

بررسی راهکارهای اجرایی به منظور جلوگیری از ریزش غبار در فیلترهای الکترواستاتیک و انتقال بهینه غبار به مخازن ذخیره کارخانه گندله‌سازی

پوریا ناصریان^۱، رضا صالحی، سعید عدالتی

کرمان، شرکت فولاد بوتیای ایرانیان، مرکز تحقیق و توسعه

چکیده

یکی مهم‌ترین قسمت‌های کارخانه گندله‌سازی که ارتباط مستقیم با کیفیت هوای تنفسی و محیط‌زیست دارد، فیلترهای الکترواستاتیک است. این تجهیز وظیفه جذب غبار تولیدی در فرایند را دارد. این غبار در مخازن تعبیه شده در زیر هر فیلتر ذخیره می‌شود و سپس توسط یک مسیر لوله کشی و هوای فشرده به مخازن بزرگتری جهت استفاده در فرایندهای بعدی منتقل می‌شود. مسیر انتقال غبار دچار گرفتگی و جداره داخلی لوله در اثر عبور ذرات دچار سایش و به تبع نشتی می‌شود. این سایش در زانویی‌ها شدیدتر است. راهکارهای مختلفی از جمله تغییر مسیر لوله کشی، استفاده از تجهیزات خاص برای انتقال غبار که رافع این مشکل باشند بررسی شد. پس از مقایسه راهکارها نتیجه شد که یک راهکار مناسب، کم‌هرینه و قابل اجرا می‌تواند تغییر در مسیر لوله کشی است تا مخازن فیلترهای الکترواستاتیک از حالت سری به موازی تغییر کنند و همچنین نصب یک دام‌ولو در محل خروجی غبار است. همچنین می‌توان با ایجاد یک بلوک بتنی اطراف زانویی‌ها به عمر آن‌ها افزود و از نشتی آن‌ها جلوگیری کرد.

کلمات کلیدی: فیلترهای الکترواستاتیک، سیستم انتقال غبار، سایش، محیط‌زیست.

¹ pnasserian@gmail.com

مقدمه

فیلترهای الکترواستاتیک^۱ در کارخانه‌های گندله‌سازی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. این تجهیزات گردوغبار را که به ناگزیر در فرایند تولید می‌شوند، جمع‌آوری می‌کنند. در واقع این تجهیزات از ورود گردوغبار به اتمسفر و محیط‌زیست جلوگیری می‌کنند. این کار باعث می‌شود که آسیب کمتری به محیط‌زیست زده شود و به افزایش کیفی هوای تنفسی افراد حاضر در مجتمع کمک می‌کند. غبار تولید شده در فرآیند گندله‌سازی بسیار ریز گرد بوده و به دلیل بالا بودن چگالی آهن سنگین می‌باشد. در صورت ورود این ذرات به سیستم تنفسی انسان به دلیل سنگین بودن به قسمت‌های پایینی ریه نفوذ می‌کند و می‌تواند وارد جریان خون بشوند. این مورد علاوه بر ایجاد اختلالات تنفسی حاد می‌تواند در طولانی مدت مشکلات زیادی را برای بدن انسان ایجاد کند. این موضوع در شرایط کنونی به دلیل شیوع ویروس کرونا که آثار مخربی بر سیستم تنفسی دارد بشدت حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین این تجهیزات باید به درستی و در شرایط بهینه‌ای کار کنند و به تعمیرات و نگهداری مدون نیاز دارند.

