در مطالعه‌ای که مارتین کوستا و همکارانش در بررسی عملکرد یک اسکرابر ونچوری در سال ۲۰۰۳ برای حذف ذرات معدنی ریز از جریان هوای محدود انجام دادند مشخص شد که سرعت گلویی اسکرابر ونچوری از ۵۸ تا ۷۵ متر در ثانیه تغییرات دارد و نرخ مایع آن از ۲۸۰ تا ۹۰۰ میلی لیتر در دقیقه متغیر بود و مایع با یک جت تخلیه کننده از اوریفیس ۱ میلی متری در گلویی تزریق می شد و کارایی جمع آوری گردوغبار برای ذرات ۰/۱ تا ۲ میکرون از ۸۷ تا ۹۸٪ متغیر بود (۳۳). مشخصه سرعت گلویی اسکرابر ونچوری مطالعه فوق با کمی اغماض با مطالعه حاضر مطابقت دارد و نرخ مایع مطالعه حاضر  $1033 \text{ l/min}$  می باشد و این درحالی است که کارایی آن برای ذرات بین ۲-۱۰ میکرون ۸۷٪ گزارش شده در حالی که اسکرابر ونچوری مورد مطالعه در اندازه ذرات زیر ۴ میکرون کارایی ۵۵٪ دارد. یکی از مشخصه‌های مؤثر بر کنترل اندازه‌های مختلف ذرات در اسکرابر ونچوری، اندازه قطرات مایع تزریقی در گلویی اسکرابر ونچوری می باشد و این در حالی است که در اسکرابر مورد ارزیابی در مطالعه حاضر افشانک‌های تزریق کننده مایع در گلویی برداشته شده و آب مایع به صورت معمولی تزریق می شود.

در مطالعه علی آبادی و همکاران که در سال ۱۳۸۹ جهت پایش گردوغبار در داخل سیستم تهویه موضعی قبل و بعد از وسایل غبارگیر روی اسکرابر مه پاش انجام شد، نمونه‌های گردوغبار به روش ایزوکینتیک جمع آوری و مقدار آن‌ها به روش وزن سنجی تجزیه شد و جهت پایش کارایی اسکرابر بر اساس اندازه ذرات، قبل و بعد از اسکرابر با استفاده از ایمپکتور آبخاری نمونه برداری انجام شد. غلظت گردوغبار کل قبل از اسکرابر از متوسط  $258 \text{ mg/m}^3$  به  $91 \text{ mg/m}^3$  بعد از اسکرابر کاهش یافته بود (کارایی نزدیک به ۶۵٪). 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 (۳۴). نتیجه مطالعه حاضر نشان می دهد که کارایی کلی اسکرابر ۸۵٪ می باشد که در

ظاهر کارایی سیستم مورد مطالعه حاضر بیشتر از مطالعه علی آبادی می باشد، ولی باید در نظر داشت که اسکرابر سرند اکساید برای غلظت  $25/6 \text{ g/m}^3$  طراحی شده در حالی که غلظت آلاینده ورودی به آن  $6/86 \text{ g/m}^3$  می باشد و در اصل غلظت آلاینده ورودی به آن ۷۳٪ کاهش یافته است و بر اساس مطالعه‌ای که هاریس در سال ۱۹۶۵ انجام داد، اظهار داشت که علیرغم اینکه در جایی به صورت نظری در محاسبات وارد نشده ولی برای جریان سیال با بار آلاینده بیشتر، اسکرابری با انرژی بیشتری نیاز است، مسلماً کارایی اسکرابر ونچوری مورد مطالعه ما نیز با افزایش بار غلظت آلاینده به کمتر از مقدار حاضر کاهش خواهد یافت (۳۵).

در بررسی که گورا و همکاران در بررسی آزمایشی روی اثر مایع تزریقی با اوریفیس‌های چندگانه در تشکیل قطرات در اسکرابر ونچوری انجام دادند نتایج نشان داد که افزایش در نرخ جریان مایع برهم کنش بیشتری را بین جت‌ها ایجاد می کند. تعداد اوریفیس‌ها یک تاثیر چشمگیری روی اندازه ذرات دارد و در کل افزایش سرعت مایع جت و گاز در فرآیند اتمیزه کردن برای کاهش اندازه ذرات مؤثر می باشد (۲۱). در مطالعه حاضر مشخص گردید که بعلت گرفتگی در افشانک‌های پاشی اسکرابر در اثر غلظت بالای آلاینده سیال ورودی به پالایشگر آن‌ها را از حالت جت خارج کرده اند و به صورت لوله‌هایی معمولی قرار داده اند که این مساله با بررسی فوق تناقض دارد و منجر به کاهش کارایی اسکرابر مورد مطالعه می گردد.