غبار جمع‌آوری شده در فیلترهای الکترواستاتیک توسط یک ولو پنوماتیکی درون مخزن ریخته می‌شود و سپس با خطوط هوای فشرده منتقل می‌شود و برای مصرف در فرآیند تولید ذخیره می‌شود. هوای فشرده در ورودی به دو قسمت تقسیم می‌شود. یک قسمت هوا از بالا و یک قسمت از پایین غبار را منتقل می‌کند. این شرایط عادی و مقرر فرآیند انتقال غبار است. در شرایطی غبار خروجی مسیر هوای فشرده را مسدود می‌کند که نیاز به تخلیه دستی غبار در محیط و باز کردن مجدد مسیر است. همچنین ولوهای انتقال غبار که با توجه به سطح غبار، باز می‌شود عملکرد مناسبی ندارند. بنابراین در شرایطی سطح غبار در مخازن افزایش می‌یابد و اوپراتور برای جلوگیری از آسیب به قسمت‌های دیگر تخلیه را به صورت دستی و در محیط انجام می‌دهد که توسط کارگران از محیط جمع‌آوری می‌شود. جمع‌آوری غبار از محیط با آلودگی هوای اطراف همراه است و همان‌طور که گفته شد به علت ریزدانه بودن ذرات غبار، سلامت کارگران را به خطر می‌اندازد همچنین می‌تواند به تجهیزات دیگر در مجموعه آسیب بزند. مشکل عمده دیگر سیستم انتقال غبار سوراخ شدن خطوط انتقال می‌باشد. ذرات غبار هنگام عبور از داخل لوله، باعث سایش جداره داخلی لوله می‌شود که به مرور زمان این سایش منجر به سوراخ شدن لوله و نشت ذرات غبار به محیط می‌شود. این سایش در محل زانویی‌ها به دلیل تغییر مسیر جریان بحرانی‌تر است.

سیستم‌های انتقال غبار از طریق هوای فشرده در طول تاریخ سابقه و کاربرد زیادی از جمله صنایع غذایی دارند [۱]. ژیاو و همکارانش در سال ۲۰۱۶ یک سیستم انتقال غبار با هوای فشرده را طراحی کردند. همچنین

¹ Electrostatic precipitator

کارکرد کمپرسور هوا نیز مورد بررسی قرار گرفت [۲]. در سال ۲۰۱۸ کیلنزینگ تحقیقات گسترده‌ای را بر روی سیستم‌های انتقال غبار از طریق هوای انجام داد [۳]. در این مقاله روش‌های مختلف و بهینه اجرایی برای انتقال غبار بررسی می‌شوند تا مشکلات از جمله گرفتگی مسیر سیستم انتقال غبار کارخانه گندله‌سازی رفع گردد. همچنین راهکارهایی به منظور جلوگیری از سوراخ‌شدگی خطوط انتقال از جمله زانویی‌ها ارائه می‌شود. در نهایت بهینه‌ترین روش از میان روش‌های مختلف انتخاب می‌شود تا در آینده اجرا و متمر ثمر واقع شوند.

روش تحقیق

به منظور رفع مشکلات فیلترهای الکترواستاتیک و سیستم انتقال غبار از طریق هوای فشرده و همچنین برای یافتن بهترین و بهینه‌ترین راهکار مراجع مختلف مورد بررسی قرار گرفت. سرعت جریان سیال و دانه‌بندی ذرات از پارامترهای مهم طراحی سیستم‌های انتقال غبار می‌باشد. با توجه به این عوامل مسیر لوله‌کشی، مشخصات لوله و تجهیزاتی که باید در خط انتقال نصب شود، مشخص می‌شود. با توجه به مرجع [۴] سیستم‌های انتقال غبار به دسته‌های مختلفی تقسیم بندی می‌شوند. به صورت کلی این سیستم‌ها با توجه به مسیر لوله‌کشی به دو دسته باز و بسته تقسیم می‌شوند. شکل ۱ انواع تقسیم‌بندی‌های مختلف خطوط انتقال غبار را با توجه به نوع کارکرد و فشار عملیاتی نشان می‌دهد. فشار کارکردی این سیستم‌ها بسته به محل بلوئر مثبت و یا منفی می‌باشد. این سیستم‌ها می‌توانند به صورت پیوسته و یا منقطع کار کنند. شکل ۲ و ۳ نمونه‌ای از سیستم انتقال غبار با فشار مثبت و منفی را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

در کارخانه گندله‌سازی فولاد بوتیای ایرانیان، مخازن فیلترهای الکترواستاتیک به صورت سری به هم متصل شده‌اند. در صورت گرفتگی یکی از مخازن مابقی مخازن نیز از مدار خارج می‌شوند و تا زمانی که گرفتگی خط به صورت کامل برطرف نشود خط انتقال غبار از کار می‌افتد. یک راهکار مناسب برای رفع این مشکل اتصال مخازن به صورت موازی است. در این حالت در صورت گرفتگی یکی از مخازن، مخازن دیگر می‌توانند به کار خود ادامه دهند تا گرفتگی برطرف شود و شرایط به حالت عادی باز گردد. شکل ۴ و ۵ روش اتصال مخازن را به صورت موازی و سری نشان می‌دهد.

معمولاً در کارخانه‌های گندله‌سازی از ولوهای مخصوصی برای انتقال غبار استفاده می‌شوند. دام ولوها^۱ زیر خروجی فیلترهای الکترواستاتیک نصب می‌شوند و با شکل گنبدی که دارند غبار را به صورت تدریجی

¹ Dome valve

تخلیه می کنند تا از یکباره تخلیه شدن و در نتیجه گرفتگی خط انتقال جلوگیری کنند. دام‌ولوها در حالت عادی به صورت کامل با یک گسکت آب‌بند شده و فقط در صورت دستور تخلیه اجازه خروج غبار را می‌دهند. در شرایط عادی دام‌ولوها نیاز به خنک کاری ندارند اما در شرایطی که دمای غبار بالا باشد دام‌ولوها به صورت آب‌خنک می‌باشند.

برای جلوگیری از گرفتگی مسیر انتقال غبار می‌توان از شیرهای دوار^۱ برای تخلیه غبار داخل فیلتر الکترواستاتیک استفاده دارد. با چرخش این شیر غبار به صورت تدریجی و با برنامه مشخص که در سیستم کنترل تعریف شده است، وارد خطوط انتقال می‌شود. با توجه به دانه‌بندی ذرات و شرایط کاری، شیرهای دوار انواع مختلفی دارند. شکل ۶ نمونه‌ای از شیر دوار را برای انتقال غبار نشان می‌دهد.

همان‌طور که گفته شد به علت جریان ذرات جداره داخلی لوله‌های انتقال دچار سایش می‌شود که این سایش در زانویی‌ها شدیدتر می‌باشد. یک راهکار مناسب برای جلوگیری از این مشکل طراحی لوله‌های انتقال به صورت پله‌ای است. به این صورت که در جهت جریان قطر لوله مرحله به مرحله افزایش یابد. این افزایش قطر در طول مسیر باعث می‌شود تا سرعت جریان به صورت مرحله‌ای کاهش پیدا کند. کاهش سرعت منجر به کاهش اصطکاک که باعث کاهش سایش در داخل لوله‌ها می‌شود. شکل ۷ نمودار سرعت-فشار را برای جریان ذرات با توجه به تغییر قطر نشان می‌دهد. راهکار دیگر برای جلوگیری از سایش استفاده از یک لایه (سرامیکی) مقاوم است که سطح داخلی را پوشش دهد و جداره لوله را برای مدت طولانی‌تری محافظت کند. برای جلوگیری از سایش و نشی زانویی‌های انتقال غبار می‌توان از زانویی‌هایی با طراحی خاص که برای انتقال ذرات زیردانه با هوای فشرده طراحی شده‌اند، بهره برد. زانویی جیبدار^۲ دارای یک محفظه اضافی می‌باشد که درون آن یک جریان گردابه‌ای ایجاد می‌شود که از سایش قسمت انتهایی زانویی جلوگیری می‌کند. شکل ۸ یک نمونه از این زانویی را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که چگونه جریان گردابه‌ای به عبور ذرات غبار کمک می‌کند. راهکار دیگر برای جلوگیری از سایش زانویی افزایش ضخامت محل‌هایی که در معرض سایش بیشتر هستند، می‌باشد. این کار می‌تواند از طریق ایجاد یک بلوک بتنی اطراف زانویی نیز انجام شود. همچنین قسمت‌هایی از زانویی که سایش زیادی دارند می‌تواند به صورت قابل تعویض باشد و به مرور زمان با سایش جداره لوله قطعه تعویض گردد.