در بررسی که سمرالو در سال ۱۹۶۰ با عنوان ارتباط کارایی اسکرابر گردوغبار انجام داد نتیجه گیری کرد که کارایی با شکل هندسی و طراحی اسکرابر ارتباط کمی دارد اما به مشخصات آبروسول همچون اندازه ذرات و توزیع اندازه ذرات بستگی دارد (۳۶). نتایج مطالعه حاضر نیز یافته‌های مطالعه فوق را تصدیق می کند و مشخص شد اسکرابر برای ذرات با اندازه بزرگتر کارایی بالاتری دارد. در بررسی که قربانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ با عنوان کاربرد سیستم تهویه مکنده موضعی و پالایشگرهای ترکیبی برای کنترل آلاینده‌های هوا در



نقشه‌های طراحی، ساخته و تامین کردند. ضمناً برنامه مناسب برای تعمیرات نگهداری پالایشگر در نظر گرفته شود.

### تقدیر و تشکر

از کلیه مدیران، پرسنل و دوستانی که جهت اجرای این پژوهش همکاری لازم را با ما داشتند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

### منابع

1. Boubel RW, Vallero D, Fox DL, Turner B, Stern AC. Fundamentals of air pollution. NY: Elsevier; 2013 Oct 22.
2. Jafari FP, Jafari H, Nabi Bg. Comparison of venturi scrubber and electrostatic precipitator dust collectors in steel plant. J Environ Study. 2012; 37(60):45-52.
3. Ghorbani S, Ghasedi A, Ghasedi A, Fallah F. Study of the harmful effects air pollution from of workplace and environmental together from of the steel industry. Proceeding of the 12th National Conference of Environmental Health; 2009; Shahid Beheshti University Of Medical Sciences and Health, Tehran, Iran (Persian).
4. Tourang H, Amirshaghghi H, Esmaili M, Roshan A. Numerical investigation of fume extraction systems of electric arc furnaces. Modares Mechanic Eng. 2011; 11(4):41-52.
5. Esmaili MM, Amirshaghghi H. A Practical Approach to Pollution Reduction in Isfahan Province Steel Making Plants. J Environ Study. 2012 Jan 1; 38(61):19.
6. Pour Moghaddam H, Lashkari Pour GR, Dehghan P. Evaluation of Khorasan Steel Company slag's effects on contamination of underground water resources in Nishabur Plain. 32<sup>nd</sup> National & the 1<sup>st</sup> International Geosciences Congress. 2014; Tehran, Iran (Persian).
7. Steiner BA. Environmental issues facing the iron and steel industry. Iron Steelmaker. 1993; 20-27.
8. Jenkins R. Industry and environment in Latin America. Psychology Press; 2000.

یک صنعت معدنی انجام دادند نتایج نشان داد که که متوسط حذف ذرات توسط ترکیب سیکلون و اسکرابر ونچوری ۹۸٫۷۲٪ می‌باشد (۳۷).

همان‌طور که بحث شد غلظت آلاینده ورودی به اسکرابر بعث نشتی‌هایی که در اجزای مختلف سیستم به‌وجود آمده کاهش یافته و این درحالی است که در همین شرایط غلظت آلاینده منتشره به اتمسفر ۹۸۰ میلی گرم بر متر مکعب و در حدود ۱۰ برابر استانداردهای زیست‌محیطی می‌باشد، قابل ذکر است در ایران برای ذرات کارخانه ذوب آهن، قسمت عملیات غربال، خرد کردن، کلوخه سازی در استاندارد درجه یک میزان متوسط یک ساعته برابر  $100 \text{ mg/m}^3$  بوده و برای استانداردهای درجه دو میزان متوسط یک ساعته، برابر  $250 \text{ mg/m}^3$  می‌باشد، لذا در صورتی که کلیه آلاینده‌های منتشره در نقاط مختلف به سیستم هدایت شود غلظت آلاینده منتشره به اتمسفر از این هم فراتر می‌رود لذا نیاز است که برای سیستم مورد مطالعه نیز از یک پیش تصفیه کننده به همراه اسکرابر ونچوری استفاده گردد.