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر با اهداف جلوگیری از سایش جداره داخلی لوله، نشی جریان و تخلیه غبار به محیط اطراف و همچنین گرفتگی مسیر لوله راهکارهای مختلف بررسی گردید. یک راهکار بهینه می‌تواند موازی

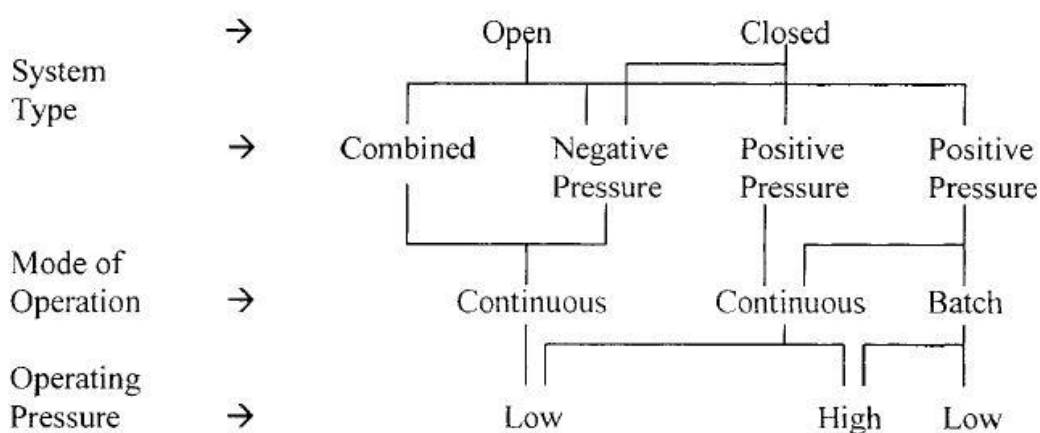
^۱ Rotary valve

^۲ Pocket type elbow

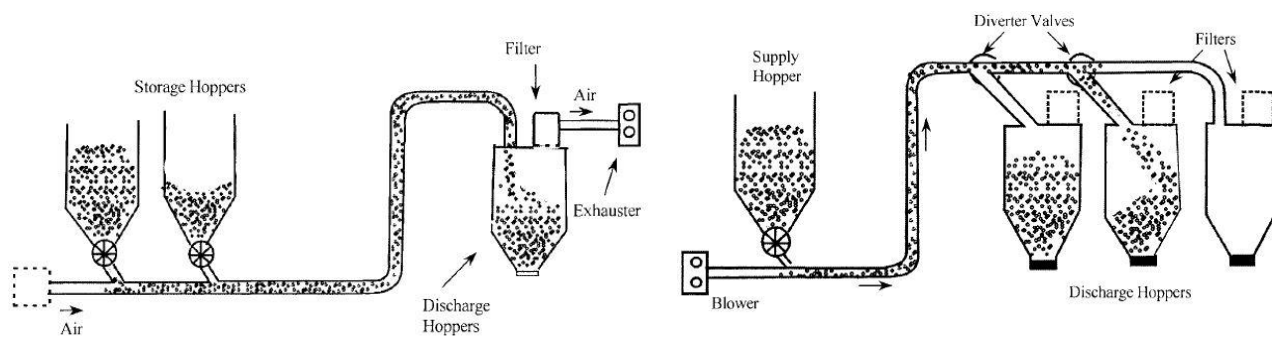
کردن (شکل ۵) مخازن فیلترهای الکترواستاتیک همراه با نصب یک دامولو در محل خروجی غبار باشد. این راهکار کم هزینه و به راحتی قابل اجرا می باشد. می توان از مسیر لوله کشی قبلی استفاده کرد و فقط به تغییرات جزئی نیاز است. این راهکار می تواند تمام مشکلات مربوط به سیستم انتقال غبار را پوشش دهد. همچنین قرار دادن زانویی های مسیر انتقال غبار در یک بلوک بتنی راهکار مناسب، کم هزینه و قابل اجرا برای افزایش عمر کارکرد می باشد.

مراجع

- [1] Klinzing, G. E., "Historical review of pneumatic conveying". KONA Powder and Particle Journal, 2018, 35, 150–159.
- [2] Xiao, Y., Yang, H., Zhu, N., Zhang, Q., & Zhang, Z., "Design and research of double pump fly ash conveying system", 2016, Advances in Modelling and Analysis C, 71(1), 74–91.
- [3] Klinzing, G. E., "A review of pneumatic conveying status, advances and projections", Powder Technology, 2018, 333, 78–90.
- [4] Mills, D., Jones, M. G., & Agarwal, V. K., "Handbook of Pneumatic Conveying Engineering", In Handbook of Pneumatic Conveying Engineering, 2004.

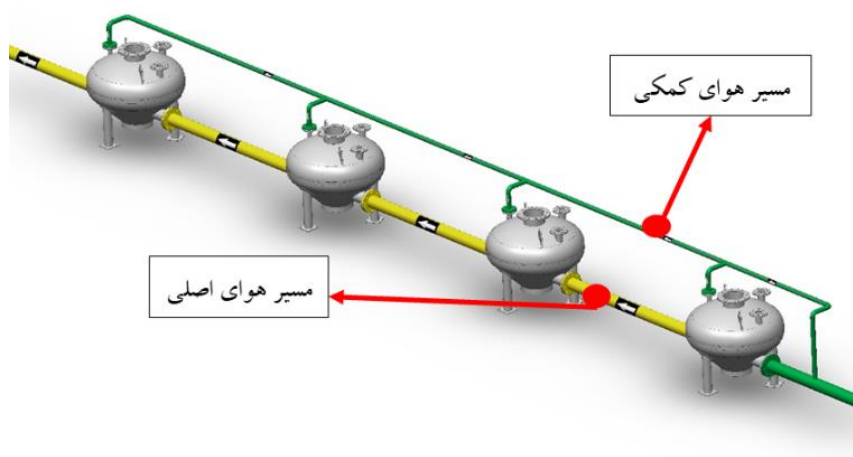


شکل ۱- انواع سیستم های انتقال غبار [۴].

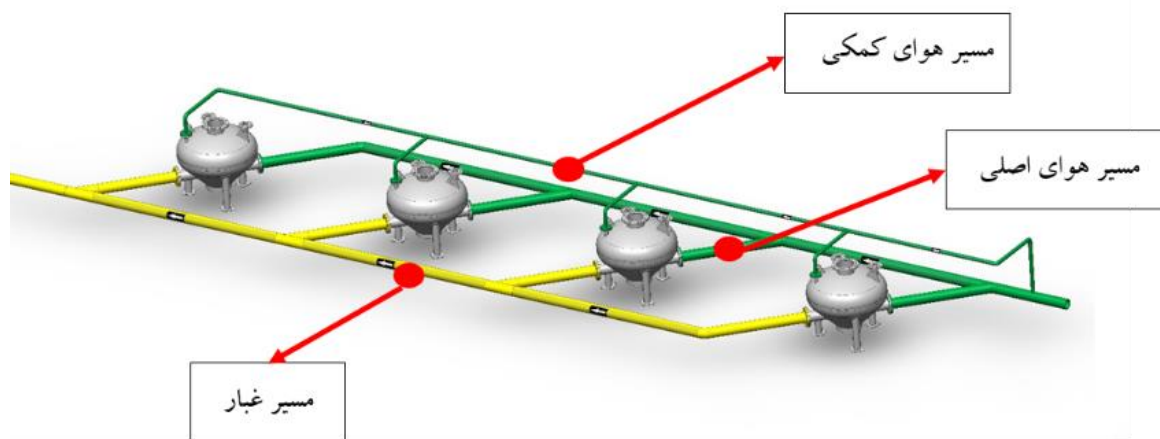


شکل ۳- سیستم انتقال غبار با فشار منفی [۴].

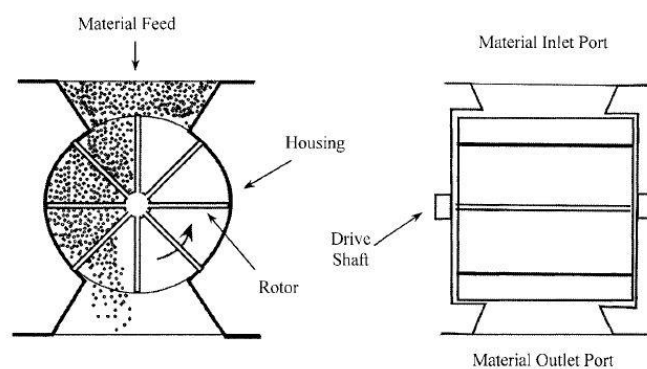
شکل ۲- سیستم انتقال غبار با فشار مثبت [۴].



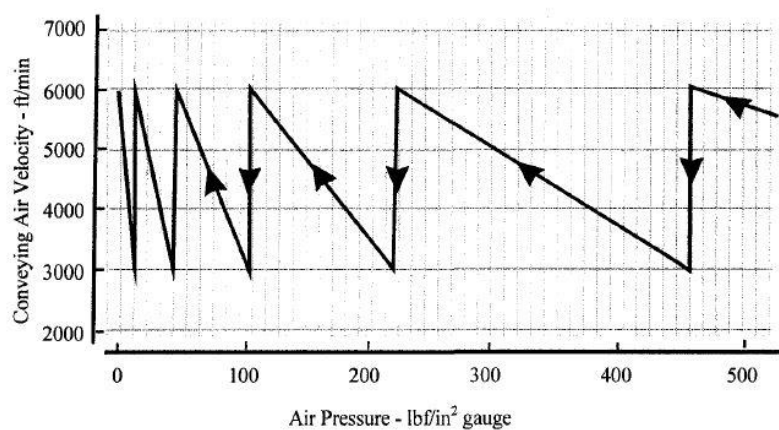
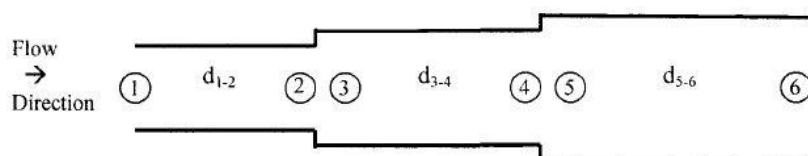
شکل ۴- مسیر انتقال غبار به صورت سری.



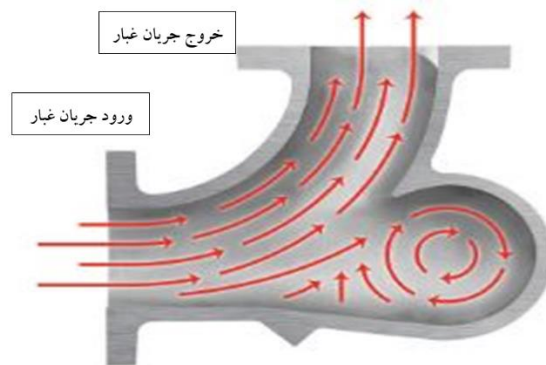
شکل ۵- مسیر انتقال غبار به صورت موازی.



شکل ۶: یک نمونه از شیر دوار برای انتقال غبار [۴].



شکل ۷- نمودار سرعت-فشار جریان غبار برای لوله با قطر متغیر [۴].



شکل ۸- زانویی جیبدار برای مسیر انتقال غبار.