از نتایج چنین استنباط می‌شود با افزایش قطر ذرات کارایی پالایشگر افزایش می‌یابد ولی به علت تغییراتی که در مشخصه‌های پالایشگر به‌ویژه افشانک‌های آن ایجاد شده است در مقایسه با مقادیر مطرح برای کارایی اسکرابر ونچوری برای حذف ذرات با قطر کمتر از  $1 \mu\text{m}$ ،  $90\% \leq (\eta_{30/4})$ ، این پالایشگر کارایی مناسبی ندارد و این در حالی که مقادیر کارایی به‌دست آمده برای اندازه‌های بزرگ ذرات در اسکرابر مورد مطالعه مناسب به نظر می‌رسد ولی با لحاظ کردن کاهش بار آلاینده ورودی به اسکرابر در اثر مکش هوای تمیز از محل‌های سائیدگی و نشتی در کانال کشی سیستم تهویه قبل از پالایشگر، حتی برای اندازه‌های بزرگ نیز این پالایشگر کارایی لازم را ندارد. از طرفی با توجه به اینکه آب تأمین‌کننده برای پالایشگر دارای بار آلودگی می‌باشد و افشانک‌های پالایشگر به یکسری لوله ساده تبدیل شده‌اند، لذا توصیه می‌شود آب تأمین‌کننده به‌طور کامل تصفیه شده و افشانک‌های تزریق آب بر اساس اسناد و

9. Roudier S, Sancho LD, Remus R, Aguado-Monsonet M. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU: Integrated Pollution Prevention and Control. Institute for Prospective and Technological Studies, Joint Research Centre; 2013 Mar.
10. Environmental impact of the processes. url:<http://www.jernkontoret.se/en/the-steel-industry/production-utilisation-recycling/environmental-impact-of-the-processes/>
11. Nemerow NL. Environmental engineering: environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry. John Wiley & Sons; 2009 Jan 27.
12. A NAFTA Industry Perspective on the Impact of SOEs on the Global Steel Market. OECD Steel Committee. Paris, France. 2012. URL:[www.steelnet.org/new/20120531.pdf](http://www.steelnet.org/new/20120531.pdf)
13. Working Party on Pollution Prevention and Control. ENV/EPOC/PPC(99)10/FINAL Un classified." (1999).
14. Ghorbani Shahna F, Moradi M, Bahrami A, Rezazadeh Azari M. Design, Implementation & Assessment of Local Exhaust Ventilation System and dust collectors for crushing unit. J Occup Hyg Eng, 2015; 2(2): 32-42.
15. Garkaz AH, Ghorbani Shahna F, Assari MJ. The designing and assessment of a local exhaust ventilation system coupled with hybrid collectors for air pollution control of an alloy steel company. Iran Occup Health. 2015 May 15;12(1):38-46.
16. Jamshidi Rastani M, Ghorbani Shahna F, Bahrami A, Hosseini S. Evaluation of local exhaust ventilation efficiency to control emissions of fe<sub>2</sub>o<sub>3</sub> dust in ambient air of the oxide screen unit in steel industry. J Know Health 2015;9(4): 68-75.
17. Mahdi JR, Abdolrahman B, Shiva MA, Nahid R, Somayeh H. Efficiency Assessment of Local Exhaust Ventilation Hoods System for Control of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dust in the process of Oxide Screen Unit at iron making in steel industry. J Occup Hyg Eng. 2014 Dec 15;1(3):9-18.
18. Wang LK, Pereira NC, Hung YT, editors. Air pollution control engineering. Totowa, NJ: Humana Press; 2004.
19. Schnelle Jr KB, Brown CA. Air Pollution Control Technology Handbook. CRC Press; 2001.
20. Agranovski IE, Whitcombe JM. Optimisation of venturi scrubbers for the removal of aerosol particles. Jo Aerosol Sci. 2000 Sep 30;31:164-5.
21. Guerra VG, Gonçalves JA, Coury JR. Experimental investigation on the effect of liquid injection by multiple orifices in the formation of droplets in a Venturi scrubber. J Hazard Material. 2009 Jan 15;161(1):351-9.
22. 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.
23. Ananthanarayanan NV, Viswanathan S. Estimating maximum removal efficiency in venturi scrubbers. AIChE J. 1998 Nov 1;44(11): 2549-60.
24. Golbabei F, Kouhpaei A, Nazemian H, Shahtaheri S. Evaluation Of Air Pollution Control From Viewpoints Of Cost-Benefit Analysis In A Tile Industry. Iran occup Health J. 2006; 3(1): 56-63.
25. Vincent JH. Aerosol sampling: science, standards, instrumentation and applications. John Wiley & Sons; 2007.
26. Clarke AG. Industrial air pollution monitoring. Environmental management. 1998.
27. US Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 2010, Ventilation Investigation, OSHA Technical Manual (OTM)III, Chapter 3. Washington, DC: US Department of labor, 2010. URL: [https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_iii/otm\\_iii\\_3.html](https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_3.html)
28. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice. 24<sup>th</sup> ed. Cincinnati: Ohio ACGIH; 2001.
29. Health and Safety Executive (HSE), Maintenance, Examination and Testing of Local Exhaust Ventilation, 2004 URL:



- [https://public.rgfl.org/HS/Design and Technology/Maintenance](https://public.rgfl.org/HS/Design%20and%20Technology/Maintenance), examination and testing of local exhaust ventilation
30. Jackson RS. Monitoring Local Exhaust Ventilation Systems. *Annal Occup Hyg*. 1976 Dec 1;19(3-4):309-12.
31. Theodore L. Air pollution control equipment calculations. NY: John Wiley & Sons; 2008.
32. Tsai CJ, Lin CH, Wang YM, Hunag CH, Li SN, Wu ZX, Wang FC. An efficient venturi scrubber system to remove submicron particles in exhaust gas. *J Air Waste Manag Assoc*. 2005 Mar 1;55(3):319-25.
33. Costa MA, Henrique PR, Gonçalves JA, Coury JR. Droplet size in a rectangular Venturi scrubber. *Brazilian J Chem Eng*. 2004 Jun;21(2):335-43.
34. Aliabadi M, Bahrami A, Mahjoob H, Ghorbani shahna F, Golbabaee F. Effect of local exhaust ventilation to reduce worker exposure to silica dust at air stone crushing workplaces' Hamadan province. *Proceeding of The 10th National Conference of Environmental Health*; 2007; Hamadan, Iran (Persian).
35. Harris LS. Energy and efficiency characteristics of the ejector venturi scrubber. *J Air Pollut Contr Assoc*. 1965 Jul 1;15(7):302-5.
36. Semrau KT. Correlation of dust scrubber efficiency. *J Air Pollut Cont Assoc*. 1960 Jun 1;10(3):200-7.
37. Ghorbani Shahna F, Bahrami A, Farasati F. Application of local exhaust ventilation system and integrated collectors for control of air pollutants in mining company. *Industrial Health*. 2012;50(5):450-7.

## Study of venturi scrubber efficiency in collection of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> airborne dust at an iron making unit

Mahdi Jamshidi Rastani<sup>1</sup>, Farshid Ghorbani Shahna<sup>2</sup>, Abdolrahman Bahrami<sup>3</sup>, Mohsen Zareie<sup>4</sup>, Somayeh Hosseini<sup>5</sup>

Received: 2015/02/28

Revised: 2015/09/01

Accepted: 2015/11/20

### Abstract

**Background and aims:** Steel industry plays an important role in air pollution and particulate emissions released to the environment. The venturi scrubber is one of the most important scrubbers and components at local exhaust ventilation which has a lot of application to control of the contaminants emissions to the atmosphere in steel industry. The efficiency of this equipment depends on how to use it, therefore, the aim of this study is determination of the efficiency of a venturi scrubber at an iron making unit.

**Methods:** This research is a descriptive cross-sectional study to determine venturi scrubbers' efficiency in collection of particles of different sizes. Sampling to be fulfilled based on BS 3405 method and duct internal isokinetic sampling at 30 l/min flow before and after venturi scrubber using sampling sequence including a set of probe with standard inlet nozzle, sampler and particles classifier (the four-stage cascade impactor) which followed with the flow control and measurement equipment. The samples were analyzed using gravimetric method and the results were analyzed through SPSS v.16.

**Results:** The fluid velocity was in the throat of the scrubber 71.4 m/s and the ratio of liquid to gas 1.12 l/m<sup>3</sup>. The mean of total dust concentration was before and after venturi, 6857.5mg/m<sup>3</sup> and 964.7mg/m<sup>3</sup>, respectively. The overall efficiency of the venturi scrubber was 85.93%. The maximum removal of the particle size distribution was respectively to particle size 15µm<, 15-4µm, 4-1µm and <1µm and 93.2%, 90.6%, 79.4%, 30.4%. In effect of abrasion and leakage in duct working before scrubber, the load of the entrance dust to the scrubber at the design documents from 25.6g/m<sup>3</sup> changed and reduced to 6.86g/m<sup>3</sup> at the present status.

**Conclusion:** It is concluded that scrubber's efficiency increased in parallel increasing in particle aerodynamic diameter, but its removal efficiency was not achieved to desirable level for particle size lower than 1 µm because of inappropriate modification in some design parameters such as nozzles. Regarding decrease in load pollutant input, performance of this scrubber is not acceptable even for large particle sizes.

**Keywords:** Scrubber, Efficiency, Venturi scrubber, Steel industry

1. PhD Student of Occupational Health Engineering Department, Students' Research Office, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2. (Corresponding author) associate professor of occupational health, Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences. Hamadan, Iran, Email: fgorbani@umsha.ac.ir

3. Professor of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

4. Msc of Occupational Health Engineering, Department of HSE, National Iranian Oil Refining & Distribution Company (NIORDC), Tehran, Iran

5. BSc of Occupational Health, Health Network of Azima, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran.